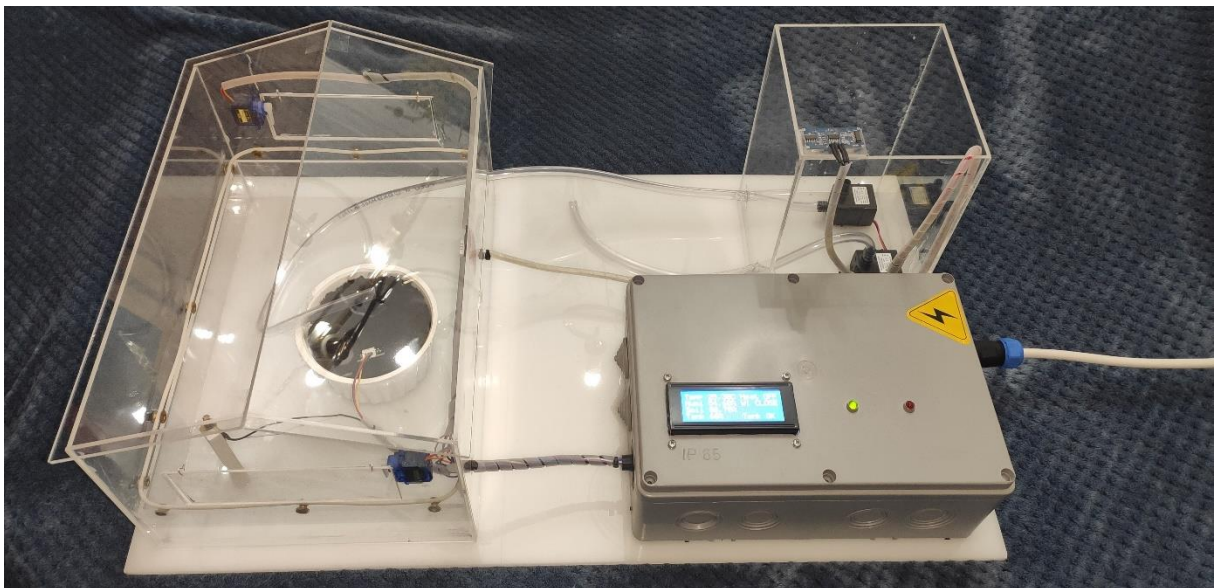


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θερμοκήπιο πλήρως ελεγχόμενο με Arduino απομακρυσμένα  
μέσω εφαρμογής smartphone.



Του φοιτητή  
Σαπνά Γεώργιου  
516316

Επιβλέπων  
Γιακουμής Άγγελος  
Λέκτορας

Μάιος 2023

Τίτλος Π.Ε. : Θερμοκήπιο πλήρως ελεγχόμενο με Arduino  
απομακρυσμένα μέσω εφαρμογής smartphone.

Κωδικός Π.Ε. : 21181

Όνοματεπώνυμο φοιτητή : Σαπνάς Γεώργιος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή : Γιακουμής Άγγελος

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. : 11-03-2021

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. : 25-05-2023

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 Σαπνά Γεώργιου 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 απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

«Στην οικογένεια μου και όσους με στηρίζουν»

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη, η σχεδίαση, η κατασκευή καθώς και ο προγραμματισμός μέσω της πλατφόρμας Arduino, των βασικών λειτουργιών ενός θερμοκηπίου και ο έλεγχος αυτών μέσω εφαρμογής smartphome.

Αρχικά, γίνεται εισαγωγή στον όρο θερμοκήπιο καθώς και μία ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη του, στη χρησιμότητα και στην αποδοτικότητα του. Ακόμα γίνεται περιγραφή των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών του καθώς επίσης και των διαφορετικών ειδών θερμοκηπίου που υπάρχουν.

Ακολουθεί η περιγραφή του μικροκλίματος ενός θερμοκηπίου και οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτό.

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στην πλατφόρμα Arduino, στα κατασκευαστικά της χαρακτηριστικά και στον τρόπο προγραμματισμού της μέσω μίας παρουσίασης του προγραμματιστικού περιβάλλοντος του επεξεργαστή καθώς και στην εφαρμογή των smartphome.

Ακολούθως γίνεται η μελέτη του υλικού που χρησιμοποιήθηκε και η παρουσίαση της κατασκευής του συστήματος.

Επίσης, πραγματοποιείται ο προγραμματισμός των λειτουργιών με τη χρήση της πλατφόρμας Arduino και η παρουσίαση της λειτουργίας του συστήματος.

Τέλος δίνονται τα τελικά συμπεράσματα όλης της εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία έχει ως σκοπό της τον έλεγχο και την καταγραφή των περιβαλλοντικών παραμέτρων ενός θερμοκηπίου βασισμένη στην αρχιτεκτονική της πλατφόρμας Arduino, συνδεδεμένη με καταλληλά αισθητήρια (θερμοκρασίας, υγρασίας, υγρασίας χώματος) και ο έλεγχος αυτών απομακρυσμένα μέσω της εφαρμογής των smartphone.

Ο μικροελεγκτής της πλατφόρμας θα προγραμματιστεί ώστε να καταγράφει τις τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας ανά τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της μέρας. Στόχος είναι η αξιοποίηση αυτών των πληροφοριών ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο.

Όσον αφορά τον αισθητήρα της υγρασίας του χώματος, μέσω αυτού θα λαμβάνεται η πληροφορία του ποσοστού υγρασίας στο χώμα. Αν είναι χαμηλό τότε θα ενεργοποιείται το σύστημα της αυτόματης πότισης του χώματος.

Με την χρήση του αισθητήρα φωτός θα λαμβάνεται η πληροφορία της έντασης του φωτός που θα ενεργοποιεί ή θα απενεργοποιεί το σύστημα σκίασης ώστε να έχουμε τα καταλληλά επίπεδα φωτός μέσα στο θερμοκήπιο ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών.

Για όλα αυτά ο χρήστης θα έχει συνεχή απομακρυσμένη ενημέρωση μέσω της εφαρμογής στο smartphone του.

# **«Greenhouse fully controlled with Arduino remotely via smartphone app.»**

**George Sappas**

## **ABSTRACT**

The purpose of the work is to control and record the environmental parameters of a greenhouse based on the architecture of the Arduino platform, connected to appropriate sensors (temperature, humidity, soil moisture) and controlling them remotely through the smartphone application.

The platform microcontroller will be programmed to record temperature and humidity values at regular intervals throughout the day. The goal is to use this information to create the appropriate temperature and humidity conditions inside the greenhouse.

As for the soil moisture sensor, through it the information of the moisture percentage in the soil will be obtained. If it is low then you will activate the system of automatic watering of the soil.

By using the light sensor, the light intensity information will be obtained which will activate or deactivate the shading system so that we have the appropriate light levels inside the greenhouse for the needs of the plants.

For all of this, the user will have continuous remote updates through the application on his smartphone.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με στήριξαν όλο αυτό τον καιρό που έκανα την εργασία μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κύριο Γιακουμή Άγγελο που ήταν ο επιβλέπωντας καθηγητής της εργασίας μου και με βοήθησε σε ό,τι τον χρειάστηκα.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	vi
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	vii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	viii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ο ΟΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ.....	1
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	3
1.3 ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	5
1.3.1 ΟΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ.....	5
1.3.2 ΟΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	5
1.3.3 ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	6
1.4 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	7
1.5 Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΟΝ ΆΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ.....	7
1.6 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ.....	8
1.7 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΚΕΛΕΤΟΥ.....	11
1.7.1 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	12
1.7.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΣΚΕΛΕΤΟΥ.....	13
1.7.3 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΛΥΨΗΣ.....	14
1.7.4 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	17
2.1 Ο ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ.....	17
2.2 Η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	17
2.3 Η ΥΓΡΑΣΙΑ.....	19
2.3.1 ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.....	20

2.4 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	21
2.4.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ CO <sub>2</sub> .....	22
2.5 ΑΕΡΙΣΜΟΣ.....	23
2.5.1 ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΧΕΙΜΩΝΑ.....	23
2.5.2 ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΟΥΣ.....	23
2.5.3 ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΑΝΟΙΞΗΣ ΚΑΙ ΦΘΙΝΟΠΩΡΟΥ.....	24
2.5.4 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ.....	24
2.5.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ.....	25
2.5.6 ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ.....	25
2.6 Ο ΦΩΤΙΣΜΟΣ.....	26
2.7 ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> :        Η ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ARDUINO ΚΑΙ BLYNK.....	29
3.1 Η ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ARDUINO.....	29
3.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΩΝ ARDUINO.....	30
3.3 ARDUINO MEGA 2560.....	31
3.3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ARDUINO MEGA 2560.....	31
3.3.2 ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ ATMEGA2560.....	32
3.3.3 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ.....	33
3.3.4 ΕΙΣΟΔΟΙ – ΈΞΟΔΟΙ.....	34
3.3.5 ETHERNET SHIELD.....	35
3.3.6 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΟΥ ARDUINO (IDE) .....	36
3.3.7 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΓΛΩΣΣΑΣ WIRING.....	37
3.4 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ BLYNK.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> :        ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	42
4.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΌΡΓΑΝΑ.....	42
4.1.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ – ΥΓΡΑΣΙΑΣ DHT22.....	42
4.1.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΈΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΕΠΑΣΤΡΟΥ.....	44
4.1.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	45
4.1.4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ HC-SR04.....	46
4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ RELAY (ΡΕΛΕ) .....	46

4.3	ΕΠΙΛΟΓΗ SERVO ΜΟΤΟΡ (ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ) ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΤΩΝ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ.....	48
4.4	ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΟΤΕΡ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΓΕΜΙΣΜΑΤΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ.....	49
4.5	ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΩΡΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ..	49
4.6	ΆΛΛΑ ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ ΥΛΙΚΑ.....	49
4.7	ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> :	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	55
5.1	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΩΔΙΚΑ.....	55
5.2	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> :	ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ.....	63
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	64
	ΕΙΚΟΝΕΣ.....	65

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Ο Όρος Θερμοκήπιο

Θερμοκήπιο είναι ένας στεγασμένος και περιφραγμένος χώρος που καλύπτεται με διαφανές υλικό, σχεδιασμένος για να μεγαλώνουν τα φυτά καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Τα θερμοκήπια έχουν ως σκοπό να εξασφαλίσουν ένα ελεγχόμενο περιβάλλον με ευνοϊκές συνθήκες για τις παραμέτρους ανάπτυξης των φυτών, κυριότερες από τις οποίες είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και η ένταση του φωτός.

Με το θερμοκήπιο αποφεύγονται ζημιές από φυσικά αίτια όπως είναι η βροχή και ο αέρας. Σημαντικό ρόλο για την αποτελεσματικότητα και την λειτουργικότητα του θερμοκηπίου είναι η επιλογή της γεωγραφικής θέσης της εγκατάστασης, του προσανατολισμού του καθώς και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών.

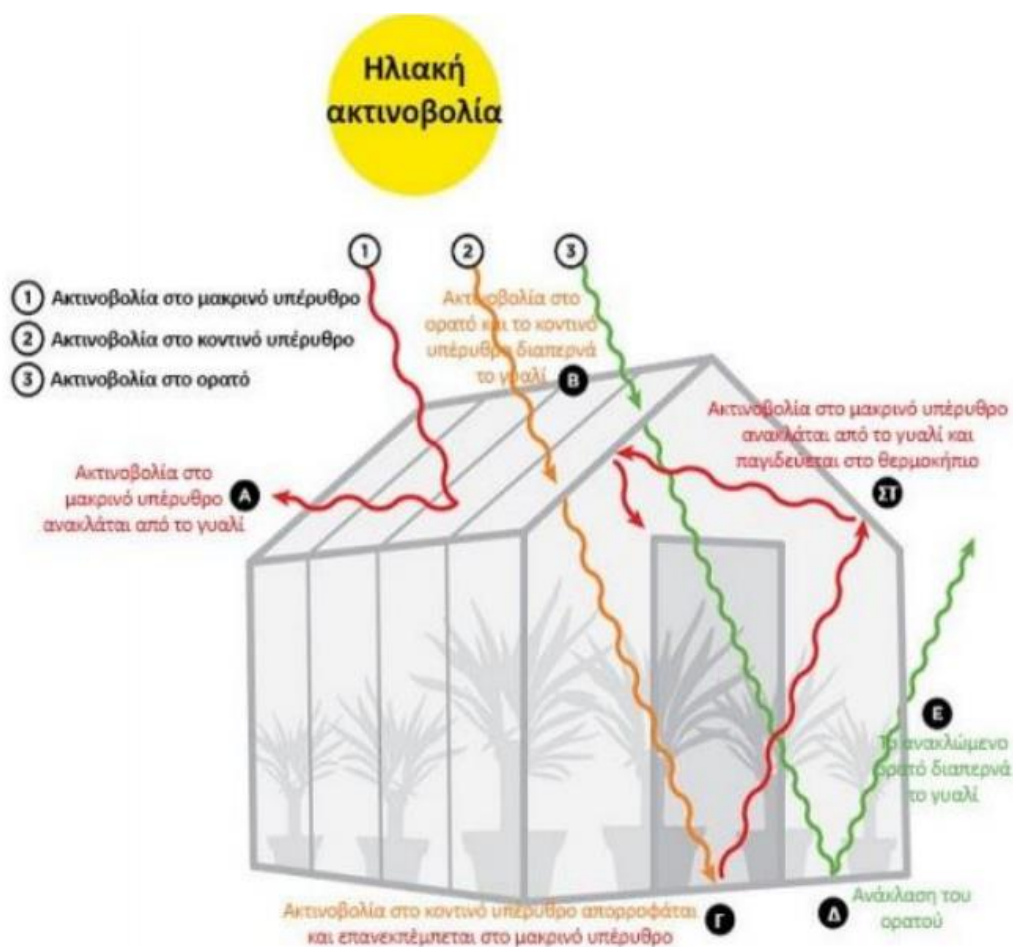
Οι κατάλληλες κλιματικές συνθήκες που ευνοούν την εγκατάσταση των θερμοκηπίων σε μία περιοχή είναι η μεγάλη διάρκεια και ένταση του φωτός. Καθώς επίσης και οι σχετικά υψηλές τιμές της υγρασίας. Στη χώρα μας που ευνοείται από μεγάλη ηλιοφάνεια το κυριότερο πρόβλημα παραμένει η εξασφάλιση ικανοποιητικών τιμών θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν.



Εικόνα 1: Θερμοκήπιο

Στην Ελλάδα υπάρχουν περισσότερα από 60.000 στρέμματα με θερμοκήπια, περίπου το 10% των εκτάσεων της χώρας όπου καλλιεργούνται κηπευτικά, ενώ οι φυτεμένες εκτάσεις καταλαμβάνουν σχεδόν 600.000 στρέμματα. Σε αυτά καλλιεργούνται κυρίως κηπευτικά και ανθοκομικά φυτά αλλά και δέντρα για παραγωγή φρούτων, ενώ υπάρχουν και ειδικά θερμοκήπια που χρησιμοποιούνται σε έρευνες. Από τα 60.000 στρέμματα τα 6.000 περίπου καταλαμβάνουν καλλιέργειες ανθών και καλλωπιστικών φυτών.

Τα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται εκτενώς από βοτανολόγους, καλλιεργητές αγροτικών προϊόντων, για εμπορικούς σκοπούς καθώς και από αφοσιωμένους κηπουρούς. Ιδιαίτερα στα δροσερά κλίματα, τα θερμοκήπια είναι χρήσιμα για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό των καλλιεργειών επειδή επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει και αποτρέπουν την θερμοκρασία να διαφύγει. Η διαφανής κάλυψη επιτρέπει στο ορατό φως να εισέλθει χωρίς κανένα πρόβλημα θερμαίνοντας το εσωτερικό, καθώς αυτό απορροφάτε από το υλικό που υπάρχει στο εσωτερικό του. Η διαφανής κάλυψη επίσης εμποδίζει τη θερμότητα να διαφύγει ανακλώντας την ενέργεια πίσω στο εσωτερικό και εμποδίζοντας το εξωτερικό περιβάλλον να τη μεταφέρει μακριά.



Εικόνα 2: Αρχή λειτουργίας του θερμοκηπίου

Η ορατή ακτινοβολία από τον ήλιο διέρχεται από το γυαλί και απορροφάτε από τα φυτά και το έδαφος που βρίσκονται εντός του θερμοκηπίου. Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα φυτά και το έδαφος απορροφάτε από το γυαλί και αυτό με τη σειρά του εκπέμπει ξανά ένα μέρος της ακτινοβολίας προς το έδαφος. Έτσι το γυαλί δρα ως ένα κάλυμμα ακτινοβολίας που διατηρεί υψηλότερη τη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον.

Με βάση την έρευνα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής το 2018 πρώτη σε έκταση θερμοκηπίων έρχεται η Δυτική Ελλάδα με 20.872 στρέμματα κυρίως σε Ηλεία, Αχαΐα και Αιτωλοακαρνανία. Δεύτερη είναι η Κρήτη με 18.141 στρέμματα στο Ηράκλειο, στο Λασιθί και στα Χανιά. Τρίτη στη σειρά με 6.017 στρέμματα είναι η Πελοπόννησος με τα περισσότερα να συγκεντρώνονται στη Μεσσηνία, στην

Αργολίδα και στη Λακωνία. Τέταρτη είναι η Κεντρική Μακεδονία με 5.015 στρέμματα σε Ημαθία και Πέλλα. Τέλος τη σειρά κλείνει η Αττική με 2.343 στρέμματα κυρίως στην Ανατολική Αττική.

Πρώτη σε έκταση ωστόσο έρχεται η Αττική με 536 στρέμματα θερμοκηπίων που καταλαμβάνονται από άνθη και καλλωπιστικά φυτά, με την Κρήτη να έρχεται δεύτερη σε αυτή την κατηγορία με 275 στρέμματα, ενώ με 258 στρέμματα θερμοκηπίων ακολουθεί η Κεντρική Μακεδονία. Ακολουθούν η Ανατολική Μακεδονία - Θράκη με 205 στρέμματα, εκ των οποίων τα περισσότερα βρίσκονται στην Καβαλά και τέλος η Θεσσαλία με 183 στρέμματα με τα περισσότερα να βρίσκονται στη Μαγνήσια.

Τον κυρίαρχο ρολό στις θερμοκηπιακές εκτάσεις έχει η Θερμοκηπιακή ντομάτα όπου καταλαμβάνει τα 24.248 στρέμματα των συνολικών εκτάσεων. Το 48% περίπου των εκτάσεων αυτών βρίσκονται στην Κρήτη, ενώ 4.204 στρέμματα βρίσκονται στην Πελοπόννησο και κυρίως στην Μεσσηνία. Περισσότερα από 1.800 στρέμματα βρίσκονται στην Δυτική Ελλάδα, κυρίως στην Ηλεία.

Η θερμοκηπιακή καλλιέργεια πιπεριάς, από μεριάς της, καταλαμβάνει 9.839 στρέμματα, το 70% των οποίων εντοπίζονται στην Κρήτη, ενώ έχουμε και 1.261 στρέμματα στην Κεντρική Μακεδονία. Επίσης 3.343 στρέμματα καταλαμβάνει και η θερμοκηπιακή καλλιέργεια μελιτζάνας από τα οποία τα μισά περίπου και πάλι βρίσκονται στην Κρήτη, 600 στρέμματα στην Πελοπόννησο και 487 στην Κεντρική Μακεδονία.

Στην περίπτωση του αγγουριού, οι θερμοκηπιακές εκτάσεις καλλιέργειας ξεπερνάνε αυτές της υπαίθριας αφού στην πρώτη περίπτωση έχουμε 11.090 στρέμματα έναντι 10.806 στρεμμάτων της δεύτερης. Και πάλι τα μισά στρέμματα καλλιέργειας αγγουριού βρίσκονται στην Κρήτη με 5.967 στρέμματα, ενώ άλλα 2.309 βρίσκονται στην Πελοπόννησο.

Τέλος η καλλιέργεια της θερμοκηπιακής φράουλας φτάνει τα 16.890 στρέμματα, με το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών να βρίσκονται στην Δυτική Ελλάδα.

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Από τους Έλληνες συγγραφείς του 5ου π.Χ. αιώνα και ιδιαίτερα από τον Πλάτωνα, γνωρίζουμε ότι σε ειδικές λατρευτικές περιπτώσεις που αναφέρονται ως «Κήποι του Άδωνη», αναπτύσσονταν φυτά με ταχύτατο ρυθμό, σε ειδικούς χώρους. Οι σπόροι και τα μοσχεύματα που φυτεύονταν σ' αυτούς τους χώρους, σε μια βδομάδα είχαν τέτοια ανάπτυξη όση χρειαζόταν μήνες στους ανοιχτούς αγρούς. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι πρόκειται για μικρές καλλιέργειες, που γίνονταν σε προστατευμένους χώρους, χωρίς όμως να γνωρίζουμε τον τρόπο προστασίας.

Από τον 1<sup>ο</sup> π.Χ. αιώνα, ξέρουμε με σιγουριά ότι οι Ρωμαίοι καλλιεργούσαν φρούτα και λαχανικά σε απλά θερμοκήπια ή θερμοσπορεία. Ο κηπουρός του Τιβέριου Καίσαρα για να προσφέρει καθημερινά σαλάτα με αγγούρι στον Καίσαρα, χρησιμοποιούσε μεγάλα δοχεία, που τα γέμιζε με μισοχωνεμένη κοπριά. Τα δοχεία σκεπάζονταν με διαφανείς επιφάνειες του ορυκτού μίκα που διατηρούσαν τη ζέστη που προερχόταν από τη ζύμωση της κοπριάς και επέτρεπαν την είσοδο του φωτός στο χώρο του φυτού. Τα σκεπασμένα αυτά δοχεία, τα είχαν την ημέρα στον ήλιο και τη νύχτα μέσα σε δωμάτιο.

Στην Πομπηία βρέθηκαν μεγάλες κατασκευές, που φαίνεται πως καλύπτονταν με ένα είδος πρωτόγονου γυαλιού. Τα δοχεία των φυτών τοποθετούνταν σε τραπέζια με διάτρητη επιφάνεια, κάτω από τα οποία υπήρχε η δυνατότητα να τοποθετηθούν αναμμένα κάρβουνα, έτσι ώστε ο θερμός αέρας που ανέρχονταν να θερμαίνει τα δοχεία με τα φυτά.

Τα θερμοκήπια ξαναφάνηκαν πάλι τον 17° αιώνα μ.Χ. Σε όλη τη διάρκεια του Μεσαίωνα το θερμοκήπιο φαίνεται ότι ήταν άγνωστο.

Τον 16° μ.Χ. αιώνα οι έμποροι και οι εξερευνητές αρχίζουν να μεταφέρουν εξωτικά φυτά, που δεν μπορούσαν εύκολα να επιζήσουν στο κλίμα της Β. Ευρώπης. Για την παρατήρηση αυτών των εξωτικών φυτών με τα θαυμάσια αρώματα και τους χυμώδεις καρπούς, δημιουργήθηκαν ειδικοί Βοτανικοί Κήποι, στην αρχή στην Ιταλία και μετά στην Ολλανδία και στην Αγγλία.

Η Βοτανική, μόλις τότε ξεκινούσε σαν επιστήμη και πάρα πολλές μελέτες και έρευνες είχαν κατεύθυνση στην περιγραφή και καλλιέργεια των εξωτικών φυτών.

Τον 17° αιώνα, τα εξωτικά φυτά, εκτός από το βοτανικό και φαρμακευτικό ενδιαφέρον που παρουσίαζαν, άρχισαν να χρησιμοποιούνται από την αριστοκρατία της Βόρειας Ευρώπης ως φυτά διακόσμησης και παραγωγής. Από τα καρποφόρα, τα πιο δημοφιλή ήταν τα εσπεριδοειδή, των οποίων η καλλιέργεια ήταν σχετικά εύκολη, μιας και δεν απαιτείτο θέρμανση, παρά μόνο προστασία από τον παγετό. Η προστασία γινόταν σε μεγάλα δωμάτια, που είχαν σόμπα θέρμανσης που άναβε τις ημέρες του παγετού. Τα εσπεριδοειδή, φυτεμένα σε μεγάλα δοχεία, μεταφέρονταν και παρέμεναν για 6 μήνες το χειμώνα σ' αυτά τα δωμάτια, ενώ τους υπόλοιπους μήνες ήταν στο ύπαιθρο.

Τον 18° αιώνα, είχε πλήρως αναγνωρισθεί η αξία του καλού φωτισμού στην υγιή ανάπτυξη των φυτών και άρχισε ο υπολογισμός της γωνίας κλίσης του γυαλιού, ώστε να εισέρχεται η μεγαλύτερη ποσότητα φωτισμού στο χώρο όπου βρίσκονταν τα φυτά. Οι Ολλανδοί ήταν από τους πρώτους που χρησιμοποίησαν στέγη με κεκλιμένα επίπεδα από γυαλί. Εισήγαγαν επίσης τη χρησιμότητα της θερμοκουρτίνας κατά τη διάρκεια της νύχτας και σε πρώτο στάδιο την κατασκευή του διπλού τοιχώματος, χρησιμοποιώντας το λαδόχαρτο σαν δεύτερο κάλυμμα (Clegg P. and Watkins D., 1980) Οι συνήθειες καλλιέργειας ήταν τα πρώιμα σταφύλια και τα εσπεριδοειδή. Δυο από τους πιο φημισμένους και τεχνικά προηγμένους Βοτανικούς Κήπους στον κόσμο βρίσκονται στην Ολλανδία, και είναι αυτοί του Πανεπιστημίου του Leyden και του Clifford, όπου δούλεψε ο μεγάλος φυσιολόγος Λινναίος.

Η θέρμανση, όπου υπήρχε, γινόταν με θερμάστρες. Γύρω στο 1790 εμφανίστηκε η πρώτη θέρμανση με ατμό, που έδωσε μεγαλύτερη καθαριότητα, απόδοση, ευκολία, δυνατότητα επίτευξης υψηλότερης θερμοκρασίας και αποφυγής των αερίων καύσης από το χώρο των φυτών.

Με το τέλος του 18ου μ.Χ. αιώνα, η τέχνη της ανάπτυξης των φυτών έγινε πια επιστήμη.

Τον 19° μ.Χ. αιώνα, το θερμοκήπιο εξελίχθηκε αρκετά, ενώ μερικοί νεωτερισμοί της εποχής εκείνης χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα. Ο πρώτος αυτόματος μηχανικός θερμοστάτης χρησιμοποιήθηκε το 1816 για τον εξαερισμό του θερμοκηπίου. Ο ενδιαφέρων νεωτερισμός κατασκευής πολλαπλών θερμοκηπίων με κορυφές και υδρορροές, αναπτύχθηκε αυτόν τον αιώνα. Το παραδοσιακό θερμοκήπιο κατασκευάζεται από ξύλο, αλλά τότε προτείνεται για πρώτη φορά (London J.C 1838) ο σίδηρος και το γυαλί για την κατασκευή θερμοκηπίου.

Τον 20° αιώνα υπάρχει συνεχής εξέλιξη του θερμοκηπίου, από πλευράς υλικών κατασκευής. Σήμερα κατασκευάζονται σκελετοί θερμοκηπίων από ξύλο, γαλβανισμένο σίδηρο και αλουμίνιο. Η επαναστατική αλλαγή όμως είναι στα υλικά κάλυψης, όπου, εκτός από το γυαλί, χρησιμοποιούνται σήμερα τα εύκαμπτα φύλλα πλαστικού και τα σκληρά φύλλα πλαστικού. Η χρήση αυτών των υλικών έδωσε τη δυνατότητα κατασκευής φθηνών θερμοκηπίων που επέτρεψε τη γρήγορη εξάπλωσή τους. Επίσης, η αύξηση των γνώσεων σχετικά με την επίδραση των διαφόρων συνδυασμών των παραγόντων του περιβάλλοντος στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, καθώς και η εξέλιξη της ηλεκτρονικής,

επέτρεψαν την ανάπτυξη πολλών αυτοματισμών που ρυθμίζουν το επιθυμητό περιβάλλον με μεγάλη ακρίβεια.

Η εφαρμογή των γνώσεων της φυσιολογίας των φυτών καθώς και της ακριβούς ρύθμισης του περιβάλλοντος, μαζί με τη χρήση φυτών βελτιωμένων ποικιλιών, έδωσε πολύ μεγάλη αύξηση στην παραγωγή.

Τα θερμοκήπια σήμερα θεωρούνται από τις μεγαλύτερες μονάδες εκμετάλλευσης στο πρωτογενή τομέα της φυτικής παραγωγής.

## **1.3 ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ**

### **1.3.1 ΟΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ**

Παγκοσμίως υπάρχουν 1.670.000 στρέμματα θερμοκηπίων, από τα οποία τα 410.000 στρέμματα είναι υαλόφρακτα και τα 1.260.000 στρέμματα είναι με κάλυψη πλαστικού. Στην ΕΟΚ-12 υπάρχουν 750.000 στρέμματα θερμοκηπίων, από τα οποία τα υαλόφρακτα καταλαμβάνουν 250.000 στρέμματα και τα πλαστικής κάλυψης 500.000 στρέμματα. Σε σχέση με το συνολικό αριθμό θερμοκηπίων παγκόσμια, τα θερμοκήπια της ΕΟΚ καλύπτουν το 45%, από τα οποία τα υαλόφρακτα θερμοκήπια της ΕΟΚ είναι το 58% των υαλόφρακτων θερμοκηπίων του κόσμου και τα πλαστικά της ΕΟΚ είναι το 40% των πλαστικών του κόσμου.

Στην ΕΟΚ-12, η Ολλανδία κατέχει την πρώτη θέση όσον αφορά τα υαλόφρακτα θερμοκήπια με 44% του συνόλου και ακολουθούν η Δ. Γερμανία με 15% και η Ιταλία, η Μ. Βρετανία με 11% εκάστη και οι άλλες χώρες με μικρότερα ποσοστά. Στα καλυμμένα με πλαστικό θερμοκήπια, η Ιταλία κατέχει την πρώτη θέση με 43% του συνόλου και ακολουθεί η Ισπανία με 33%, η Γαλλία με 12%, η Ελλάδα με 8% και οι άλλες χώρες με μικρότερα ποσοστά.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ο τύπος θερμοκηπίων που χρησιμοποιείται στις διάφορες χώρες της ΕΟΚ εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες της κάθε χώρας, την τεχνολογική της ανάπτυξη και από τη φύση των προϊόντων που παράγονται εκεί. Θα πρέπει να σημειώσουμε επίσης ότι η Ελλάδα στο γενικό σύνολο κατέχει μόλις την 7η θέση με ποσοστό 5,3%, ενώ έχει σχετικά ευνοϊκές εδαφοκλιματικές συνθήκες για την παραγωγή θερμοκηπιακών προϊόντων.

Σχετικά με τη προσφορά θερμοκηπιακών προϊόντων στις χώρες της ΕΟΚ, σημειώνουμε ότι γενικά τον χειμώνα υπάρχει έλλειψη θερμοκηπιακών προϊόντων στην ΕΟΚ και γίνονται σημαντικές εισαγωγές από άλλες χώρες (κυρίως μεσογειακές), ενώ το καλοκαίρι υπάρχει πλεόνασμα, το οποίο εξάγεται σε άλλες χώρες.

### **1.3.2 ΟΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Στη χώρα μας οι πρώτες συστηματικές εγκαταστάσεις θερμοκηπίων ξεκίνησαν το 1955 και αποτελούνταν από υαλόφρακτα θερμοκήπια για παραγωγή καλλωπιστικών φυτών. Η σημαντική όμως εξάπλωση τους αρχίζει μετά το 1961, με τη χρήση του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου ως υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων. Η ευκολία προσαρμογής του υλικού αυτού σε οποιοδήποτε σχήμα σκελετού και η χαμηλή του τιμή, επέτρεψαν στους προοδευτικούς καλλιεργητές (σε περιοχές με πρώιμες καλλιέργειες) να κατασκευάσουν μόνοι τους θερμοκήπια για παραγωγή πρώιμων κηπευτικών,

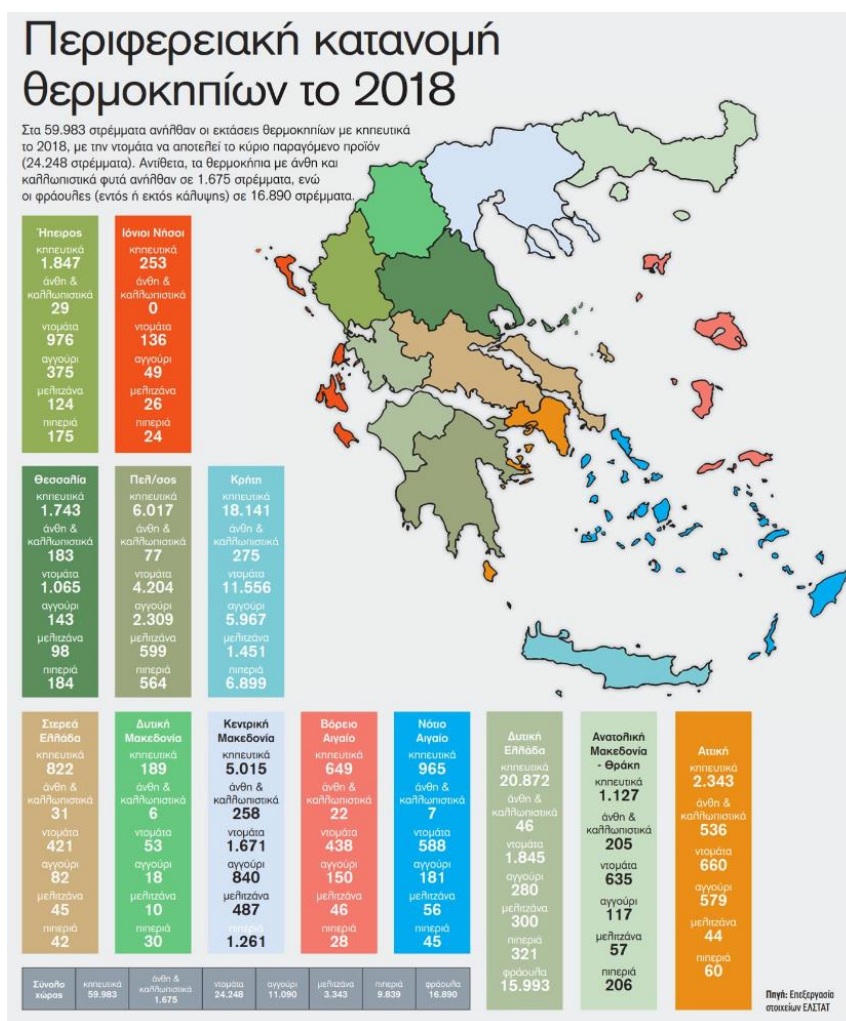
χωρίς να χρειάζονται μεγάλα κεφάλαια. Αργότερα δημιουργήθηκαν και αρκετές βιοτεχνίες κατασκευής θερμοκηπίων, οι οποίες βελτίωσαν σημαντικά τις κατασκευές. Έτσι παρατηρήθηκε μια εντυπωσιακή ανάπτυξη των θερμοκηπίων, τα οποία έφθασαν στα 44.345 στρέμματα το 1992.

### 1.3.3 ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που συνετέλεσαν στην αύξηση των θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα, είναι:

1. Οι εδαφοκλιματικές συνθήκες της χώρας. Το ήπιο κλίμα που επικρατεί σε πολλές περιοχές είναι ευνοϊκό και παρέχει τη δυνατότητα καλλιέργειας σε πολύ απλές κατασκευές χωρίς ακριβό εξοπλισμό.
2. Η ανάγκη εξασφάλισης υψηλότερου εισοδήματος από μικρής έκτασης γεωργικό έδαφος (εντατικοποίηση των καλλιεργειών).
3. Η αύξηση της ζήτησης των θερμοκηπιακών προϊόντων στην εσωτερική αγορά.
4. Η γεωργική πολιτική του κράτους, που ενθάρρυνε την προώθηση των καλλιεργειών αυτών με τη θέσπιση οικονομικών κινήτρων και την εκτέλεση αρδευτικών και άλλων έργων.

Η περιφερειακή κατανομή των θερμοκηπίων και καλλιεργειών στη χώρα μας παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3: Περιφερειακή κατανομή των θερμοκηπίων από την ΕΛΣΤΑΤ

## 1.4 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα αποτελεί έναν από τους δυναμικότερους κλάδους της γεωργίας, παρ' όλο που ο μεγάλος όγκος των θερμοκηπιακών επιχειρήσεων τεχνολογικά δεν βρίσκεται ακόμα σε υψηλό επίπεδο.

Γενικά η περαιτέρω ανάπτυξη των θερμοκηπιακών επιχειρήσεων:

- Παρέχει τη δυνατότητα συγκράτησης πληθυσμού που έχει στην κατοχή του μικρής έκτασης έδαφος, στη γεωργία.
- Αυξάνει την απασχόληση, γιατί ασχολείται με εντατικές καλλιέργειες που αξιοποιούν πολλά εργατικά χέρια.
- Μπορεί να συντελέσει στην αύξηση των ελληνικών εξαγωγών γεωργικών προϊόντων σε χώρες της Β. Ευρώπης.
- Δίνει διέξοδο στον εκσυγχρονισμό της ελληνικής γεωργίας.

Για να γίνει όμως δυνατή η βελτίωση αυτής της παραγωγικής δραστηριότητας, υπάρχει μεγάλη ανάγκη τεχνικής υποστήριξης των θερμοκηπιακών μονάδων, διότι:

- Η παραγωγή τους βασίζεται σε ανεπτυγμένες τεχνολογικά μεθόδους.
- Η ανάπτυξη και παραγωγή φυτών έξω από το φυσικό τους περιβάλλον δημιουργεί περισσότερα προβλήματα, απ' ό,τι στις συνήθεις καλλιέργειες του ανοιχτού αγρού, που πρέπει να επιλυθούν από κατάλληλα εξοπλισμένα εργαστήρια.
- Ο εντατικός ρυθμός καλλιέργειας απαιτεί άμεσες λύσεις που δεν επιδέχονται καθυστερήσεις.

## 1.5 Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Ο άνθρωπος με το θερμοκήπιο έχει τη δυνατότητα να καλλιεργεί φυτά ακόμα και αν δεν είναι η κατάλληλη εποχή. Έτσι μπορεί να απολαμβάνει φρέσκα φρούτα και λαχανικά κατά την διάρκεια όλου του χρόνου. Η ενασχόληση του ανθρώπου με τη γεωργία γενικότερα, του προσφέρει τη δυνατότητα να καλύψει επαρκώς τις διατροφικές του ανάγκες. Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα παραγωγής κηπευτικών ειδών για λόγους καλλωπισμού αλλά και βοτάνων για λόγους υγείας.

Τα θερμοκήπια στη σημερινή εποχή συμβάλουν σημαντικά στην οικονομία και για αυτό αποτελούν έναν από τους πιο συνηθισμένους τρόπους καλλιέργειας. Ορισμένοι τρόποι συμβολής των θερμοκηπίων στην οικονομία είναι:

- Η εξασφάλιση εισοδήματος ακόμη και από ένα μικρής έκτασης γεωργικό έδαφος.
- Η αύξηση της παραγωγής έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των εξαγωγών σε περιοχές που οι κλιματολογικές συνθήκες είναι δυσμενείς.
- Η ικανότητα παραγωγής βοτάνων και κηπευτικών φυτών ώστε να δημιουργηθούν προϊόντα που θα αποφέρουν επιπλέον εισόδημα.
- Η δημιουργία θέσεων εργασίας σε γεωργούς καθώς επίσης και η ικανότητα πώλησης πολλών προϊόντων ακόμα και κατά τη χειμερινή περίοδο όπου οι κλιματικές συνθήκες δεν είναι οι κατάλληλες.



Εικόνα 4: Θερμοκηπιακή μονάδα στη Δράμα 100 στρεμμάτων

## 1.6 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Υπάρχουν διάφορα είδη θερμοκηπίων από κατασκευαστικής άποψης, στο σχήμα και στις διαστάσεις της βασικής μονάδας καθώς και στα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη τους. Η βασική μονάδα είναι το μικρότερο πλήρες τμήμα, το οποίο επαναλαμβανόμενο κατά μήκος και πλάτος σχηματίζει το σύνολο.

Ανάλογα με το σχήμα του θερμοκηπίου διακρίνονται σε Αμφίρρικτα και Τοξωτά.

### ➤ Αμφίρρικτο Θερμοκήπιο

#### A) Αμφίρρικτο απλό

Λέμε την κατασκευή που σχηματίζεται με την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας.



Εικόνα 5: Απλό Αμφίρρικτο θερμοκήπιο

### Β) Αμφίρρικτο πολλαπλό

Λέμε την κατασκευή που σχηματίζεται με την κατά μήκος και πλάτος επανάληψη της βασικής κατασκευαστικής μονάδας.



Εικόνα 6: Αμφίρρικτο πολλαπλό θερμοκήπιο

Οι βασικές διαστάσεις ενός Αμφίρρικτου θερμοκηπίου είναι:

- Ελάχιστο ύψος 2,2m για χωρικού τύπου και 2,6 για τυποποιημένα.
- Πλάτος 5m και στις δυο περιπτώσεις.
- Απόσταση στύλων 2m για χωρικού τύπου και 2,5m για τυποποιημένα.
- Η κλίση της οροφής κυμαίνεται στις 20-30° και στις δυο περιπτώσεις.

### ➤ Τοξωτό Θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο που η απλή κατασκευαστική του μονάδα καθορίζεται από δυο συνεχόμενα τόξα και έχει το παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 7: Τοξωτό θερμοκήπιο

A) Τοξωτό απλό

Είναι το θερμοκήπιο που σχηματίζεται από την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής του μονάδας.



Εικόνα 8: Απλό τοξωτό θερμοκήπιο

Τα τοξωτά θερμοκήπια που η απλή κατασκευαστική τους μονάδα έχει ορθοστάτες και στέγη ονομάζονται τροποποιημένα τοξωτά. Τα τροποποιημένα τοξωτά διακρίνονται σε απλά και πολλαπλά.

B) Τοξωτό τροποποιημένο απλό

Είναι τα θερμοκήπια που σχηματίζονται με την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής τους μονάδας.



Εικόνα 9: Απλό τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο

### Γ) Τοξωτό τροποποιημένο πολλαπλό

Είναι το θερμοκήπιο που σχηματίζεται με την κατά μήκος και πλάτος επανάληψη της κατασκευαστικής του μονάδας.



Εικόνα 10: Πολλαπλό τοξωτό τροποποιημένο θερμοκήπιο

Οι βασικές διαστάσεις των τοξωτών θερμοκηπίων είναι:

- Ελάχιστο ύψος 3m στην κορυφή.
- Πλάτος 7m ελάχιστη τιμή.

Οι βασικές διαστάσεις των τοξωτών τροποποιημένων θερμοκηπίων είναι:

- Ελάχιστο ύψος υδρορροής 2,2m για χωρικού τύπου και 2,6m για τυποποιημένου.
- Ελάχιστο ύψος κορυφής 3,1m για χωρικού και 3,5m για τυποποιημένα.
- Απόσταση στύλων κορυφής 2m και στις δυο περιπτώσεις.

## 1.7 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΚΕΛΕΤΟΥ

Κατά το σχεδιασμό ενός θερμοκηπίου, βασικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι η καλύτερη δυνατή φωτεινότητα, η διάρκεια του και η μείωση των απωλειών θερμότητας κατά την χειμερινή περίοδο. Όσον αφορά τη θερινή περίοδο σημαντική παράμετρος είναι η δυνατότητα εξαερισμού του θερμοκηπίου.

Τα διάφορα θερμοκήπια που υπάρχουν, έχουν τα προηγούμενα σχήματα ή έχουν μια από τις πολλές παραλλαγές αυτών των δυο βασικών σχημάτων. Έχουν δημιουργηθεί επίσης θερμοκήπια άλλων σχημάτων, που σχεδιάστηκαν για να καλύψουν ειδικές ανάγκες, όπως π.χ. το ημισφαιρικό θερμοκήπιο που συναντάμε σε βοτανικούς κήπους ή ερευνητικά εργαστήρια, το θερμοκήπιο με βορεινή στήριξη σε

τοίχο, που τοποθετείται στη νότια πλευρά ενός υπάρχοντος κτιρίου και το ετεροκλινές θερμοκήπιο, του οποίου οι δυο κεκλιμένες επιφάνειες της οροφής είναι διαφορετικής κλίσης και πλάτους η κάθε μια, για μεγαλύτερη είσοδο ηλιακής ενέργειας το χειμώνα. Τα τελευταία προσαρμόζονται κυρίως σε πλευρές λόφων.

Πέρα από αυτά τα χαρακτηριστικά έχει ιδιαίτερη σημασία η αντοχή και η στερεότητα της κατασκευής, χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η λειτουργικότητα και η ευκολία συναρμολόγησης του χώρου. Τα θερμοκήπια ανάλογα με το υλικό κατασκευής του σκελετού διακρίνονται σε ξύλινα, αλουμίνιου και μεταλλικά.

### 1.7.1 Διάκριση των θερμοκηπίων σε σχέση με τις διαστάσεις της κατασκευαστικής μονάδας

- **Θερμοκήπια χαμηλά** (η χαμηλή πλευρά έχει ύψος 1,8-2,60m).

Τα θερμοκήπια αυτού του ύψους, λόγω του μικρού τους όγκου έχουν σχετικά μικρότερες απώλειες ενέργειας. Μειονεκτούν όμως στα ακόλουθα σημεία:

- α) Οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό τους μεταβάλλονται απότομα από τη μεταβολή ημέρας - νύχτας, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται δυσμενείς συνθήκες σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας.
- β) Δυσκολεύονται μερικές καλλιεργητικές εργασίες λόγω του χαμηλού ύψους.

- **Θερμοκήπια υψηλά** (η χαμηλή πλευρά τους έχει ύψος 2,60m και άνω).

Αυτά έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- α) Παρέχουν καλό παθητικό εξαερισμό.
- β) Ικανοποιούν τις ανάγκες των περισσότερων καλλιεργειών από πλευράς χώρου.
- γ) Είναι φωτεινότερα.

Τα αμφικλινή υψηλά θερμοκήπια μπορούν επίσης να διακριθούν σε θερμοκήπια υψηλής και χαμηλής οροφής.

Στα υψηλής οροφής αμφικλινή θερμοκήπια η οροφή της κατασκευαστικής μονάδας δημιουργείται από δυο κεκλιμένες επιφάνειες, αποκτούν έτσι χώρο μεγάλου όγκου, ο τύπος αυτός χαρακτηρίζεται διεθνώς με το όνομα Wide Span. Στα χαμηλής οροφής αμφικλινή θερμοκήπια, η οροφή της κατασκευαστικής μονάδας δημιουργείται από δυο ζεύγη κεκλιμένων επιφανειών που δημιουργούν μικρότερο όγκο θερμοκηπίου, ο τύπος στους χαρακτηρίζεται διεθνώς με το όνομα Venlo.

Στη βόρεια Ευρώπη, τα χαμηλής οροφής θερμοκήπια είναι πιο διαδεδομένα για την καλλιέργεια λαχανικών, ενώ τα υψηλής οροφής για την καλλιέργεια καλλωπιστικών φυτών.

Οι διαφορές στα θερμοκήπια χαμηλής οροφής συγκριτικά με τα υψηλής οροφής είναι:

- Μειωμένες απώλειες θερμότητας λόγω μικρότερου όγκου.
- Είναι φθηνότερα.
- Η κίνηση του αέρα μέσα σε αυτά δυσχεραίνεται περισσότερο, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για μεγάλης έκτασης θερμοκήπια και εντός αυτών καλλιεργούνται μεγάλο ύψους φυτά.

- **Θερμοκήπια με κατασκευαστική μονάδα μεγάλου πλάτους** (πάνω από 5 μέτρα)

- α) Διευκολύνουν την εκμηχάνιση των καλλιέργειών.
- β) Διευκολύνουν την κίνηση των καλλιεργητών στο χώρο.
- γ) Είναι φωτεινά.

- **Θερμοκήπια με κατασκευαστική μονάδα μικρού πλάτους** (κάτω από 5 μέτρα).

Αυτά τα θερμοκήπια είναι αρκετά φθηνότερα από τα μεγάλου πλάτους θερμοκήπια, αλλά μειονεκτούν διότι έχουν τα αντίθετα χαρακτηριστικά των θερμοκηπίων μεγάλου πλάτους.

### 1.7.2 Διάκριση των θερμοκηπίων σε σχέση με τα χρησιμοποιούμενα υλικά σκελετού

- **Ξύλινα θερμοκήπια**

Το ξύλο ως υλικό σκελετού θερμοκηπίων χρησιμοποιείται για κατασκευές με πλάτος κατασκευαστικής μονάδας μέχρι 6m. Τα θερμοκήπια αυτά έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι εύκολα στην κατασκευή και συγκριτικά φθηνότερα.

Μειονεκτούν από τα μεταλλικά θερμοκήπια στα εξής σημεία:

- α) Η διάρκεια ζωής τους είναι σημαντικά περιορισμένη.
  - β) Δεν είναι εύκολη η κατασκευή παραθύρων οροφής και η αυτοματοποίηση γενικά στους παθητικούς εξαερισμούς.
  - γ) Συχνά τα ξύλα στρεβλώνουν, με αποτέλεσμα τη κακή στεγανότητα του θερμοκηπίου.
  - δ) Είναι λιγότερο φωτεινά.
- **Μεταλλικά θερμοκήπια από γαλβανισμένο χάλυβα**

Τα θερμοκήπια αυτού του τύπου προτιμώνται περισσότερο σήμερα, διότι:

- α) Τα στοιχεία του σκελετού έχουν μικρές διατομές με ανακλαστική επιφάνεια και γι' αυτό ο χώρος μέσα στο θερμοκήπιο είναι φωτεινός.
  - β) Διαρκούν περισσότερο σε σχέση με τα άλλα, 15 χρόνια και άνω.
  - γ) Οι μηχανισμοί του παθητικού εξαερισμού κατασκευάζονται και αυτοματοποιούνται ευκολότερα.
  - δ) Μεταφέρονται ευκολότερα σε περίπτωση μετεγκατάστασης της επιχείρησης.
- **Θερμοκήπια από αλουμίνιο**

Αυτού του είδους τα θερμοκήπια έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- α) Έχουν πολύ ελαφρότερα στοιχεία σκελετού.
- β) Δεν διαβρώνονται στο περιβάλλον του θερμοκηπίου.
- γ) Οι διατομές των στοιχείων τους είναι μικρές, με ανακλαστική επιφάνεια, που ευνοούν τη φωτεινότητα του χώρου.
- δ) Κατασκευάζεται και αυτοματοποιείται πολύ εύκολα ο παθητικός εξαερισμός, γιατί τα κινητά στοιχεία του παθητικού εξαερισμού είναι σχετικά ελαφρά.
- ε) Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

### 1.7.3 Διάκριση των θερμοκηπίων σε σχέση με τα χρησιμοποιούμενα υλικά κάλυψης

- **Υαλόφρακτα θερμοκήπια**

Τα θερμοκήπια αυτά διατηρούν πολύ καλή περάτωση στο φως για πάρα πολλά χρόνια, έτσι ώστε θεωρητικά, να μην χρειάζεται να αντικατασταθεί το διαφανές κάλυμμα σε όλη τη διάρκεια ζωής του θερμοκηπίου. Απαιτούν όμως σκελετό μεγαλύτερης αντοχής, άκαμπτο και με σχήμα θερμοκηπίου που δημιουργείται από επίπεδες επιφάνειες.

- **Θερμοκήπια με διαφανές κάλυμμα από εύκαμπτο πλαστικό φύλλο.**

Τα θερμοκήπια με αυτό το κάλυμμα:

- Μπορεί να έχουν ελαφρότερο σκελετό.
- Μπορεί να έχουν οποιοδήποτε σχήμα.
- Στοιχίζουν λιγότερο. Έχουν όμως το μειονέκτημα ότι το κάλυμμα διαρκεί μόλις μερικά χρόνια (το πολύ μέχρι 3) και στη συνέχεια χρειάζεται να αντικατασταθεί.

- **Θερμοκήπια με διαφανές κάλυμμα από σκληρό πλαστικό**

Τα θερμοκήπια αυτού του τύπου συγκριτικά με τα υαλόφρακτα:

- Μπορεί να έχουν ελαφρότερο σκελετό.
- Ο σκελετός μπορεί να έχει μεγαλύτερη ποικιλία σχημάτων.
- Είναι ανθεκτικά στο χαλάζι και τις καιρικές συνθήκες.
- Μερικά, όπως τα καλυμμένα με διπλές πολυκαρβονικές ή ακρυλικές επιφάνειες, εξασφαλίζουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Μειονέκτημα αυτών των θερμοκηπίων είναι ότι μετά από μερικά χρόνια παρουσιάζουν μικρότερη περάτωση στο φως από αυτή των υαλόφρακτων.

Η διάρκεια ικανοποιητικής περάτωσης στο φως χωρίς αλλαγή υλικού κάλυψης, υπολογίζεται στα 6 με 10 περίπου χρόνια.

Το θερμοκήπιο που κατασκευάζεται και καλύπτεται με σκληρό πλαστικό κοστίζει πολύ ακριβότερα από αυτό που καλύπτεται με εύκαμπτο πλαστικό και είναι λίγο φθηνότερο από το υαλόφρακτο θερμοκήπιο.

- **Απλής γραμμής ή πολλαπλής γραμμής θερμοκήπια**

#### Απλής γραμμής

Τα θερμοκήπια αυτά γίνονται από μια σειρά βασικών κατασκευαστικών μονάδων τοποθετημένων κατά μήκος.

Τα θερμοκήπια αυτά:

- Επιτρέπουν μεγαλύτερη διείσδυση του φωτός στο εσωτερικό τους, διότι δέχονται περισσότερο διάχυτο φωτισμό από τις πλευρές τους. Θα πρέπει όμως, όταν τοποθετούνται πολλά θερμοκήπια σε μια περιοχή και η μεταξύ τους απόσταση να είναι μεγαλύτερη από τα 2/3 του ύψους τους.
- Έχουν αποτελεσματικό φυσικό εξαερισμό από τα πλευρικά παράθυρα, επειδή το πλάτος τους είναι περιορισμένο.

- γ) Είναι ασφαλέστερα στις χιονόπληκτες περιοχές, επειδή το χιόνι απομακρύνεται γρηγορότερα από την οροφή τους (εκτός από το αμφικλινές χαμηλής οροφής).

Έχουν και πολύ σημαντικά μειονεκτήματα, τα οποία είναι η μικρότερη αξιοποίηση της έκτασης του αγρού και οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας θέρμανσης.

### **Πολλαπλής γραμμής θερμοκήπια**

Τα πολλαπλής γραμμής θερμοκήπια προέρχονται από απλά, που έχουν συνδεθεί μεταξύ τους στην πλευρά. Στην ένωση των πλευρών της οροφής των θερμοκηπίων κατασκευάζεται υδρορροή, απ' όπου απομακρύνεται το νερό της βροχής ή του λιωμένου χιονιού. Το κατασκευαστικό στοιχείο επομένως σε αυτά τα θερμοκήπια επαναλαμβάνεται κατά μήκος και κατά πλάτος.

Τα θερμοκήπια αυτά:

- α) Έχουν μεγάλο συνεχόμενο εσωτερικό χώρο, χρήσιμο στην εκμηχάνιση.
- β) Παρουσιάζουν οικονομία στη θέρμανση, διότι έχουν μικρότερη επιφάνεια καλύμματος ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους.
- γ) Όταν καλύπτουν μεγάλη συνεχόμενη έκταση δεν έχουν καλό παθητικό εξαερισμό, γι' αυτό σε θερμές περιοχές θα πρέπει να αποφεύγονται πολλαπλά θερμοκήπια πολύ μεγάλης έκτασης.
- δ) Στην οροφή τους συγκρατείται μεγάλη ποσότητα χιονιού, γι' αυτό σε περιοχές με χιονοπτώσεις, ιδιαίτερα σ' αυτά τα θερμοκήπια, θα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα μέτρα ασφαλείας.

### **1.7.4 Διάκριση των θερμοκηπίων σε σχέση με το διαθέσιμο σύστημα εξαερισμού**

- **Θερμοκήπια με φυσικό εξαερισμό**

Ο εξαερισμός σ' αυτά τα θερμοκήπια γίνεται από παράθυρα, πλευρικά και οροφής.

Τα πλεονεκτήματα του φυσικού εξαερισμού είναι:

- α) Δεν απαιτείται ενέργεια για τη λειτουργία του.
- β) Οποιαδήποτε βλάβη στο σύστημα μπορεί να αντιμετωπισθεί από τον ίδιο τον καλλιεργητή.
- γ) Θερμοκήπια με αυτό το σύστημα μπορεί να τοποθετηθούν οπουδήποτε ανεξάρτητα από την ύπαρξη ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα μειονεκτήματά του είναι:

- α) Δεν μπορούν να επιτευχθούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες στο χώρο του θερμοκηπίου τις θερμές ημέρες με άπνοια.
- β) Για τη σωστή λειτουργία του συστήματος φυσικού εξαερισμού απαιτούνται κατασκευές θερμοκηπίου μεγάλου ύψους και δυνατότητα κατασκευής στεγανών παραθύρων οροφής που να αυτοματοποιούνται εύκολα.

Τα θερμοκήπια που διαθέτουν παθητικό εξαερισμό, μπορεί να διακριθούν σε:

- A) Θερμοκήπια με ανοίγματα μόνο πλευρικά.

Τα θερμοκήπια αυτά στοιχίζουν λιγότερο, αλλά εάν το πλάτος τους υπερβαίνει τα 16 m, δεν εξαερίζονται ικανοποιητικά, ιδιαίτερα σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου

B) Θερμοκήπια με ανοίγματα πλευρικά και συνεχόμενα οροφής.

Τα θερμοκήπια αυτά στοιχίζουν ακριβότερα, αλλά δημιουργείται πολύ καλύτερος εξαερισμός από τα προηγούμενα.

- **Θερμοκήπια με δυναμικό εξαερισμό**

Ο εξαερισμός στα θερμοκήπια αυτά γίνεται με δυναμικά μέσα (εξαεριστήρες)

Τα πλεονεκτήματα των θερμοκηπίων αυτών είναι:

- α) Παρέχουν ικανοποιητική ανανέωση του αέρα του χώρου του θερμοκηπίου, ακόμα και σε περιπτώσεις άπνοιας.
- β) Παρέχουν ικανοποιητική ανανέωση του αέρα σε κατασκευές θερμοκηπίων που είναι τεχνικά και οικονομικά δύσκολη η κατασκευή αποτελεσματικού συστήματος παθητικού εξαερισμού.
- γ) Απαιτούν θερμοκήπια μικρότερου όγκου και επομένως με μικρότερες απώλειες ενέργειας κατά τη διάρκεια της περιόδου της θέρμανσης.
- δ) Με μικρές προσθήκες μπορεί να λειτουργήσει σύστημα δροσισμού (με εξάτμιση νερού) με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του χώρου να μπορεί να μειωθεί σε επίπεδα και κάτω της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα.

Μειονεκτήματα του δυναμικού εξαερισμού είναι:

- α) Η λειτουργία του δυναμικού εξαερισμού καταναλώνει σημαντικές ποσότητες ενέργειας κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου.
- β) Όταν δεν υπάρχει σύστημα δροσισμού μειώνει σημαντικά τη σχετική υγρασία του χώρου του θερμοκηπίου, με δυσμενείς επιπτώσεις σε ορισμένα φυτά.
- γ) Δεν είναι δυνατόν να τοποθετηθεί σε περιοχές όπου δεν υπάρχει ηλεκτρική ενέργεια.
- δ) Δεν εγκαθίσταται σε περιοχές όπου μια ζημιά στο σύστημα του δυναμικού εξαερισμού δεν μπορεί να επισκευασθεί σύντομα γιατί υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της φυτείας.

## 2. ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

### 2.1 Ο ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ

Το περιβάλλον του θερμοκηπίου αντιπροσωπεύεται από μια ομάδα μέσω των τιμών κλιματικών παραγόντων όπως η ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα. Αυτοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών και η ρύθμισή τους ορίζεται ως μικροκλίμα θερμοκηπίου.

Η διαφορά μεταξύ μικροκλίματος θερμοκηπίου και του εξωτερικού καιρού οφείλεται σε δύο μηχανισμούς. Ο πρώτος είναι ο αέρας που περικλείεται στο θερμοκήπιο και ο οποίος είναι εγκλωβισμένος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι εναλλαγές του αέρα στο θερμοκήπιο με τον εξωτερικό αέρα να είναι μειωμένες και οι ταχύτητες του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο να είναι μικρές σε σχέση με αυτές του εξωτερικού αέρα. Η μείωση των εναλλαγών του αέρα (ή του εξαερισμού) επιδρά άμεσα στα ισοζύγια ενέργειας και μάζας, ενώ οι μικρότερες ταχύτητες επηρεάζουν την ανταλλαγή ενέργειας, την εξάτμιση νερού και το διοξείδιο του άνθρακα ανάμεσα στον αέρα του θερμοκηπίου και στα άλλα στοιχεία του θερμοκηπίου (καλλιέργεια, έδαφος, κάλυμμα, σύστημα θέρμανσης).

Ο δεύτερος είναι ο μηχανισμός της ακτινοβολίας κατά τον οποίο η όποια μικρού μήκους ηλιακή ακτινοβολία εμποδίζεται από τα διάφανα στοιχεία του θερμοκηπίου ενώ η ανταλλαγή της μεγάλου μήκους ακτινοβολίας εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος είναι αποτέλεσμα ραδιομετρικών ιδιοτήτων των υλικών κάλυψης.

Το μικροκλίμα επηρεάζεται από το προσανατολισμό, το γεωγραφικό πλάτος, την περιοχή του θερμοκηπίου, το δομικό σχεδιασμό και τις ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στη κατασκευή του θερμοκηπίου. Εξαρτάται από τα συστήματα θέρμανσης και εξαερισμού.

### 2.2 Η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η χρησιμότητα της θέρμανσης στα θερμοκήπια είναι πολύ σημαντική ιδίως για τη συστηματική καλλιέργεια φυτών εκτός εποχής, αφού τα περισσότερα κηπευτικά για να αναπτυχθούν ικανοποιητικά απαιτούν θερμοκρασίες 10° - 25° C.

Το πόσο επηρεάζει η θερμοκρασία την ανάπτυξη των φυτών είναι γνωστό σε όλους αφού γνωρίζουμε τις ζημιές που προκαλεί κάθε χρόνο ο παγετός ή ο καύσωνας στις καλλιέργειες.

Βέβαια στα θερμοκήπια η θερμοκρασία σπάνια ξεπερνά τα ακραία όρια ώστε να καταστρέψει τα φυτά, συνήθως όμως απέχει αρκετά από το άριστο επίπεδο. Αυτό είναι εξίσου καταστροφικό, αφού μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή της παραγωγής, μείωση των αποδόσεων, υποβάθμιση της ποιότητας και μείωση της διατήρησης των προϊόντων, αύξηση της ευπάθειας σε παθογόνους μικροοργανισμούς και άλλα.

Στην Ελλάδα η μέση ετήσια θερμοκρασία διαφέρει αρκετά μεταξύ των βόρειων και νότιων περιοχών και ακόμη περισσότερο κατά τη διάρκεια των παγετών. Εκτός από τις διαφορές που παρατηρούνται ως

προς τη μέση μηνιαία θερμοκρασία υπάρχει και σημαντική διαφορά στον αριθμό ημερών παγετού, κατά τη διάρκεια των οποίων απαιτείται θέρμανση για την προστασία των καλλιεργειών.

Οι ανάγκες σε καύσιμα υπολογίζονται σε 15 με 18L πετρελαίου ανά στρέμμα για θέρμανση σε θερμοκρασία 13 - 15°. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, όμως για πλήρη κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση όλων των θερμοκηπίων της χώρας μας απαιτούνται 1.300.000 τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι για να γίνουν τα θερμοκηπιακά προϊόντα ανταγωνιστικά δεν χρειάζεται μόνο να δοθεί έμφαση στη σημασία της θέρμανσης αλλά παράλληλα να διαδοθούν και τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας και χρήσης ήπιων μορφών ενέργειας (γεωθερμική, ηλιακή και άλλα).

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο δίνεται η θερμότητα στο χώρο του θερμοκηπίου, τα κλασικά συστήματα θέρμανσης διακρίνονται σε:

- Τοπικά συστήματα στα οποία χρησιμοποιούνται θερμάστρες παραφίνης, επαγωγής, υπέρυθρης ακτινοβολίας ή αερόθερμα.
- Κεντρικά συστήματα όπου υπάρχει καυστήρας παραγωγής θερμού νερού ή ατμού, που κυκλοφορούν σε σωληνώσεις μέσα στο θερμοκήπιο.

Σύμφωνα με ένα άλλο διαχωρισμό, τα συστήματα θέρμανσης μπορούν να διακριθούν σε:

- Στατικά όπου μεταδίδεται η θερμότητα με ακτινοβολία με φορά και αγωγιμότητα μέσω του θερμού αέρα που παράγεται, γεννήτριες θερμού αέρα ή αερόθερμα.
- Θερμοδυναμικά όπου μεταδίδεται η θερμότητα με μεταφορά και αγωγιμότητα μέσω του θερμού αέρα που παράγεται, γεννήτριες θερμού αέρα ή αερόθερμα.

Τα στατικά ή συστήματα κεντρικής κυκλοφορίας του θερμού αέρα παρουσιάζουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης και δύσκολη ρύθμιση της λειτουργίας, αλλά ελάχιστα προβλήματα από καυσαέρια, καλή ομοιογένεια θέρμανσης, ικανοποιητικό επίπεδο σχετικής θέρμανσης του εδάφους και του αέρα, και τέλος, βαθμιαία πτώση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε περίπτωση βλάβης του συστήματος.

Αντίθετα, με τα θερμοδυναμικά συστήματα δεν θερμαίνεται το έδαφος, μειώνεται η σχετική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου σε περίπτωση βλάβης του συστήματος μειώνεται απότομα η θερμοκρασία και όταν οι συσκευές είναι τοποθετημένες στο εσωτερικό υπάρχει κίνδυνος να ζημιωθούν τα φυτά από τα καυσαέρια.

Παρόλα αυτά τα θερμοδυναμικά συστήματα διαθέτουν και αρκετά πλεονεκτήματα, όπως χαμηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, καλή ομοιομορφία θέρμανσης, εύκολη ρύθμιση της λειτουργίας, γρήγορη θέρμανση των φυτών, μείωση της συμπύκνωσης των υδρατμών στην εσωτερική επιφάνεια του υλικού κάλυψης λόγω των ρευμάτων αέρα και τέλος μεγαλύτερη ευχέρεια κίνησης στο θερμοκήπιο, αφού καταλαμβάνουν μικρό όγκο.

Στην επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης θα πρέπει να εξετάζεται:

- Αν μπορεί να εξασφαλίζει τη θερμοκρασία που χρειάζεται η καλλιέργεια.
- Αν διανέμει ομοιόμορφα τη θερμότητα έτσι ώστε να υπάρχει ομοιογένεια θέρμανσης στο θερμοκήπιο.

- Αν τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι σχετικά φτηνά και βρίσκονται εύκολα.
- Αν είναι εύκολη η συντήρηση και η επισκευή του.
- Αν υπάρχει κίνδυνος να ζημιωθούν τα φυτά από τα καυσαέρια.



Εικόνα 11: Σύστημα εξαερισμού σε θερμοκήπιο

### 2.3 Η ΥΓΡΑΣΙΑ

Η υγρασία είναι από τους σπουδαιότερους παράγοντες του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου του φυτού. Η υγρασία της ατμόσφαιρας του θερμοκηπίου εξαρτάται από την υγρασία του εξωτερικού αέρα, από την υγρασία του εδάφους του θερμοκηπίου και από τη θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου.

Όταν αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στο θερμοκήπιο αυξάνεται ταχύτατα η θερμοκρασία του αέρα, με συνέπεια τη μείωση της υγρασίας. Αντίστροφα, απότομες πτώσεις της θερμοκρασίας μπορούν να προκαλέσουν συμπυκνώσεις του ατμού και πολυάριθμες επιζήμιες καταστάσεις.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας στη φυσική του κατάσταση είναι μίγμα αερίων (οξυγόνου, αζώτου, διοξειδίου του άνθρακα, αργού κι άλλων αερίων σε ελάχιστες ποσότητες) και υδρατμών. Η σύνθεση αυτή μεταβάλλεται λόγω των φαινομένων εξάτμισης, διαπνοής, αναπνοής, φωτοσύνθεσης και λόγω της αιώρησης οργανικών και ανόργανων ουσιών (φυτοφάρμακα, σκόνη) στο χώρο του θερμοκηπίου.

Κορεσμένος με υγρασία είναι ο αέρας όταν σε ορισμένη θερμοκρασία και πίεση περιέχει τη μέγιστη ποσότητα υδρατμών χωρίς όμως αυτοί να είναι υγροποιημένοι.

Επιφανειακή συμπύκνωση καλείται το φαινόμενο της υγροποίησης των υδρατμών σε μια επιφάνεια όταν η επιφάνεια αυτή έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από την αντίστοιχη του χώρου. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε χώρους με αυξημένη σχετικά υγρασία και ιδίως όταν επικρατεί ψυχρός καιρός.

Το κάλυμμα του θερμοκηπίου είναι η επιφάνεια που πρωτοεμφανίζεται η συμπύκνωση των υδρατμών και ακολουθεί η επιφάνεια των φυτών. Το κάλυμμα αποκτά πρώτο τη χαμηλότερη θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου λόγω της άμεσης επαφής του με τον εξωτερικό ψυχρότερο αέρα. Η επιφάνεια

των φυτών επίσης ψύχεται γρήγορα τη νύχτα λόγω ακτινοβολίας. Η επιφανειακή συμπύκνωση έχει σαν αποτέλεσμα τη διάβρωση και τη σήψη των υλικών του σκελετού, τη μείωση της περάτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και τη δημιουργία ανθυγιεινού περιβάλλοντος.

Η συμπύκνωση των υδρατμών είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας που περιέχει ο αέρας, μπορεί επομένως να αποφευχθεί με την κατάλληλη ρύθμιση των δύο αυτών παραγόντων.

Συγκεκριμένα για να αποφευχθεί η επιφανειακή συμπύκνωση προσπαθούμε να μειώσουμε την ποσότητα των υδρατμών και να αυξήσουμε την υγρασία του χώρου.

Σημαντικός στη συμπύκνωση είναι και ο ρόλος των χαρακτηριστικών θερμοπεράτοτητας των υλικών κατασκευής.

Όταν ελαττωθεί ο συντελεστής θερμοπεράτοτητας του υλικού κάλυψης, αυξάνει η θερμομονωτικότητα και η θερμοκρασία της εσωτερικής πλευράς του υλικού κάλυψης, με αποτέλεσμα λιγότερες φορές η θερμοκρασία στην εσωτερική πλευρά κάλυψης και η σύσταση του ίδιου του υλικού να καθορίζεται κατά κάποιο τρόπο με την εμφάνιση ή όχι των υδροποιημένων ατμών, υπό μορφή σταγόνων. Ορισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται για κάλυψη δεν έχουν υδρόφοβη επιφάνεια και έτσι η συμπύκνωση δεν γίνεται υπό μορφή σταγόνων, αλλά υπό μορφή μεμβράνης. Άλλα υλικά επίσης είναι περατά κατά ένα ποσοστό στην υγρασία.

Πολλά σημεία της κατασκευής (π.χ. ο μεταλλικός σκελετός στον οποίο στηρίζονται οι υαλοπίνακες) λόγω μεγαλύτερης θερμικής αγωγιμότητας παρουσιάζουν μικρότερη θερμοκρασία από την επικρατούσα στο υπόλοιπο μεγαλύτερο τμήμα της, που είναι οι υαλοπίνακες, με συνέπεια στο σημείο αυτό να παρατηρείται συχνότερα ή σε μεγαλύτερο βαθμό, υδροποίηση υδρατμών. Τα σημεία αυτά ονομάζονται "θερμικές γέφυρες". Θερμικές γέφυρες δημιουργούν και οι γωνίες των δύο πλευρών, λόγω μεγαλύτερων απωλειών θερμότητας.

### 2.3.1 Ρύθμιση της σχετικής υγρασίας

Στο χώρο γύρω από τα φυτά, επιδιώκουμε η σχετική υγρασία να μην είναι ούτε πολύ υψηλή γιατί έτσι ευνοείται η ανάπτυξη πολλών μυκητολογικών και βακτηριολογικών ασθενειών των φυτών, αλλά ούτε πολύ χαμηλή γιατί έτσι αυξάνεται υπερβολικά η διαπνοή από τα φύλλα των φυτών και ακόμη ευνοείται η ανάπτυξη των ακάρεων.

Ο ξερός αέρας, η ψηλή θερμοκρασία και η κίνηση του αέρα που ευνοούν τη διαπνοή, ενεργούν ταυτόχρονα την ίδια στιγμή. Το μεσημέρι όταν κάνει ζέστη και ο αέρας έχει χαμηλότερη σχετική υγρασία, τα παράθυρα είναι ανοικτά και λειτουργούν οι ανεμιστήρες για να μειωθεί η θερμοκρασία, και έτσι η κίνηση του αέρα είναι αυξημένη.

Επομένως κατά τη διάρκεια των θερμών ωρών είναι σχετικά αναγκαίο να αυξηθεί η υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου.

Τρόποι με τους οποίους αυξάνεται η υγρασία του χώρου είναι:

- Βρέξιμο των διαδρόμων και των πλευρικών τοιχωμάτων του θερμοκηπίου.
- Ψεκάσμος νερού πάνω από τα φυτά με πολύ μικρές σταγόνες που κατορθώνεται με σύστημα υδρονέφωσης υψηλής πίεσης. Όταν ψεκάζουμε κατ' αυτόν τον τρόπο τα φυτά, πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας τα ευαίσθητα φυτά τα οποία μπορεί να εμφανιστούν ξερές κηλίδες ή κίτρινα σημάδια στην επιφάνεια τους. Επίσης πρέπει να προσέχουμε το νερό να μην είναι μεγάλης σκληρότητας γιατί στα φύλλα παρουσιάζονται άλατα.

- Κλείσιμο των παραθύρων ή παύση της λειτουργίας του ανεμιστήρα, ώστε η υγρασία που διαπνέουν τα φυτά ή που εξατμίζεται από το έδαφος, να παραμένει μέσα στο θερμοκήπιο. Ο τρόπος όμως αυτός δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις, γιατί αν η ηλιακή ενέργεια που μπαίνει στο θερμοκήπιο είναι πολύ μεγάλη, θα δημιουργηθεί γρήγορα πρόβλημα πολύ υψηλών θερμοκρασιών.

Οι συνθήκες που ευνοούν την υπερβολική υγρασία, ενεργούν επίσης ταυτόχρονα μέσα στο θερμοκήπιο. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπου ψύχεται ο αέρας, η σχετική υγρασία αυξάνει και επειδή δεν υπάρχει σημαντική κίνηση του αέρα (τα παράθυρα τη νύχτα είναι κλειστά) η υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου αυξάνει συνεχώς.

Τρόποι για τη μείωση της υγρασίας:

- Το χειμώνα θα πρέπει το νερό να χρησιμοποιείται με φειδώ ώστε να μην υπάρχει υπερβολική υγρασία στο έδαφος ή στην επιφάνεια των φυτών.
- Να μην γίνεται ψεκασμός του εδάφους ή των φυτών τις ώρες που η θερμοκρασία είναι χαμηλή. Γενικά, καλό είναι να μη γίνονται το χειμώνα ψεκασμοί κατά το απόγευμα ή αργά το βράδυ, γιατί τη νύχτα η σχετική υγρασία θα αυξηθεί υπερβολικά.
- Να ανοίγουν τα παράθυρα ή να λειτουργούν οι ανεμιστήρες. Ακόμη και με κρύο νερό, όταν η σχετική υγρασία είναι υπερβολικά υψηλή μέσα στο θερμοκήπιο, είναι αναγκαίο να ανοιχτούν τα παράθυρα για μικρό χρονικό διάστημα. Έτσι θα μειωθεί η σχετική υγρασία, έστω κι αν χαθεί ένα ποσοστό θερμότητας, που όμως θα συμπληρώσει το σύστημα θέρμανσης.

Τα τελευταία χρόνια, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας, χρησιμοποιούνται ειδικοί μεταλλάκτες, όπου ο εσωτερικός αέρας βγαίνοντας προς τα έξω, αφήνει τη θερμότητά του στον αέρα που εισέρχεται για να τον αντικαταστήσει. Έτσι, η θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα είναι μόνο 1-2° C χαμηλότερη απ' αυτή του εξερχόμενου.

## 2.4 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) αποτελεί την πρώτη ύλη της φωτοσύνθεσης, γι' αυτό θα πρέπει να γνωρίζουμε καλά τις μεταβολές της συγκέντρωσής του στο θερμοκήπιο. Η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 0,03 % ή 300 ppm και μεταβάλλεται από 0,02 - 0,04 %. Η συγκέντρωση αυτού του αερίου μεταβάλλεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, ενώ πρακτικά δεν μεταβάλλεται στον ελεύθερο αέρα.

Παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια των πρώτων ωρών του πρωινού μιας ημέρας, η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub>, στο θερμοκήπιο είναι μεγαλύτερη από αυτή της ατμόσφαιρας. Με την αύξηση της φωτεινής ακτινοβολίας και όταν η διαδικασία της φωτοσύνθεσης απαιτεί μεγάλες ποσότητες CO<sub>2</sub>, η συγκέντρωση του αερίου κατεβαίνει σε πολύ χαμηλή στάθμη (περίπου 200 ppm). Για μερικές ώρες αυτή η στάθμη παραμένει περίπου σταθερή και μόλις η ακτινοβολία αρχίσει να μειώνεται η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> αρχίζει να αυξάνεται και φτάνει στο αρχικό επίπεδο.

Πρέπει να τονίσουμε ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα σε ημέρες με συννεφιασμένο καιρό η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> γίνεται πολύ χαμηλότερη από ότι κατά τη διάρκεια φωτεινών ημερών, επειδή τα θερμοκήπια πρέπει να παραμείνουν κλειστά για όλη την ημέρα και επομένως το CO<sub>2</sub> που υπάρχει στο εσωτερικό, χρησιμοποιείται από τα φυτά και δεν αποκαθίσταται από το εξωτερικό.

Έτσι στους χειμερινούς μήνες περιοριστικός παράγοντας εκτός από το φως είναι και η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου, η οποία σχετίζεται με την ηλιακή ενέργεια και την εξωτερική θερμοκρασία.

### 2.4.1 Εφαρμογές CO<sub>2</sub>

Ο εμπλουτισμός του χώρου του θερμοκηπίου με CO<sub>2</sub> και μάλιστα με συγκεντρώσεις μεγαλύτερες απ' αυτές που υπάρχουν στη φύση, έχει σημαντική επίδραση στην αύξηση της παραγωγής ποσοτικά και ποιοτικά (μειώνεται ο ρυθμός φωτοαναπνοής).

Οι συνηθέστερες συγκεντρώσεις σε θερμοκήπια είναι μεταξύ 0,08 - 0,15%. Για να είναι αποδοτική η ενέργεια του εμπλουτισμού με CO<sub>2</sub> θα πρέπει και οι άλλοι παράγοντες που συμμετέχουν στην αύξηση των φυτών να βρίσκονται στο άριστο επίπεδο. Δηλαδή θα πρέπει το φως να πλημμυρίζει το θερμοκήπιο, η ημερήσια θερμοκρασία στο χώρο θα πρέπει να είναι η άριστη δυνατή και μάλιστα μερικούς βαθμούς ανώτερη από όταν δεν χρησιμοποιούμε CO<sub>2</sub>, η εδαφική υγρασία να βρίσκεται σε κανονικά επίπεδα και το λιπαντικό πρόγραμμα να έχει προσαρμοστεί κατάλληλα, γιατί με τον εμπλουτισμό αυξάνει ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών.

Η διαδικασία του εμπλουτισμού είναι αρκετά δαπανηρή πρέπει να εφαρμόζεται με προσοχή ώστε η αύξηση της παραγωγής και η βελτίωση της ποιότητας να υπερκαλύπτουν το κόστος εμπλουτισμού.

Ο εμπλουτισμός δεν πρέπει να γίνεται όταν τα παράθυρα είναι ανοικτά γιατί έχουμε σπατάλη και γίνεται ασύμφορη η χρήση του. Για το λόγο αυτό δεν αποδίδει τις θερμές εποχές γιατί τότε είναι αναγκαίος ο εξαερισμός όλη τη μέρα για να κρατηθεί η θερμοκρασία του θερμοκηπίου σε επιθυμητά επίπεδα.

Συμπερασματικά λέμε για τον εμπλουτισμό: κατά τη διάρκεια της μέρας εφαρμόζεται, γιατί τότε λειτουργεί η φωτοσύνθεση και όταν τα παράθυρα είναι κλειστά και δεν λειτουργούν οι εξαεριστήρες.

Στις ελληνικές συνθήκες μπορεί να γίνεται από Νοέμβριο έως Απρίλιο γιατί τότε τα παράθυρα μένουν ανοικτά για μικρό διάστημα.

Οι μέθοδοι εμπλουτισμού είναι οι εξής:

- Καύση προπάνιου σε ειδικούς καυστήρες τελείας καύσης ή φυσικού αερίου ή κηροζίνης.

Οι καυστήρες κρέμονται από το κέντρο της οροφής του θερμοκηπίου και λειτουργούν με φωτοκύτταρο ή χρονοδιακόπτη. Όταν ανοίγουν τα παράθυρα, τότε αυτόματα μπορεί να σταματήσουν. Το καύσιμο πρέπει να είναι ψηλής καθαρότητας ιδίως ως προς το θείο γιατί το θείο όταν καεί παράγει διοξείδιο του θείου που διαλύεται στην υγρασία και μετατρέπεται σε θειώδες και θειικό οξύ που προκαλούν εγκαύματα στα φυτά. Αν επίσης η καύση είναι ατελής παράγεται αιθυλένιο και μονοξείδιο του άνθρακα που είναι επιβλαβή για τα όντα.

- Εξάτμιση υγρού διοξειδίου του άνθρακα.

Το υγρό διοξείδιο του άνθρακα βρίσκεται σε δεξαμενή και διοχετεύεται υπό υψηλή πίεση με σωλήνες στο χώρο του θερμοκηπίου με μια σειρά βαλβίδων.

- Εξάχνωση διοξειδίου του άνθρακα (ξηρός πάγος)

Μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου τοποθετούνται κατά διαστήματα τεμάχια πάγου, ώστε με την εξαέρωσή τους να δίνουν οξυγόνο σ' όλο το χώρο. Δεν είναι τότε δυνατή η ρύθμιση της εξαέρωσης γιατί από τη στιγμή που θα αφηθεί ο ξηρός πάγος εξαερώνεται χωρίς έλεγχο.

Σ' ένα θερμοκήπιο απαιτούνται 5,6 gr/m<sup>2</sup> καθαρό διοξείδιο του άνθρακα ή 2,2 gr/m<sup>2</sup> καιόμενο αέριο προπάνιο. Το υγρό ή στερεό διοξείδιο του άνθρακα είναι το πιο δαπανηρό γιατί απαιτήθηκε ενέργεια για την υγροποίηση στερεοποίησή του.

## 2.5 ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Με τον γενικό όρο "αερισμός" του θερμοκηπίου εννοούμε δυο διαφορετικές τεχνικές:

1. Την ανάδευση του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου.
2. Την ανταλλαγή του θερμού αέρα του θερμοκηπίου με τον εξωτερικό αέρα, που το ονομάζουμε ειδικότερα εξαερισμό.

Με την ανάδευση του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου επιδιώκεται η δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών περιβάλλοντος σε όλο το χώρο του.

Με τον εξαερισμό επιδιώκεται ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο κατά τη θερμή περίοδο και η διόρθωση της αναλογίας των διαφόρων συστατικών του αέρα μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου, όπως της συγκέντρωσης των υδρατμών, του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων. Στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες, οι ανάγκες για εξαερισμό είναι μεγάλες από νωρίς την άνοιξη έως και αργά το φθινόπωρο.

Ο ρυθμός και ο τρόπος αερισμού ενός θερμοκηπίου εξαρτάται από την εποχή. Έτσι, διακρίνουμε τον αερισμό του χειμώνα, του θέρους και της άνοιξης - φθινοπώρου.

### 2.5.1 Αερισμός χειμώνα

Το χειμώνα ο βασικός στόχος του αερισμού είναι η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στο χώρο των φυτών, με ανάδευση του αέρα του θερμοκηπίου. Συχνά όμως, ιδιαίτερα στις νότιες περιοχές της χώρας μας, κατά τις ηλιόλουστες, ώρες απαιτείται και εξαερισμός για τη μείωση της θερμοκρασίας. Στις περιπτώσεις αυτές, το σύστημα εξαερισμού πρέπει να μπορεί να εισάγει μικρές ποσότητες αέρα, πολύ μικρότερες από τη μέγιστη ικανότητά του (λ.χ. 10 έως 20% της μέγιστης παροχής). Ο ψυχρός αέρας που εισέρχεται το χειμώνα στο θερμοκήπιο, πρέπει να υφίσταται ανάμιξη με τον εσωτερικό ζεστότερο αέρα πριν να έλθει σ' επαφή με τα φυτά, ειδάλλως θα δημιουργηθούν προβλήματα κακής ανάπτυξης. Για το λόγο αυτό, στα θερμοκήπια που εξαερίζονται με παθητικά συστήματα, το χειμώνα πρέπει να λειτουργούν μόνον τα παράθυρα οροφής, ενώ σ' αυτά που έχουν δυναμικά συστήματα η είσοδος του εξωτερικού αέρα πρέπει να γίνεται από τα ανοίγματα που βρίσκονται στα υψηλότερα σημεία του θερμοκηπίου.

### 2.5.2 Αερισμός θέρους

Το θέρος, ο βασικός στόχος είναι η μείωση της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται μέσα στο χώρο από την αυξημένη ακτινοβολία του ηλίου. Η ταχύτητα του αέρα στην κόμη των φυτών δεν πρέπει να είναι πάρα πολύ υψηλή, διότι μπορεί να προκαλέσει έντονη διαπνοή, με αποτέλεσμα πρόσκαιρη μάρανση, πρέπει όμως ο αέρας να μετακινείται μέσα από τα φυτά για να μπορεί να τα ψύχει. Στα

παθητικά συστήματα εξαερισμού, για τον εξαερισμό αυτή την εποχή χρησιμοποιούνται και τα πλευρικά και τα παράθυρα οροφής, ενώ στα δυναμικά συστήματα χρησιμοποιείται το συνεχόμενο άνοιγμα που βρίσκεται στην πλευρά απέναντι από τους εξαεριστήρες στο μέσον περίπου του ύψους του θερμοκηπίου.

### 2.5.3 Αερισμός άνοιξης και φθινοπώρου

Η άνοιξη και το φθινόπωρο χαρακτηρίζονται από συνεχείς εναλλαγές περιόδων με υψηλές θερμοκρασίες (και κατά συνέπεια μεγάλες απαιτήσεις σε εξαερισμό) και περιόδων με σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (και κατά συνέπεια με απαιτήσεις σε ανάδευση του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο και λιγότερο εξαερισμό).

Στον παθητικό εξαερισμό χρησιμοποιούνται στην αρχή της ημέρας τα παράθυρα οροφής και αργότερα προστίθενται τα πλευρικά. Στο δυναμικό εξαερισμό στην αρχή της ημέρας λειτουργεί ένα μόνο μέρος των εξαεριστήρων στην πρώτη βαθμίδα λειτουργίας τους και η είσοδος του αέρα γίνεται από ψηλά. Αργότερα η λειτουργία των ανεμιστήρων εξαρτάται από το θερμικό φορτίο και η είσοδος του αέρα γίνεται από το συνεχόμενο άνοιγμα.

### 2.5.4 Κυκλοφορία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο

Για τη μεγιστοποίηση της φυτικής παραγωγής στο θερμοκήπιο, πρέπει στην επιφάνεια των φύλλων των φυτών να πετύχουμε συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο άριστο επίπεδο.

Η δημιουργία αυτών των συνθηκών επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες:

- Κατά τη διάρκεια της ημέρας, τα φύλλα των φυτών θερμαίνονται από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και αποκτούν θερμοκρασία υψηλότερη αυτής του αέρα, προσθέτουν με τη διαπνοή υγρασία γύρω τους και αυξάνουν έτσι τη σχετική υγρασία του χώρου και καταναλώνουν  $002$  με τη φωτοσύνθεση και μειώνουν τη συγκέντρωση  $002$  γύρω τους.
- Κατά τη διάρκεια της νύχτας οι απώλειες θερμότητας με ακτινοβολία της επιφάνειας των φύλλων μπορεί να προκαλέσουν μείωση της θερμοκρασίας των φύλλων και να λάβει τιμή μικρότερη εκείνης του περιβάλλοντος αέρα. Δημιουργείται επίσης στρωματοποίηση των θερμοκρασιών μέσα στο θερμοκήπιο, που οφείλεται στη μικρότερη πυκνότητα του ζεστού αέρα που έτσι ανεβαίνει και τη μεγαλύτερη πυκνότητα του ψυχρού αέρα που κατεβαίνει στα χαμηλότερα επίπεδα. Από πειραματικές μελέτες (Cotter D.J and Walker 1967) γνωρίζουμε ότι, μέσα σ' ένα θερμοκήπιο που θερμαίνεται και παράλληλα αναδεύεται συνεχώς ο αέρα του με δυναμικά μέσα, στο επίπεδο των φυτών, διατηρούνται θερμοκρασίες μεγαλύτερες και σχετικές υγρασίες μικρότερες (όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι χαμηλή) απ' ό,τι μέσα σ' ένα θερμοκήπιο που θερμαίνεται μόνο χωρίς δυναμική κίνηση του αέρα.
- Σε χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, η αναγκαστική κίνηση του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο αυξάνει τη συμπύκνωση υγρασίας επάνω στις ψυχρές επιφάνειες κάλυψης με αποτέλεσμα τη μείωση της σχετικής υγρασίας του χώρου.
- Η ευνοϊκότερη ταχύτητα του κινουμένου αέρα είναι περίπου  $0,2$  m/s. Μια τέτοια ταχύτητα προκαλεί ελαφρά κίνηση των φύλλων φυτών της τομάτας.

## 2.5.5 Συστήματα κυκλοφορίας του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο

### 1. Οριζόντια μετακίνηση του αέρα

Διάφορες μελέτες στο Πανεπιστήμιο του Kentucky έδειξαν ότι γενικά απαιτείται μια εγκατάσταση ανεμιστήρων συνολικής παροχής του 1/4 του όγκου του θερμοκηπίου ανά λεπτό. Η ευνοϊκή διάμετρος των ανεμιστήρων είναι περίπου 30 cm και τοποθετούνται πλησίον της οροφής με μια κλίση 100 - 150 προς το εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Εάν το μήκος ενός στενού (έως 8 m πλάτος) θερμοκηπίου είναι μικρότερο από 20 m, απαιτούνται 1 έως 2 ανεμιστήρες, που τοποθετούνται διαγώνια στις δυο γωνίες. Εάν το μήκος είναι μεγαλύτερο από 20 m, απαιτούνται ακόμη 2 ανεμιστήρες στο μέσο μήκος του θερμοκηπίου. Για διπλάσιο πλάτος θερμοκηπίου απαιτούνται διπλάσιοι ανεμιστήρες.

### 2. Αξονική μετακίνηση του αέρα με διάτρητο σωλήνα

Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν ή περισσότερους ανεμιστήρες που τοποθετούνται στο άκρο ή στο μέσον του θερμοκηπίου και ωθούν τον αέρα μέσα σ' έναν ή περισσότερους διάτρητους σωλήνες διαφανούς πολυαιθυλενίου, που κρέμονται σ' όλο το μήκος του θερμοκηπίου. Ο κάθε σωλήνας έχει μικρές οπές επιφάνειας 5 cm, 2 η κάθε μια (δυο ανά 30 cm) κατά μήκος του, όπου από αυτές βγαίνει ο αέρας μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου. Σχετικά με τις προδιαγραφές του διάτρητου σωλήνα, ισχύουν αυτά που αναφέρονται για τον διάτρητο σωλήνα κατανομής του θερμού αέρα των αερόθερμων.

Η ισχύς του ανεμιστήρα, με στατική πίεση 20 - 30 Pa πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζει παροχή 20 - 30% του όγκου του θερμοκηπίου ανά λεπτό. Η τομή του σωλήνα πρέπει να είναι περίπου 0,033 m<sup>2</sup> για κάθε παροχή 10 m<sup>3</sup>/min του ανεμιστήρα.

Εάν η κατανομή των οπών είναι ομοιόμορφη, η ποσότητα και η ταχύτητα του αέρα που βγαίνει από τις οπές, κοντά στην κλειστή άκρη, είναι συνήθως διπλάσια από εκείνη των οπών κοντά στον ανεμιστήρα. Αυτό είναι ευνοϊκό, διότι μειώνεται η ανακύκλωση του αέρα που βρίσκεται κοντά στον ανεμιστήρα και ευνοείται η κυκλοφορία του αέρα σε όλο το μήκος του θερμοκηπίου. Όταν ενδιαφέρει να προέρχεται, ίση ποσότητα αέρα από όλες τις οπές, απαιτείται μια διαφορετική κατανομή των οπών, η πυκνότητα των οποίων πρέπει να είναι μικρότερη προς το κλειστό άκρο.

### 3. Άλλοι τρόποι κυκλοφορίας του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο

Όλα τα συστήματα θερμάνσεως με ζεστό αέρα, καθώς και πολλά συστήματα εξαερισμού του θερμοκηπίου, μπορούν να συνδεθούν κατάλληλα ώστε να χρησιμοποιηθούν και για μετακίνηση και ανάδευση του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Οι ανεμιστήρες των αερόθερμων π.χ. με κατάλληλη συνδεσμολογία, μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα της θέρμανσης και να χρησιμοποιούνται για την ανάδευση του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Ο τρόπος αυτός συχνά αποτελεί την οικονομικότερη λύση.

## 2.5.6 ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ

Ο εξαερισμός ενός θερμοκηπίου είναι τα συστήματα ανανέωσης του αέρα του θερμοκηπίου.

Ο εξαερισμός ενός θερμοκηπίου μπορεί να είναι:

- α) Φυσικός, όταν προκαλείται από διαφορές πιέσεων μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, που προκαλούνται λόγω του ανέμου και της διαφοράς θερμοκρασίας.

- β) Δυναμικός, όταν οι διαφορές πιέσεων μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου του θερμοκηπίου δημιουργούνται με μηχανικά μέσα.

## 2.6 Ο ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση των φυτών, συνεπώς αποτελεί και τη φυσική πηγή θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου. Όπως προαναφέραμε τις ηλιόλουστες μέρες οι θερμοκρασίες στο θερμοκήπιο είναι πολύ υψηλές και τη νύχτα η θερμοκρασία πέφτει, δεδομένου ότι θερμοκρασία και ακτινοβολία είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι μεταξύ τους παράγοντες.

Στόχος σε μια καλλιέργεια είναι να δοθεί η βέλτιστη ποσότητα φωτισμού για την καλύτερη δυνατή απόδοση. Η διάρκεια και η ποιότητα του φωτισμού παίζουν σημαντικό ρόλο ώστε να έχουμε τη διαθέσιμη ενέργεια για τη φωτοσύνθεση των φυτών. Ο φωτισμός του χώρου που καλύπτει το θερμοκήπιο επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία αλλά και τις ιδιότητες του καλύμματος.

Οι ανάγκες του θερμοκηπίου σε φωτισμό εξαρτώνται από την εποχή και το είδος των καλλιεργούμενων φυτών. Προκειμένου να καλυφθούν αυτές οι ανάγκες γίνεται χρήση τεχνητού φωτισμού αλλά και μεθόδων μείωσης του φωτισμού.

Όταν όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την φωτοσύνθεση, όπως η φωτεινή ακτινοβολία, το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό κ.α. βρίσκονται στο ανώτερο επίπεδο τότε η φωτοσυνθετική διαδικασία βρίσκεται στο ανώτερο δυνατό σημείο.



Εικόνα 12: Σύστημα φωτισμού σε θερμοκήπιο

Ο φυσικός φωτισμός ενός θερμοκηπίου εξαρτάται από τους μετεωρολογικούς παράγοντες και από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα ιδιαίτερη σημασία έχουν τα υλικά κάλυψης και οι εναέριες που μειώνουν το φωτισμό, αλλά και η πυκνότητα των φυτών προκειμένου να μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες όλων των φυτών.

Όσον αφορά τον τεχνητό φωτισμό χρησιμοποιείται κυρίως για να καλυφθούν οι ανάγκες επαρκούς φωτισμού, κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ο τεχνητός φωτισμός προέρχεται κυρίως από τους λαμπτήρες που μπορεί να είναι είτε λαμπτήρες πυρακτώσεως είτε λαμπτήρες αλογόνου.

Σε περίπτωση που θέλουμε να μειώσουμε την μείωση του φωτισμού ένας τρόπος σκίασης είναι οι κουρτίνες ή το δίχτυ σκίασης. Αυτές μπορούν να κλείνουν σε περίπτωση που θέλουμε να μειώσουμε το φωτισμό.



Εικόνα 13: Σύστημα σκίασης θερμοκηπίου

## 2.7 ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ

Οι παραπάνω παράμετροι είναι εφικτό να ελέγχονται και να υλοποιούνται μέσω αυτοματοποιημένης εφαρμογής. Η σημαντική αυτοματοποιημένη εφαρμογή που συναντούμε συχνά είναι το έξυπνο θερμοκήπιο ή αλλιώς Smart Greenhouse.

Το Smart Greenhouse είναι ένα αυτορρυθμιζόμενο περιβάλλον που ασχολείται με το μικροκλίμα του θερμοκηπίου και έχει ως σκοπό τη βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών. Συνθήκες κλιματολογικές όπως η φωτεινότητα, η θερμοκρασία και η υγρασία εδάφους παρακολουθούνται συνεχώς. Οι μεταβολές των συγκεκριμένων συνθηκών καθορίζουν μια σειρά από αυτοματοποιημένες ενέργειες.

Αρχικά καταγράφονται οι τιμές των συνθηκών και στη συνέχεια οι αλλαγές που εμφανίζονται αξιολογούνται και μέσω των αυτοματοποιημένων ενεργειών λαμβάνονται διορθωτικά μέτρα με σκοπό τις βέλτιστες συνθήκες για την παραγωγή των φυτών.

Βασικά στοιχεία του Smart Greenhouse είναι οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές. Αυτοί συνδέονται με έναν μικροελεγκτή, ο οποίος στέλνει δεδομένα και λαμβάνει εντολές από ένα κέντρο ελέγχου. Η επικοινωνία με το Smart Greenhouse επιτυγχάνεται μέσω ενός πίνακα ελέγχου.

Ο χρήστης με τον τρόπο αυτό έχει τον έλεγχο των παραμέτρων και των λειτουργιών χωρίς να χρειάζεται η συχνή επέμβασή του ή ακόμα και η παρουσία του σε περιπτώσεις όπου το σύστημα ελέγχεται μέσω ασύρματου δικτύου. Ταυτόχρονα επιτυγχάνεται βέλτιστο αποτέλεσμα με αξιόπιστο έλεγχο της ενέργειας που χρειάζεται να καταναλωθεί για την βελτιστοποίηση του μικροκλίματος.

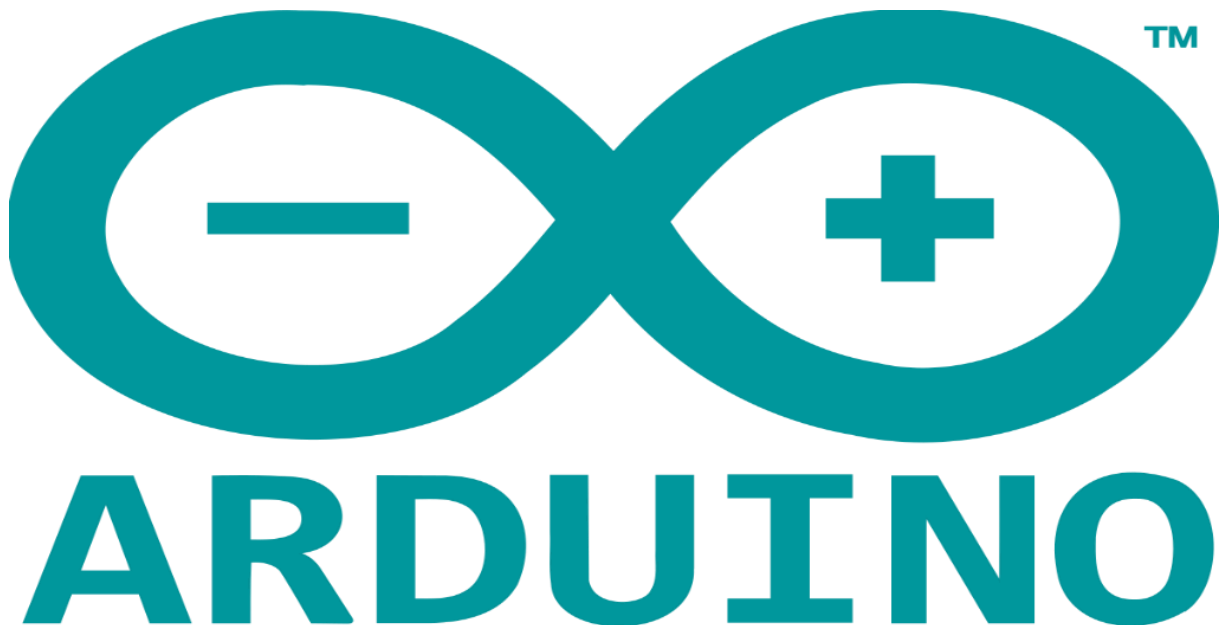
Η Αρχιτεκτονική Arduino χωρίζεται σε αυτά τα τρία στοιχεία, δηλαδή τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές, στο κέντρο ελέγχου και στις συσκευές αλληλεπίδρασης με το χρήστη.

### 3. Η ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ARDUINO ΚΑΙ BLYNK

#### 3.1 Η ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ARDUINO

Πρόκειται για μία πλατφόρμα ανάπτυξης ανοικτού κώδικα. Δηλαδή, μια μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία προγραμματίζεται με τη γλώσσα Wiring. Η γλώσσα Wiring ουσιαστικά είναι μία απλοποιημένη μορφή της γλώσσας προγραμματισμού C και C++ με ένα σύνολο βιβλιοθηκών, επίσης βασισμένων στην C και C++. Η χρήση της συγκεκριμένης γλώσσας προσφέρει ευκολία και ταχύτητα στην ανάπτυξη εφαρμογών. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της πλατφόρμας Arduino σε σχέση με άλλες πλατφόρμες είναι:

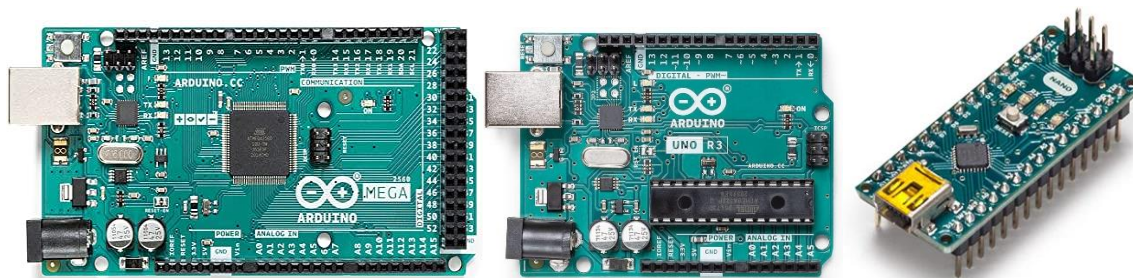
- 1) **Το χαμηλό κόστος:** Οι πλακέτες Arduino είναι σχετικά φθηνές, σε σύγκριση με άλλες πλατφόρμες μικροελεγκτών. Μπορούμε επίσης να συναρμολογήσουμε μια πλακέτα Arduino, αφού το διάγραμμα και πληροφορίες για το υλικό είναι ελεύθερα διαθέσιμα, μειώνοντας ακόμα περισσότερο το κόστος.
- 2) **Το απλό και σαφές περιβάλλον προγραμματισμού:** Το λογισμικό Arduino (IDE) είναι εύκολο στη χρήση του για αρχάριους, αρκετά ευέλικτο όμως για να επωφεληθούν και οι πιο προχωρημένοι γνώστες του αντικειμένου.
- 3) **Η υψηλή συμβατότητα:** Το λογισμικό λειτουργεί σε λειτουργικά συστήματα Windows, Macintosh OSX και Linux. Ενώ τα περισσότερα λογισμικά συστημάτων μικροελεγκτών λειτουργούν σε ένα μόνο λειτουργικό σύστημα.
- 4) **Ο ανοικτός κώδικας:** Ο καθένας μπορεί να βρει ένα κώδικα στο διαδίκτυο και να τον προσαρμόσει ανάλογα με την εφαρμογή του, να δημιουργήσει δικές του βιβλιοθήκες ακόμα και να επεξεργαστεί το περιβάλλον ανάπτυξης.



Εικόνα 14: Arduino logo

### 3.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΩΝ ARDUINO

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διάφορα μοντέλα μικροελεγκτών Arduino. Οι διαφορές τους έχουν να κάνουν με τους ακροδέκτες (pins) που έχουν στην τάση εισόδου και εξόδου καθώς και στα χαρακτηριστικά των συστημάτων και των λειτουργιών που υλοποιούν. Για βιομηχανικά συστήματα συνήθως χρησιμοποιείται το μοντέλο Mega ενώ για ερασιτεχνικές κατασκευές πάνω σε συστήματα έρευνας ή για έλεγχο απλών λειτουργιών ενός συστήματος χρησιμοποιείται το Arduino Uno. Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκε το Mega 2560 μοντέλο λόγω συμβατότητας του με την Ethernet Shield για την οποία θα δούμε παρακάτω.



Εικόνα 15: Μοντέλα μικροελεγκτών Arduino

Όσον αφορά την επικοινωνία με την πλατφόρμα αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση επιπλέον υλικού (hardware) στη πλατφόρμα προσδίδοντάς της μία νέα ιδιότητα. Η διαδικασία αυτή είναι η έννοια των shields στην αρχιτεκτονική Arduino. Με την ενσωμάτωση του επιπλέον υλικού η επικοινωνία μέσω USB αντικαθίσταται από αυτή που αναλαμβάνει το shield. Κοινά shields που χρησιμοποιούνται για έλεγχο των λειτουργιών μέσω ασύρματης επικοινωνίας είναι το Arduino Wi-Fi shield και Arduino Ethernet shield που χρησιμοποιήθηκε και στην εργασία.



Εικόνα 16: Ethernet και Wi-Fi Shields

Για επικοινωνία του μικροελεγκτή μέσω κινητού τηλεφώνου απαιτείται η κάρτα GSM ενός τηλεφωνικού παρόχου κινητής τηλεφωνίας. Η χρήση του GSM δικτύου γίνεται μέσω της Arduino GSM shield, όπου και τοποθετείτε η κάρτα.



Εικόνα 17: Arduino GSM Shield

### 3.3 ARDUINO MEGA 2560

Στην εφαρμογή που αναπτύχθηκε επιλέχθηκε ο μικροελεγκτής Arduino Mega 2560. Η εν λόγω πλακέτα είναι κατάλληλη για της διαδικασίες που περατώθηκαν, συμβατή με τον επιπρόσθετο εξοπλισμό και οικονομικά προσιτή, χωρίς να απαιτεί κάποια ιδιαίτερα μεγάλη παροχή τάσης και ρεύματος.

#### 3.3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ARDUINO MEGA 2560

Το Arduino Mega 2560 είναι ένας μικροελεγκτής βασισμένος στον ATmega2560 επεξεργαστή. Έχει 54 ψηφιακούς ακροδέκτες εισόδου/εξόδου εκ των οποίων οι 15 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι PWM, 16 αναλογικές εισοδοί, 4 UARTs (σειριακές θύρες hardware), ένας κρυσταλλικός ταλαντωτής στα 16 MHz, μια θύρα USB, μια υποδοχή τροφοδοσίας τύπου jack, μια ICSP header και ένα κουμπί επαναφοράς. Περιέχει όλα όσα χρειάζονται για την υποστήριξη του μικροελεγκτή, αλλά συνδέεται σε έναν υπολογιστή με καλώδιο USB ή τροφοδοτείται με έναν προσαρμογέα AC/DC ή μπαταρία. Η πλακέτα Mega 2560 είναι συμβατή με τις περισσότερες shields που έχουν σχεδιαστεί για το Uno και τις πρώην πλακέτες Duemilanove ή Diecimila.

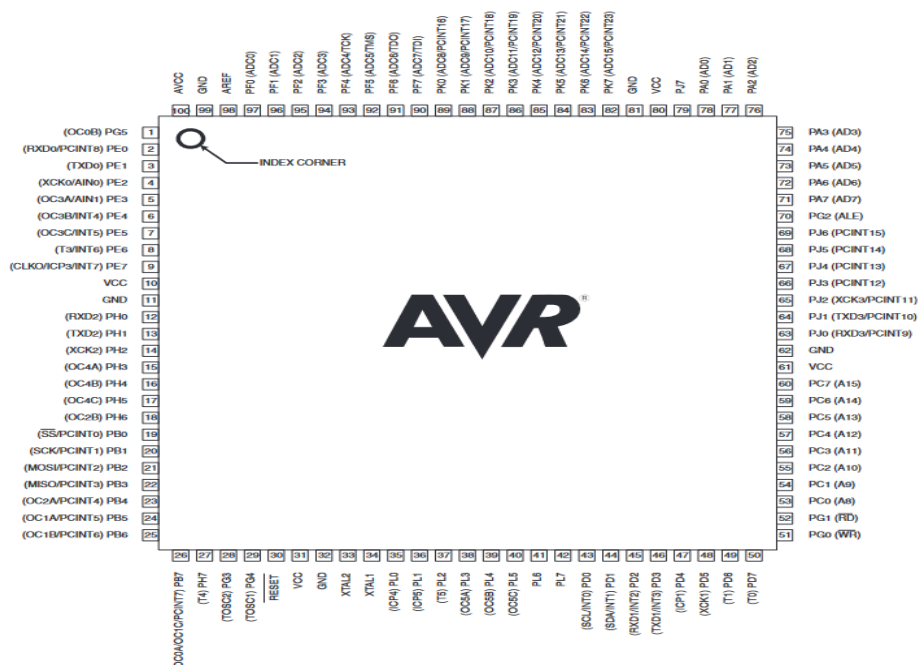
Το Mega 2560 είναι μια ανανεωμένη έκδοση του Arduino Mega, το οποίο αντικαθιστά.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της πλατφόρμας Arduino Mega 2560 είναι:

- Μικροελεγκτής: ATmega2560
- Τροφοδοσία: 5V
- Τάση εισόδου: 7-12V
- Όριο Τάσης Εισόδου: 6-20V
- Digital I/O Pins: 54 (εκ των οποίων τα 15 παρέχουν έξοδο PWM)
- Analog Input Pins: 16

### 3.3.2 ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ ATmega2560

Ο ATmega2560 είναι ένας μικροελεγκτής CMOS 8-bit χαμηλής κατανάλωσης που βασίζεται στην ενισχυμένη AVR αρχιτεκτονική.



Εικόνα 18: Δομή ATmega2560

Ο μικροελεγκτής χρονίζει στα 16MHz. Η ενσωματωμένη μνήμη που διαθέτει είναι τριών τύπων:

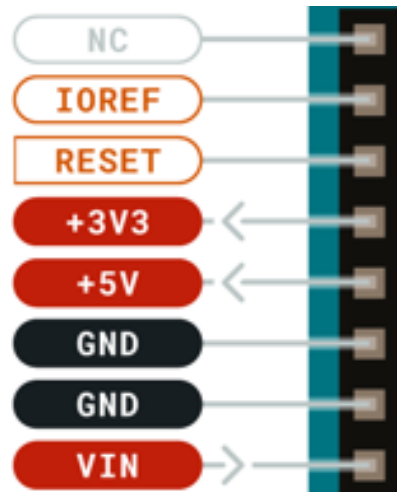
1) 8Kb μνήμης SRAM που είναι η ωφέλιμη μνήμη που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα προγράμματά σας για να αποθηκεύουν μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. κατά το runtime. Αυτή η μνήμη χάνει τα δεδομένα της όταν η παροχή ρεύματος στο Arduino σταματήσει ή αν γίνει reset όπως με τη μνήμη RAM του υπολογιστή.

2) 4Kb μνήμης EEPROM η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για «ωμή» εγγραφή/ανάγνωση δεδομένων (χωρίς datatype) ανά byte από τα προγράμματά σας κατά το runtime. Σε αντίθεση με την SRAM, η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset οπότε είναι το ανάλογο του σκληρού δίσκου.

3) 256Kb μνήμης Flash, από τα οποία τα 8Kb χρησιμοποιούνται από το firmware του Arduino που έχει εγκαταστήσει ήδη ο κατασκευαστής του. Το firmware αυτό που στην ορολογία του Arduino ονομάζεται bootloader, είναι αναγκαίο για την εγκατάσταση των δικών σας προγραμμάτων στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB, χωρίς δηλαδή να χρειάζεται εξωτερικός hardware programmer. Τα υπόλοιπα 248Kb της μνήμης Flash χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση αυτών ακριβώς των προγραμμάτων, αφού πρώτα μεταγλωττιστούν στον υπολογιστή σας. Η μνήμη Flash, όπως και η EEPROM, δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset. Επίσης ενώ η μνήμη Flash υπό κανονικές συνθήκες δεν προορίζεται για χρήση runtime μέσα από τα προγράμματά σας, λόγω της μικρής συνολικής μνήμης που είναι διαθέσιμη σε αυτά (8Kb SRAM + 4Kb EEPROM), έχει σχεδιαστεί μία βιβλιοθήκη που επιτρέπει την χρήση όσου χώρου περισσεύει (248Kb μείον το μέγεθος του προγράμματός σας σε μεταγλωττισμένη μορφή).

### 3.3.3 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ

Το Arduino μπορεί να τροφοδοτηθεί με ρεύμα είτε από τον υπολογιστή μέσω της σύνδεσης USB, είτε από εξωτερική τροφοδοσία που παρέχεται μέσω μίας υποδοχής jack των 2.1mm (θετικός πόλος στο κέντρο) και βρίσκεται στην κάτω αριστερή γωνία του Arduino. Για να μην υπάρχουν προβλήματα, η εξωτερική τροφοδοσία πρέπει να είναι από 7 ως 12V και μπορεί να προέρχεται από ένα κοινό μετασχηματιστή του εμπορίου, από μπαταρίες ή οποιαδήποτε άλλη πηγή DC. Δίπλα από τα pin αναλογικής εισόδου, υπάρχει μια ακόμα συστοιχία από 6 pin με την σήμανση POWER.



Εικόνα 19: Pinout τροφοδοσίας Arduino MEGA 2560

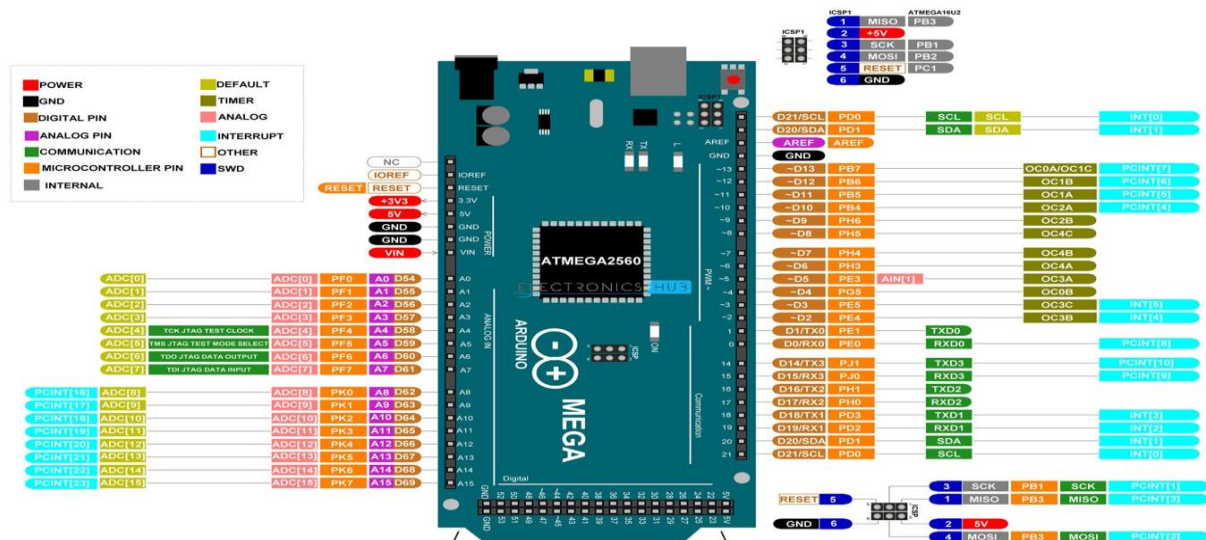
Η λειτουργία του καθενός έχει ως εξής:

- Το πρώτο, με την ένδειξη RESET, όταν γειωθεί (σε οποιοδήποτε από τα pin με την ένδειξη GND που υπάρχουν στο Arduino) έχει ως αποτέλεσμα την επανεκκίνηση του Arduino.
- Το δεύτερο, με την ένδειξη 3.3V, μπορεί να τροφοδοτήσει τα εξαρτήματα με τάση 3.3V. Η τάση αυτή δεν προέρχεται από την εξωτερική τροφοδοσία αλλά παράγεται από τον ελεγκτή Serial-over-USB και έτσι η μέγιστη ένταση που μπορεί να παρέχει είναι μόλις 50mA.
- Το τρίτο, με την ένδειξη 5V, μπορεί να τροφοδοτήσει τα εξαρτήματα με τάση 5V. Ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας του ίδιου του Arduino, η τάση αυτή προέρχεται είτε άμεσα από την θύρα USB (που ούτως ή άλλως λειτουργεί στα 5V), είτε από την εξωτερική τροφοδοσία αφού αυτή περάσει από ένα ρυθμιστή τάσης για να την σταθεροποιήσει στα 5V.
- Το τέταρτο και το πέμπτο pin, με την ένδειξη GND, είναι φυσικά γειώσεις.
- Το έκτο και τελευταίο pin, με την ένδειξη  $V_{in}$  έχει διπλό ρόλο. Σε συνδυασμό με το pin γείωσης δίπλα του, μπορεί να λειτουργήσει ως μέθοδος εξωτερικής τροφοδοσίας του Arduino, στην περίπτωση που δεν βολεύει να χρησιμοποιηθεί η υποδοχή του jack των 2.1mm. Αν όμως υπάρχει ήδη συνδεδεμένη εξωτερική τροφοδοσία μέσω του jack, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτό το pin για να τροφοδοτήσουμε εξαρτήματα με την πλήρη τάση της εξωτερικής τροφοδοσίας (6~20V) πριν αυτή περάσει από τον ρυθμιστή τάσης όπως γίνεται με το pin των 5V.

### 3.3.4 ΕΙΣΟΔΟΙ – ΕΞΟΔΟΙ

Ο μικροελεγκτής ATmega υποστηρίζει σειριακή επικοινωνία, την οποία το Arduino προωθεί μέσα από έναν ελεγκτή Serial-over-USB ώστε να συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω USB. Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται για την μεταφορά των προγραμμάτων που σχεδιάζονται από τον υπολογιστή στο Arduino αλλά και για αμφίδρομη επικοινωνία του Arduino με τον υπολογιστή μέσω του Serial Monitor, που θα δούμε παρακάτω, την ώρα που εκτελείται το πρόγραμμα. Επιπλέον στην πάνω πλευρά του Arduino βρίσκονται 22 θηλυκά pin αριθμημένα από 0 ως 21, που μπορούν να λειτουργήσουν ως ψηφιακές εισοδοι και έξοδοι. Λειτουργούν στα 5V και καθένα μπορεί να παρέχει ή να δεχτεί μέγιστο ρεύμα 20mA.

Ως ψηφιακή έξοδος, ένα από αυτά τα pin μπορεί να τεθεί από το πρόγραμμά σε κατάσταση HIGH ή LOW, οπότε το Arduino θα ξέρει αν πρέπει να διοχετεύσει ή όχι ρεύμα στο συγκεκριμένο pin. Αν πάλι ρυθμιστεί ένα από αυτά τα pin ως ψηφιακή είσοδος μέσα από το πρόγραμμά μπορεί με την κατάλληλη εντολή να διαβάσει την κατάστασή του (HIGH ή LOW) ανάλογα με το αν η εξωτερική συσκευή που έχει συνδεθεί σε αυτό το pin διοχετεύει ή όχι ρεύμα στο pin.



Εικόνα 20: Pinout αναλογικών και ψηφιακών εισόδων – εξόδων

Μερικά από αυτά τα 14 pin, εκτός από ψηφιακές εισοδοι/έξοδοι έχουν και δεύτερη λειτουργία. Συγκεκριμένα:

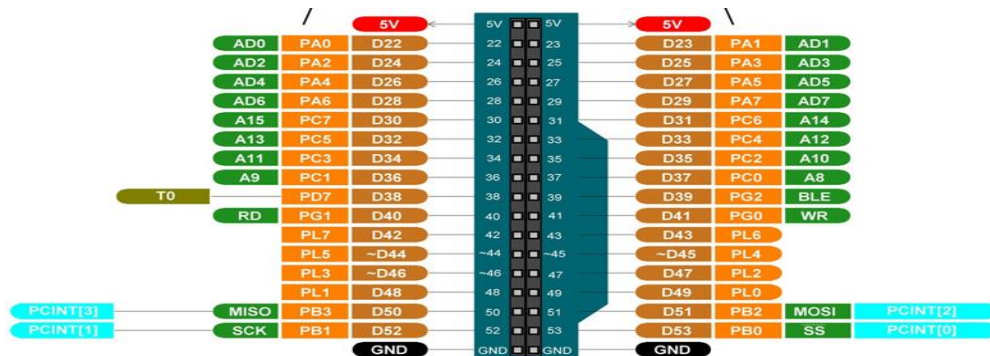
- Τα pin 0,1 και 14 έως 21 λειτουργούν ως RX και TX της σειριακής επικοινωνίας όταν το πρόγραμμα ενεργοποιεί την σειριακή θύρα. Έτσι όταν λόγω χάρη το πρόγραμμά στέλνει δεδομένα στην σειριακή επικοινωνία, αυτά προωθούνται και στην θύρα USB μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB αλλά και στο pin 0 για να τα διαβάσει ενδεχομένως μια άλλη συσκευή. Αυτό σημαίνει ότι αν στο πρόγραμμά ενεργοποιηθεί το σειριακό interface, χάνονται 2 ψηφιακές εισοδοι /έξοδοι. Επίσης υπάρχουν δύο LED με τις σημάνσεις TX και RX, χρησιμοποιούνται ως ένδειξη λειτουργίας του σειριακού interface, καθώς ανάβουν όταν το Arduino στέλνει ή λαμβάνει (αντίστοιχα) δεδομένα μέσω USB.
- Τα pin 2 και 3 λειτουργούν και ως εξωτερικά interrupt (interrupt 0 και 1 αντίστοιχα). Ρυθμίζονται μέσα από το πρόγραμμα ώστε να λειτουργούν αποκλειστικά ως ψηφιακές εισοδοι στις οποίες όταν συμβαίνουν συγκεκριμένες αλλαγές, η κανονική ροή του προγράμματος σταματάει και

εκτελείται μια συγκεκριμένη συνάρτηση. Τα εξωτερικά interrupt είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό μεγάλης ακρίβειας.

- Τα pin 2 έως 13 μπορούν να λειτουργήσουν και ως έξοδοι PWM (Pulse Width Modulation), δηλαδή το ίδιο σύστημα που διαθέτουν οι μητρικές των υπολογιστών για να ελέγχουν τις ταχύτητες των ανεμιστήρων. Έτσι μπορεί να συνδεθεί λόγω χάρη ένα LED σε κάποιο από αυτά τα pin και να ελεγχθεί πλήρως η φωτεινότητά του με ανάλυση 8bit (256 καταστάσεις από 0-σβηστό ως 255-πλήρως αναμμένο) αντί να υπάρχει απλά η δυνατότητα αναμμένο-σβηστό που παρέχουν οι υπόλοιπες ψηφιακές έξοδοι. Είναι σημαντικό να γίνει σαφές ότι το PWM δεν είναι πραγματικά αναλογικό σύστημα και ότι θέτοντας στην έξοδο την τιμή 127, δεν σημαίνει ότι η έξοδος θα δίνει 2.5V αντί της κανονικής τιμής των 5V, αλλά ότι θα δίνει ένα παλμό που θα εναλλάσσεται με μεγάλη συχνότητα και για ίσους χρόνους μεταξύ των τιμών 0 και 5V.

Υπάρχει μια ακόμη σειρά από 16 pin, αριθμημένα από το A0 ως το A15. Το καθένα από αυτά λειτουργεί ως αναλογική είσοδος κάνοντας χρήση του ADC (Analog to Digital Converter) που είναι ενσωματωμένο στον μικροελεγκτή. Η τροφοδότηση γίνεται με μία προ ρυθμισμένη τάση στα 5V. Είναι εφικτό επίσης η τροφοδότηση σε ένα από αυτά με μια τάση η οποία μπορεί να μεταβληθεί με ένα ποτενσιόμετρο από 0V ως μία τάση αναφοράς  $V_{ref}$ . Τότε μέσα από το πρόγραμμα μπορούμε να «διαβάσουμε» την τιμή του pin ως ένα ακέραιο αριθμό ανάλυσης 10-bit, από 0 (όταν η τάση στο pin είναι 0V) μέχρι 1023 (όταν η τάση στο pin είναι 5V).

Εκτός από αυτά τα pins που είναι σχεδόν ίδια με ένα απλό Arduino UNO το MEGA στην “πίσω” μεριά υπάρχουν άλλα 36 θηλυκά pins που λειτουργούν ως Digital I/O.



Εικόνα 21: Pinout ψηφιακών εισόδων – εξόδων

### 3.3.5 ETHERNET SHIELD

Το Ethernet Shield Module συνδέει το Arduino με το ίντερνετ μέσα σε λίγα μόλις λεπτά. Απλά συνδέεις το Module με την πλακέτα του Arduino, συνδέεις ένα καλώδιο ethernet στην RJ45 στην αντίστοιχη θύρα του Module και ακολουθώντας κάποια απλά βασικά βήματα ξεκινάς να ελέγχεις τον κόσμο σου μέσω του ίντερνετ.

Το Ethernet Shield Module βασίζεται στο τσιπ Wiznet W5100 Ethernet. Το Wiznet W5100 παρέχει μια στοίβα δικτύου (IP) ικανή τόσο για TCP όσο και για UDP. Υποστηρίζει έως και τέσσερις ταυτόχρονες συνδέσεις. Χρησιμοποίησε τη βιβλιοθήκη Ethernet για να γράψεις προγράμματα που συνδέονται στο διαδίκτυο χρησιμοποιώντας το Module. Το Ethernet Shield συνδέεται με μία πλακέτα Arduino χρησιμοποιώντας μακριά πόδια που εκτείνονται μέσα από το Module. Αυτό διατηρεί ανέπαφα τα

ποδαράκια και επιτρέπει σε άλλα Shield Modules να μπουν από πάνω. Το Ethernet Shield Module είναι υλικό ανοιχτού κώδικα, οπότε ο καθένας μπορεί να φτιάξει μία δικιά του Ethernet Shield.

Το Ethernet Shield έχει μια τυπική σύνδεση RJ-45, με ενσωματωμένο μετασχηματιστή γραμμής και ενεργοποιημένο Power over Ethernet.

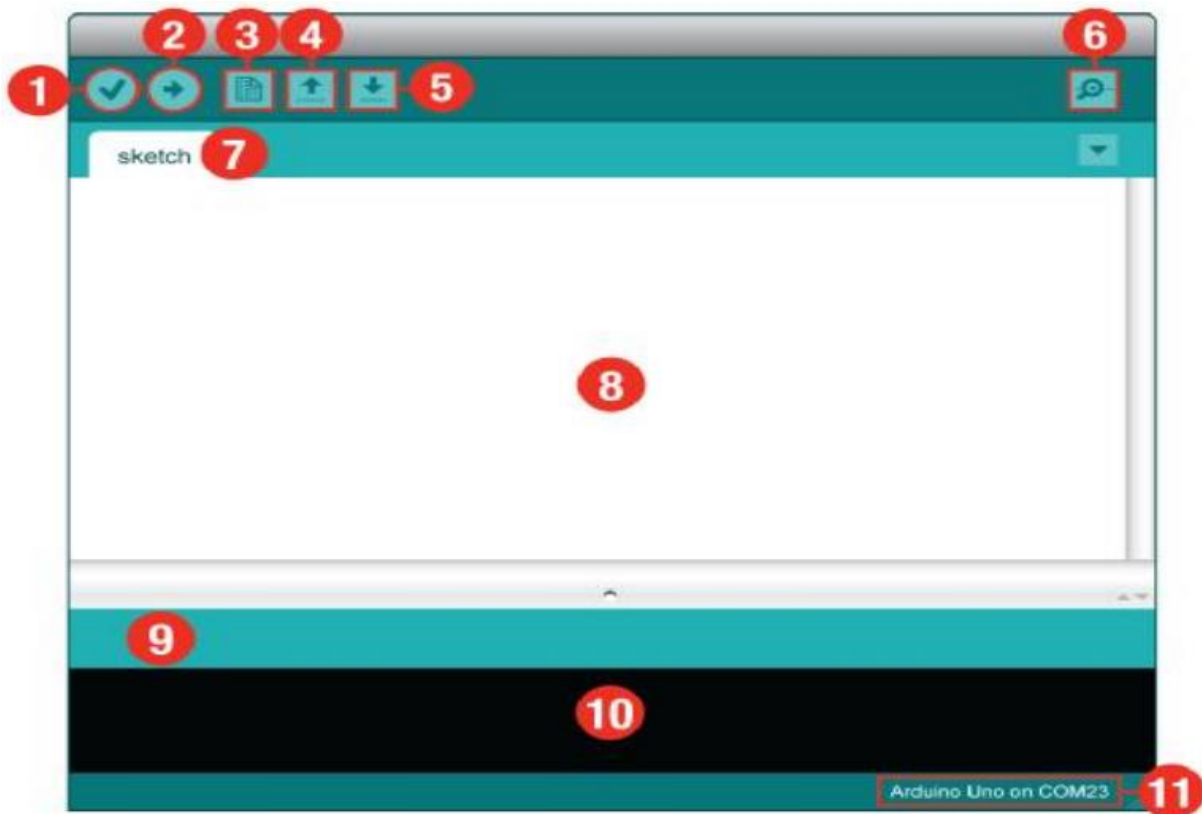
Υπάρχει μια ενσωματωμένη υποδοχή κάρτας micro-SD, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση αρχείων για προβολή μέσω του δικτύου. Είναι συμβατό με όλες τις πλακέτες Arduino/Genuino. Η ενσωματωμένη συσκευή ανάγνωσης καρτών micro SD είναι προσβάσιμη μέσω της βιβλιοθήκης SD. Όταν χρησιμοποιείς αυτή τη βιβλιοθήκη, το SS βρίσκεται στο Pin 4.

Το Ethernet Shield περιλαμβάνει επίσης έναν ελεγκτή επαναφοράς, για να διασφαλιστεί ότι η μονάδα Ethernet W5100 επαναφέρεται σωστά κατά την ενεργοποίηση. Οι προηγούμενες εκδόσεις της ασπίδας δεν ήταν συμβατές με το Mega μοντέλο και έπρεπε να επαναρυθμιστούν χειροκίνητα μετά την ενεργοποίηση τους.

### 3.3.6 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΟΥ ARDUINO (IDE)

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης του Arduino (IDE), παρέχεται δωρεάν από την επίσημη ιστοσελίδα του Arduino. Είναι μια εφαρμογή για πολλά λειτουργικά συστήματα (όπως Windows, Linux, macOS) και είναι δομημένο με την γλώσσα προγραμματισμού Java ενώ ο προγραμματισμός του χρήστη γίνεται μέσω της γλώσσας Wiring. Περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα με δυνατότητες όπως κοπή και επικόλληση κειμένου, αναζήτηση και αντικατάσταση κειμένου, αυτόματη εσοχή, αντιστοίχιση αγκυλών και επισήμανση κειμένου. Επίσης, με ευκολία μπορεί να μεταγλωττίσει (compile) και να μεταφορτώσει (upload) προγράμματα, σε μια πλακέτα Arduino και όχι μόνο. Περιέχει μια περιοχή μηνυμάτων, μία κονσόλα κειμένου και μια γραμμή εργαλείων για βασικές λειτουργίες.

Για την λήψη του δωρεάν λογισμικού Arduino, θα χρειαστεί ένας υπολογιστής με πρόσβαση στο διαδίκτυο. Η λήψη του προγράμματος γίνεται εύκολα από την ιστοσελίδα [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc). Στην συνέχεια συνδέουμε την πλακέτα Arduino και εγκαθιστούμε το λογισμικό και τους drivers. Αφού εγκατασταθεί, ανοίγουμε το Arduino IDE για να επιλέξουμε την πλακέτα Arduino που είναι συνδεδεμένη στον υπολογιστή, καθώς και την θύρα USB που χρησιμοποιήσαμε για την σύνδεση.



Εικόνα 22: Γραφικό περιβάλλον του Arduino IDE

Στο γραφικό περιβάλλον του Arduino IDE διακρίνονται τα εξής:

- 1) Επαλήθευση: Εξετάζει και εγκρίνει τον κώδικα. Εντοπίζει σφάλματα στη σύνταξη (όπως έλλειψη ερωτηματικών ή παρενθέσεων).
- 2) Μεταφόρτωση: Στέλνει τον κώδικα στην πλακέτα που είναι συνδεδεμένη.
- 3) Νέο: Ανοίγει μια νέα καρτέλα κώδικα.
- 4) Άνοιγμα: Μεταφορτώνει έναν υπάρχον κώδικα.
- 5) Αποθήκευση: Αποθηκεύει τον κώδικα που είναι ενεργός.
- 6) Σειριακό παράθυρο: Άνοιγμα παραθύρου που εμφανίζει τυχόν σειριακές πληροφορίες που μεταδίδει η πλακέτα. Χρήσιμο για τον εντοπισμό σφαλμάτων.
- 7) Όνομα κώδικα: Δείχνει το όνομα του κώδικα που είναι ενεργός.
- 8) Περιοχή κώδικα: Η περιοχή όπου γίνεται η σύνθεση του κώδικα.
- 9) Περιοχή μηνυμάτων: Ο τόπος όπου το IDE ενημερώνει για τυχόν σφάλματα στον κώδικα.
- 10) Κονσόλα κειμένου: Η κονσόλα κειμένου εμφανίζει πλήρη μηνύματα σφάλματος.
- 11) Πλακέτα και σειριακή θύρα: Παρουσιάζει την πλακέτα που είναι συνδεδεμένη και την σειριακή θύρα που γίνεται η σύνδεση.

### 3.3.7 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΓΛΩΣΣΑΣ WIRING

Η βασική δομή της γλώσσας προγραμματισμού Wiring είναι αρκετά απλή και αποτελείται από τουλάχιστον δύο μέρη-λειτουργίες (functions):

- 1) Void setup() { }; Σε αυτό το function γίνεται η προετοιμασία του προγράμματος. Ο κώδικας συντάσσεται ανάμεσα στις αγκύλες. Συνήθως, γίνεται ο ορισμός των ακροδεκτών ως εισόδου ή εξόδου

και η εκκίνηση σειριακής επικοινωνίας. Εκτελείται μόνο μία φορά, μετά από κάθε ενεργοποίηση ή επαναφορά (reset).

2) Void loop() { }: Ο κώδικας που θα συνταχθεί ανάμεσα από τις αγκύλες επαναλαμβάνεται συνεχώς. Διαβάζει εισόδους, ενεργοποιεί εξόδους και χρονικά, επιτρέποντας στο πρόγραμμα να αλλάξει και να ανταποκριθεί στα νέα δεδομένα.

Πριν από αυτές τις δύο λειτουργίες όμως πρέπει να οριστούν οι μεταβλητές, οι σταθερές και οι βιβλιοθήκες του προγράμματος. Τα pins στο Arduino μπορούν να ρυθμιστούν είτε ως εισοδοί είτε ως εξοδοί, όμως από προεπιλογή είναι ρυθμισμένες ως εισοδοί. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι η πλειοψηφία των αναλογικών ακίδων του Arduino, μπορεί να ρυθμιστεί και να χρησιμοποιηθεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως οι ψηφιακές ακίδες.

Οι βασικές εντολές που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- pinMode(): Ρυθμίζει τη συγκεκριμένη ακίδα να συμπεριφέρεται ως είσοδος/έξοδος.
- digitalWrite(): Γράφει μια υψηλή (HIGH) ή μια χαμηλή (LOW) τιμή σε μια ψηφιακή ακίδα.
- digitalRead(): Διαβάζει την τιμή από μια συγκεκριμένη ψηφιακή ακίδα που είναι είτε HIGH είτε LOW.
- analogWrite(): Γράφει μια αναλογική τιμή (PWM κύμα) σε ένα pin.
- analogRead(): Διαβάζει την τιμή από το καθορισμένο αναλογικό pin.
- delay(): Ορίζει το χρόνο καθυστέρησης μέχρι να επαναληφθεί ότι περιέχεται στο void loop() {}.
- if() {}: Δομή ελέγχου μιας συνθήκης.
- if...else: Δομή ελέγχου πολλαπλών συνθηκών.

Οι βασικές δομές ελέγχου ροής προγράμματος είναι οι εξής:

- if(..): Δομή ελέγχου μίας συνθήκης.
- if(..)...else: Δομή ελέγχου πολλαπλών συνθηκών.
- for(..): Δομή επαναληπτικού ελέγχου ροής.
- while(..): Δομή επαναληπτικού ελέγχου συνθήκης.
- do...while(..): Δομή επαναληπτικού ελέγχου συνθήκης.

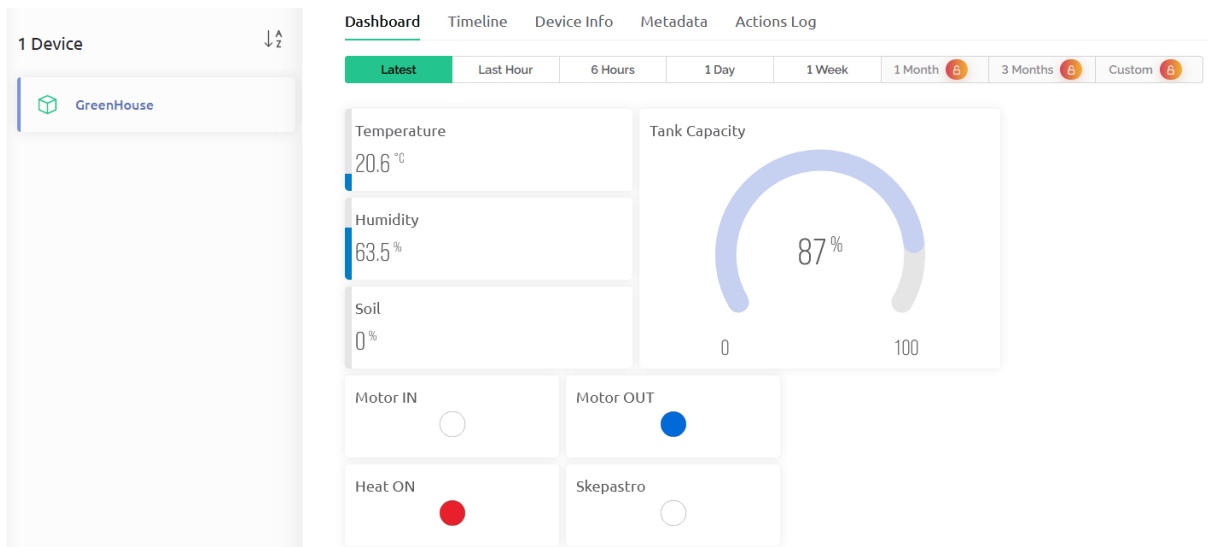
### 3.4 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ BLYNK

Η Blynk είναι μια εταιρεία λογισμικού που παρέχει υποδομή για το Internet of Things (IoT). Το 2014 η Blynk πρωτοστάτησε στην προσέγγιση χωρίς κώδικα στη δημιουργία εφαρμογών IoT και κέρδισε παγκόσμια δημοτικότητα για τον επεξεργαστή εφαρμογών για κινητά. Σήμερα, επιχειρήσεις όλων των μεγεθών, από νέες startup επιχειρήσεις έως μεγάλες επιχειρήσεις, χρησιμοποιούν την πλατφόρμα λογισμικού για την κατασκευή και τη διαχείριση συνδεδεμένων προϊόντων.



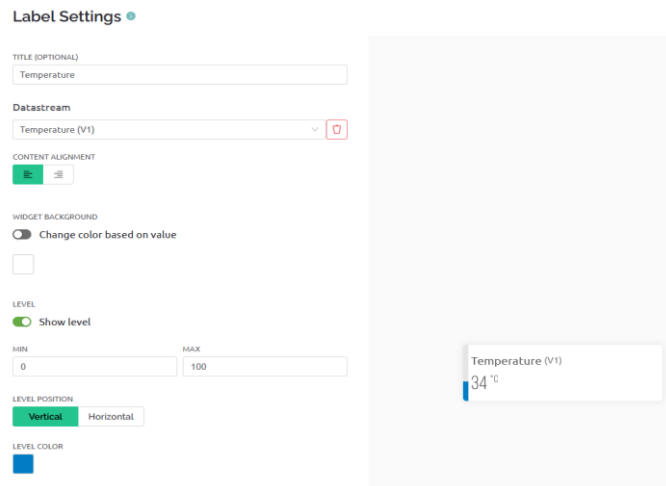
Εικόνα 23: Blynk logo

Η χρήση της εφαρμογής, με λίγη εξοικείωση στον τρόπο λειτουργίας της, μπορεί να γίνει πολύ εύκολη. Αρχικά χρειάζεται έναν λογαριασμό ώστε να μπορείς να δημιουργείς και να αποθηκεύεις τα projects σου δίνοντας σου τη δυνατότητα να τα έχεις παντού όποια στιγμή θέλεις, με μόνη προϋπόθεση την σύνδεση στο διαδίκτυο. Αφού κάνεις το λογαριασμό και ξεκινήσεις τη δημιουργία του project ορίζοντας τις βασικές ρυθμίσεις όπως όνομα, συσκευή (π.χ. Arduino MEGA), τρόπο σύνδεσης στο ίντερνετ (π.χ. στο δικό μας παράδειγμα Ethernet), θα πρέπει μετά να ορίσεις τις εργασίες που θα κάνει. Αυτό γίνεται στο παράθυρο Dashboard.



Εικόνα 24: Παράθυρο Dashboard

Εδώ είναι η επιφάνεια εργασίας όπου προσθέτεις τις εργασίες που θα κάνει η εφαρμογή μαζί με τη συσκευή. Κάθε εργασία έχει τις δικές τις ξεχωριστές ρυθμίσεις που μπορείς να αλλάξεις ανάλογα τις επιθυμίες του κάθε χρήστη.



Εικόνα 25: Ρυθμίσεις εργασιών

Για να γίνει συμβατό το software με το hardware θα πρέπει κάθε εργασία που είναι στο Dashboard να συνδεθεί εικονικά με το αντίστοιχο ηλεκτρονικό εξάρτημα της κατασκευής. Έτσι στο περιβάλλον επεξεργασίας των ρυθμίσεων των εργασιών δηλώνουμε μία εικονική ακίδα την οποία θα την αντιστοιχίσουμε και στον κώδικα μας με το ανάλογο ηλεκτρονικό εξάρτημα.

```

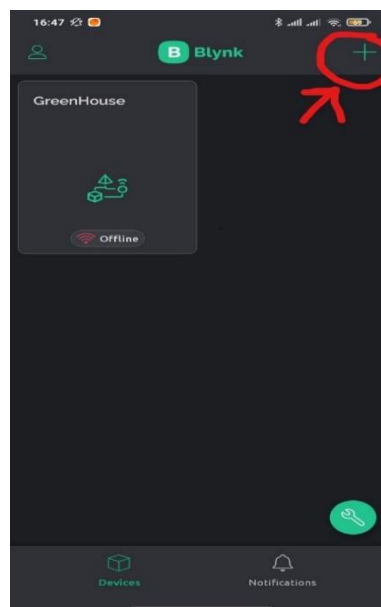
16 | Blynk.virtualWrite(V1, t);
17 | Blynk.virtualWrite(V2, h);

```

Εικόνα 26: Δήλωση εικονικών ακίδων στον κώδικα

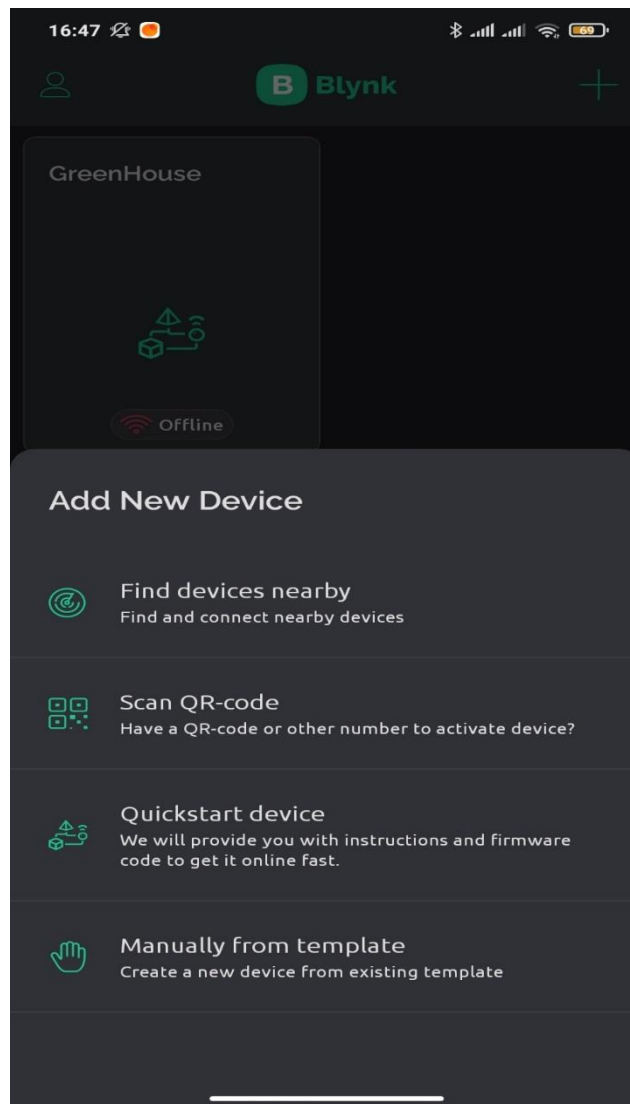
Αφού γίνει όλη αυτή η διαδικασία και το Dashboard είναι έτοιμο για χρήση στην διαδικτυακή ιστοσελίδα μπορούμε να το ενεργοποιήσουμε και στην εφαρμογή του κινητού μας ώστε να έχουμε πλήρη εικόνα ανά πάσα στιγμή από παντού όπου και αν βρισκόμαστε.

Η ενεργοποίηση της εφαρμογής στο κινητό μπορεί να γίνει με τέσσερις τρόπους, αλλά πατώντας στην ένδειξη προσθήκης συσκευών μας βγάζει τις τέσσερις επιλογές και διαλέγουμε όποια είναι κατάλληλη για εμάς.



Εικόνα 27: Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής στο κινητό

Ο πρώτος τρόπος είναι προσθέτοντας μία συσκευή κοντά μας που είναι σε λειτουργία εκείνη την ώρα και την αναγνωρίζει η εφαρμογή, ο δεύτερος τρόπος είναι ο πλέον πολυδιαδεδομένος σε όλους μας με τη χρήση QR-code χωρίς να χρειάζεται κάτι άλλο, ο τρίτος τρόπος είναι η σύνδεση με καλώδιο απευθείας στην πλακέτα της κατασκευής και ο τέταρτος και τελευταίος τρόπος είναι η δημιουργία της εφαρμογής ξανά από το μηδέν όπως κάναμε στην αρχή.



Εικόνα 28: Οι τέσσερις τρόποι σύνδεσης

## 4. ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η αρχιτεκτονική Arduino επιτρέπει την σύνδεση διαφόρων εξωτερικών εξαρτημάτων (αισθητήρες, συσκευές) τα οποία με τον κατάλληλο προγραμματισμό επιτελούν έναν στόχο όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 3. Με βάση αυτό θα επιτευχθεί ο προγραμματισμός των βασικών λειτουργιών που απαιτούνται στην περίπτωση ενός θερμοκηπίου.

Το υλικό μέρος θα περιέχει την πλακέτα του Arduino, ένα Relay Module τεσσάρων καναλιών, τους εξωτερικούς αισθητήρες, απαραίτητοι για την λήψη πληροφοριών από το περιβάλλον όπως θερμοκρασία και υγρασία, 2 μικρά μοτέρ για τις ανάγκες του ποτίσματος, δύο LED που θα αποτελούν τις ενδείξεις εξόδου για το σύστημα σκίασης και τέλος μία οθόνη που θα μας δείχνει τις βασικές πληροφορίες που χρειάζεται να ξέρουμε. Επίσης θα κατασκευαστεί, αφού γίνει ο προγραμματισμός των λειτουργιών, μία μικρογραφία ενός θερμοκηπίου.

### 4.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΌΡΓΑΝΑ

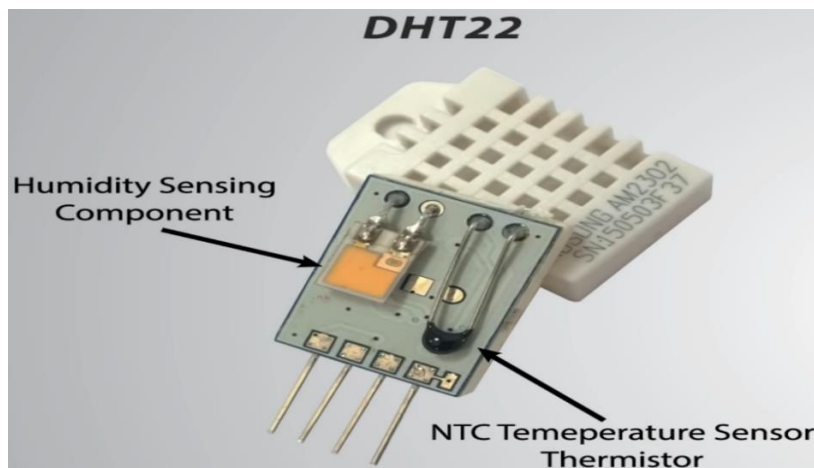
Οι παράμετροι του μικροκλίματος με τους οποίους θα ασχοληθεί η εργασία είναι η θερμοκρασία, η υγρασία του περιβάλλοντος, η φωτεινότητα καθώς και η υγρασία του χώματος. Για τον έλεγχο των παραμέτρων θα χρησιμοποιηθούν ένας αναλογικός και δυο ψηφιακοί αισθητήρες που θα συνδεθούν στις ανάλογες εισόδους του Arduino.

Κάποια από τα κριτήρια επιλογής των αισθητήρων καθώς και τα πιο βασικά είναι:

1. Η συμβατότητα με τον μικροελεγκτή
2. Τα 5V και 3,3V ως ελάχιστη τάση εισόδου
3. Η χαμηλή κατανάλωση ρεύματος στο συνολικό κύκλωμα
4. Είναι έτοιμη προς χρήση, «plug n' play», κατευθείαν μόλις συνδεθούν

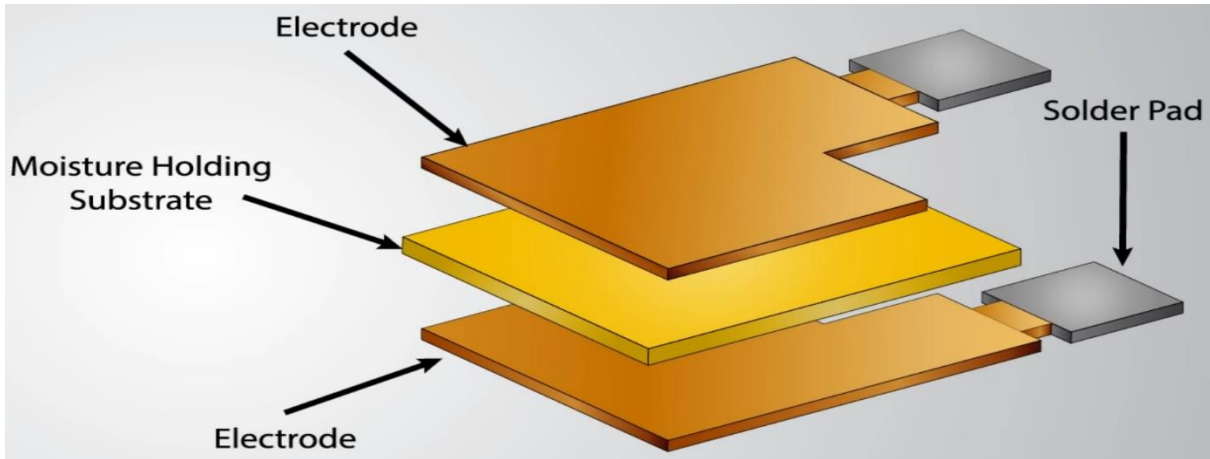
#### 4.1.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ – ΥΓΡΑΣΙΑΣ DHT22

Για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός αισθητήρας DHT22. Είναι ένας χαμηλού κόστους αισθητήρας που χρησιμοποιεί έναν πυκνωτικό αισθητήρα υγρασίας και ένα θερμίστορ για τη μέτρηση του περιβάλλοντα αέρα δίνοντας ένα ψηφιακό σήμα στον ακροδέκτη των δεδομένων και ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα στην πίσω όψη του. Είναι πολύ απλός στη χρήση του με το μοναδικό του μειονέκτημα να είναι ότι παίρνει δεδομένα κάθε 2 δευτερόλεπτα.



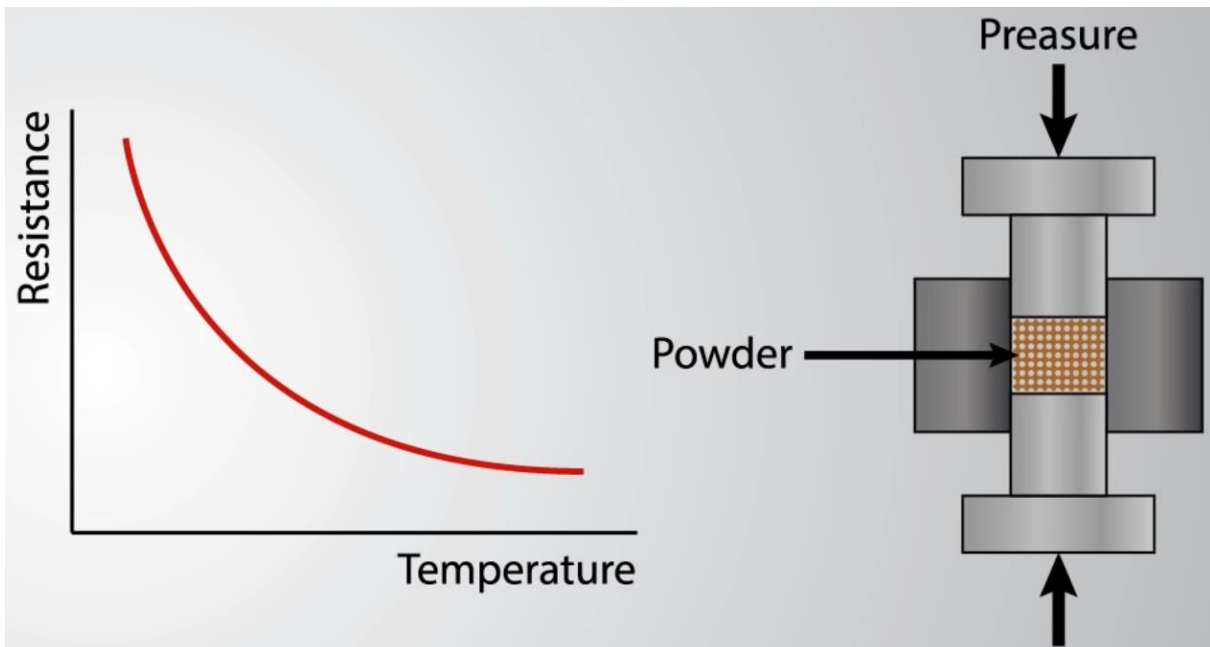
Εικόνα 29: Αισθητήρας υγρασίας – θερμοκρασίας DHT22

Για τη μέτρηση της υγρασίας χρησιμοποιείται ένα εξάρτημα ανίχνευσης υγρασίας το οποίο έχει δυο ηλεκτρόδια με υποστρώμα συγκράτησης υγρασίας ανάμεσά τους. Έτσι καθώς αλλάζει η υγρασία, αλλάζει η αγωγιμότητα του υποστρώματος ή αλλάζει η αντίσταση μεταξύ αυτών των ηλεκτροδίων. Αυτή η αλλαγή στην αντίσταση μετριέται και επεξεργάζεται από το ολοκληρωμένο κύκλωμα που το καθιστά έτοιμο για ανάγνωση από έναν μικροελεγκτή.



Εικόνα 30: Ο τρόπος λειτουργίας του υγρασιόμετρου

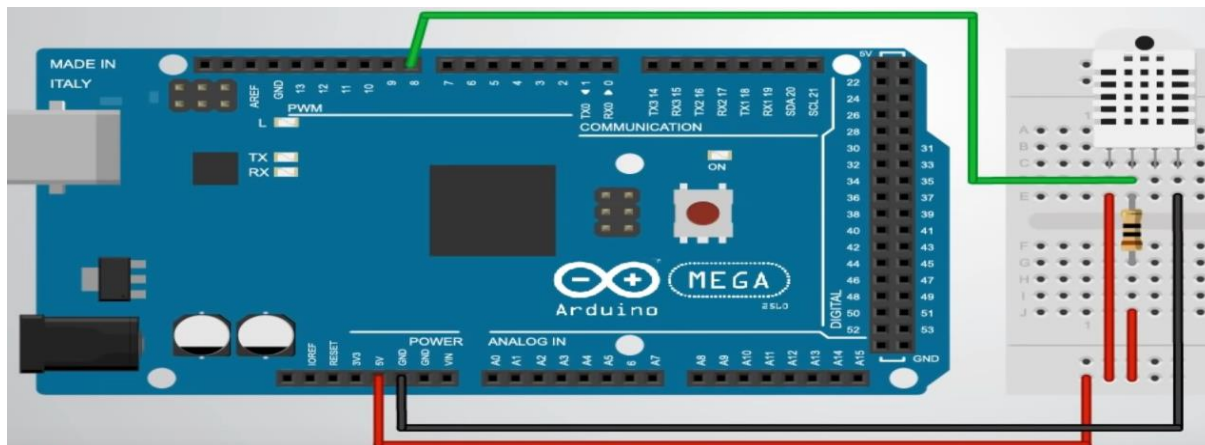
Από την άλλη πλευρά, για τη μέτρηση της θερμοκρασίας αυτός ο αισθητήρας χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα θερμοκρασίας NTC ή ένα θερμίστορ. Ένα θερμίστορ είναι στην πραγματικότητα μια μεταβλητή αντίσταση που αλλάζει την αντίστασή του με την αλλαγή της θερμοκρασίας. Αυτοί οι αισθητήρες κατασκευάζονται με πυροσυσσωμάτωση ημιαγωγικών υλικών όπως κεραμικά ή πολυμερή προκειμένου να παρέχουν μεγαλύτερες αλλαγές στην αντίσταση με μικρές αλλαγές στη θερμοκρασία.



Εικόνα 31: Ο τρόπος λειτουργίας του θερμόμετρου

Ο όρος “NTC” σημαίνει “Negative Temperature Coefficient”, που σημαίνει ότι η αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

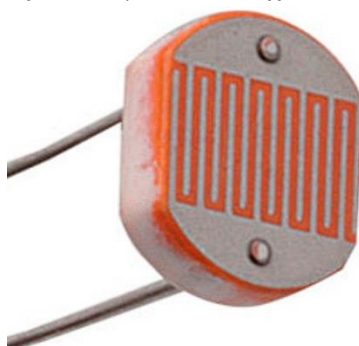
Ο αισθητήρας DHT22 έχει τέσσερις ακροδέκτες, VCC, GND, ακροδέκτη δεδομένων και έναν μη συνδεδεμένο ακροδέκτη που δεν έχει χρήση. Μία pull-up αντίσταση μεταξύ 5K και 10K απαιτείται για τη διατήρηση της γραμμής δεδομένων σε υψηλά επίπεδα και για να καταστεί δυνατή η επικοινωνία μεταξύ του αισθητήρα και της πλακέτας Arduino.



Εικόνα 32: Η συνδεσμολογία του DHT22

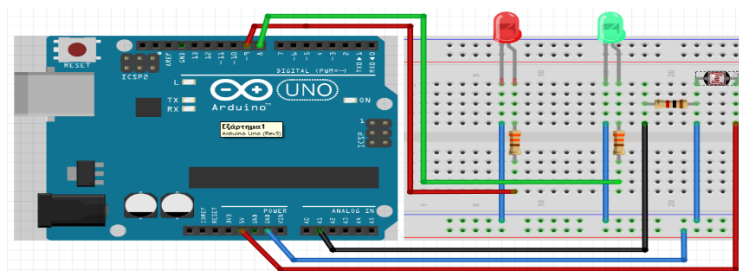
#### 4.1.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΈΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΕΠΑΣΤΡΟΥ

Για την ανίχνευση της έντασης φωτός καθώς και της χρήσης του σκέπαστρου χρησιμοποιήθηκε μια φωτοαντίσταση ή LDR (Light Dependent Resistor). Είναι μια αντίσταση της οποίας η τιμή αλλάζει καθώς αλλάζει η ποσότητα του φωτός που πέφτει πάνω της.



Εικόνα 33: Φωτοαντίσταση

Η αντίσταση του LDR μειώνεται με την αύξηση της έντασης του φωτός πάνω της. Αυτή η ιδιότητα μας επιτρέπει να τη χρησιμοποιούμε για τη δημιουργία κυκλωμάτων ανίχνευσης φωτός. Στη συνδεσμολογία τοποθετήθηκε και μία αντίσταση 1K σε σειρά καθώς προσδίδει μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις του φωτός.



Εικόνα 34: Συνδεσμολογία φωτοαντίστασης

Για την προσομοίωση του σκέπαστρου χρησιμοποιήθηκαν δύο απλά LED, ένα κόκκινο και ένα πράσινο. Το κόκκινο, όταν η τιμή του LDR αυξάνεται, ενεργοποιείται με αποτέλεσμα να μας δείχνει ότι το σκέπαστρο θα ήταν κλειστό αν υπήρχε και αντίστοιχα το πράσινο ενεργοποιείται όταν η τιμή του LDR μειώνεται αρά έχει έντονο φως ηλίου.

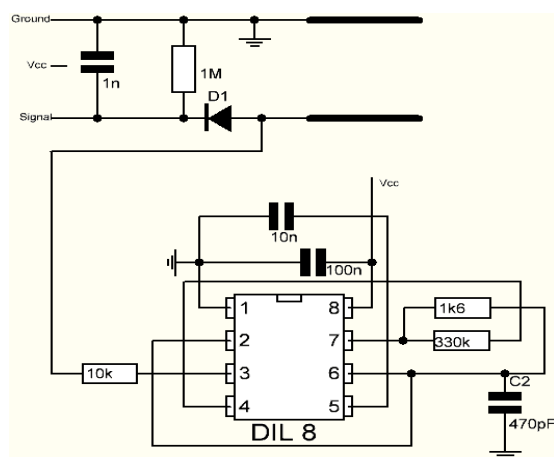
#### 4.1.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Για τη μέτρηση της υγρασίας του χώματος χρησιμοποιήθηκε ένας απλός χωρητικός αισθητήρας που μπορεί και ανιχνεύει την περιεκτικότητα της υγρασίας στο έδαφος.



Εικόνα 35: Αισθητήρας υγρασίας εδάφους

Ένας χωρητικός αισθητήρας υγρασίας λειτουργεί μετρώντας τις αλλαγές χωρητικότητας που προκαλούνται από τις αλλαγές στο διηλεκτρικό. Δεν μετρά απευθείας την υγρασία του εδάφους καθώς το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού και έτσι μετρά τα ιόντα που είναι διαλυμένα στην υγρασία. Η χωρητική μέτρηση βασικά μετρά το διηλεκτρικό που σχηματίζεται από το έδαφος και το νερό είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το διηλεκτρικό. Η χωρητικότητα του αισθητήρα μετριέται με τη βοήθεια ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος 555 που δημιουργεί μια τάση που είναι ευθέως ανάλογη με τον πυκνωτή που εισάγεται στο έδαφος. Στη συνέχεια, μετράμε αυτήν την τάση χρησιμοποιώντας έναν μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, ο οποίος παράγει μια τιμή που αντιπροσωπεύουμε ως ποσοστό της υγρασίας του εδάφους.



Εικόνα 36: Το κύκλωμα λειτουργίας του αισθητήρα

Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε χωρητικού τύπου και όχι αντιστασιακού τύπου αισθητήρας είναι γιατί ο χωρητικού δεν χρησιμοποιεί τάση συνεχούς ρεύματος με δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια τυπωμένα στην πλακέτα πυριτίου που προκαλούν την ηλεκτρολυτική δραστηριότητα σε ένα ηλεκτρόδιο και τα μέταλλα διαβρώνονται καταστρέφοντας μόνιμα τον αισθητήρα πολύ γρήγορα.

#### 4.1.4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ HC-SR04

Για να μετρήσουμε την ποσότητα του νερού μέσα στη δεξαμενή ώστε να μην μένει ποτέ χωρίς νερό το θερμοκήπιο και να μην κάψουμε τα μοτέρ θέτοντας τα σε λειτουργία χωρίς να υπάρχει νερό στη δεξαμενή, χρησιμοποιούμε αυτόν τον αισθητήρα ώστε να ξέρουμε πάντα την ποσότητα του νερού στη δεξαμενή και αν χρειάζεται συμπλήρωμα.

Ο αισθητήρας HC-SR04 είναι ένας φθηνός και εύκολος στη χρήση του αισθητήρας μέτρησης απόστασης με εύρος από 2cm έως 400cm. Ο αισθητήρας αποτελείται από δύο μετατροπείς υπερήχων. Ο ένας είναι ο πομπός που εκπέμπει υπερηχητικούς παλμούς ήχου και ο άλλος είναι ο δέκτης που ακούει τα ανακλώμενα κύματα. Είναι βασικά ένα SONAR που χρησιμοποιείται σε υποβρύχια για την ανίχνευση υποβρύχιων αντικειμένων.

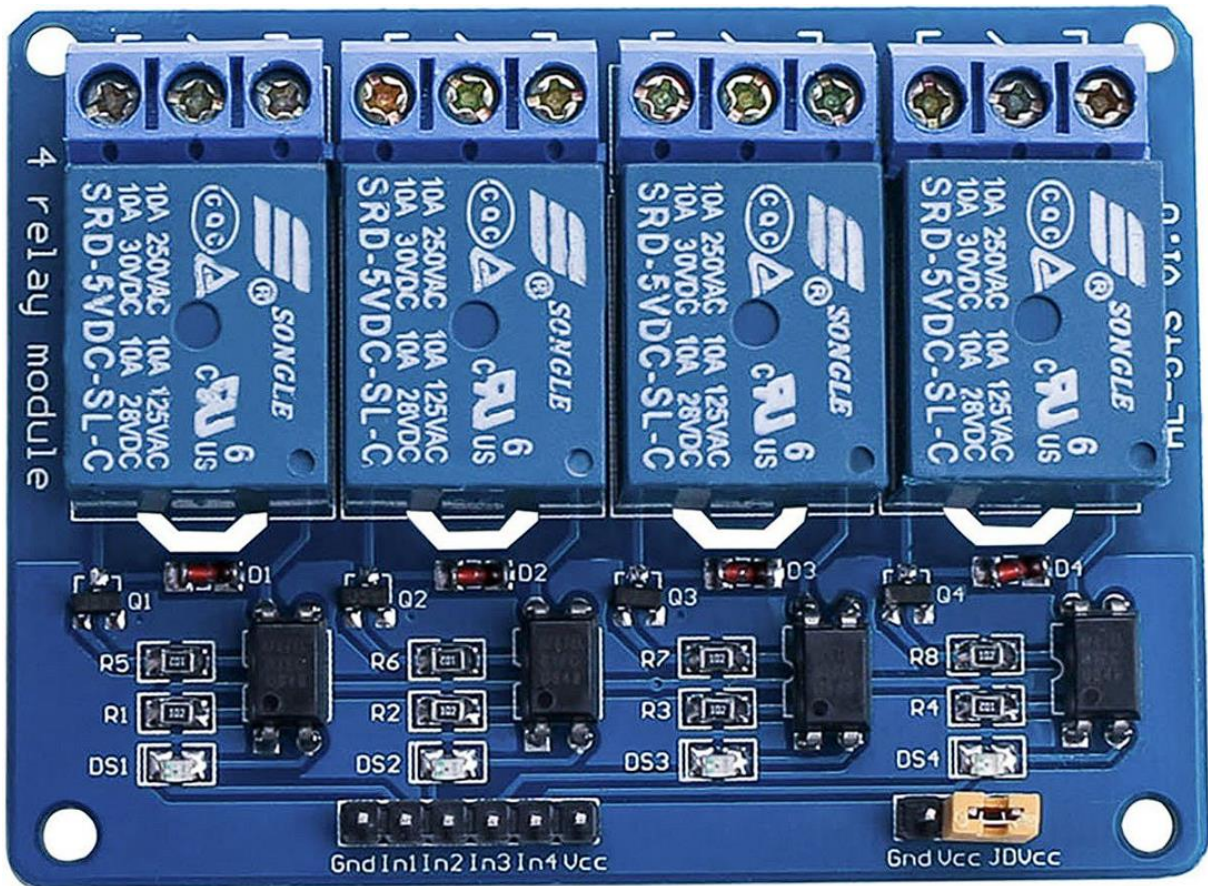


Εικόνα 37: Αισθητήρας μέτρησης απόστασης HC-SR04

Ο αισθητήρας έχει 4 ακροδέκτες. Το VCC και το GND πηγαίνουν στους ακροδέκτες 5V και GND αντίστοιχα στο Arduino και το Trig και το Echo πηγαίνουν σε οποιαδήποτε ψηφιακό ακροδέκτη του Arduino. Εκπέμπει έναν υπέρηχο στα 40 KHz που ταξιδεύει στον αέρα και εάν υπάρχει κάποιο αντικείμενο ή εμπόδιο στην πορεία του, θα ανακλαστεί πίσω. Λαμβάνοντας υπόψη τον χρόνο ταξιδιού και την ταχύτητα του ήχου μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση από τον τύπο: Απόσταση = (Ταχύτητα x Χρόνος) / 2. Διαιρούμε το αποτέλεσμα της παρένθεσης δια δυο επειδή μετράμε τη διάρκεια που χρειάζεται το ηχητικό κύμα για να ταξιδέψει στο αντικείμενο και να ανακλαστεί πίσω.

#### 4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ RELAY (ΡΕΛΕ)

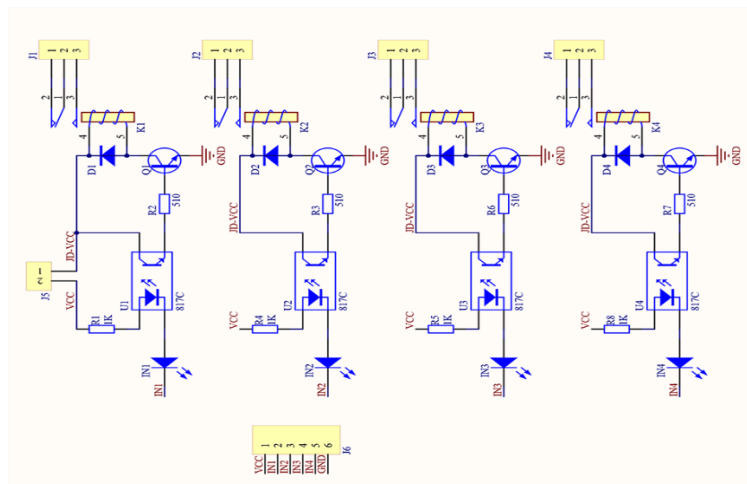
Για τον έλεγχο των εξόδων του συστήματος που δεν γίνεται να είναι κατευθείαν από την πλακέτα του Arduino λόγο μεγαλύτερης τάσης ή ακόμα και εναλλασσόμενης AC επιλέχθηκε ένα ρελέ τεσσάρων καναλιών διότι στην αγορά δεν υπάρχει τριών όσες και οι εξόδοι που έχει το σύστημα. Ο λόγος επιλογής του ήταν διότι είναι συμβατό με τον μικροελεγκτή της εργασίας, η ευκολία στη χρήση του και το ότι δεν χρειάζεται περεταίρω εξοπλισμός για την σύνδεση των δυο, πέρα από μερικά καλώδια.



Εικόνα 38: Ρελέ Module 4 channel

Το ρελέ είναι ένας ηλεκτρομηχανικός διακόπτης. Ενώ χρησιμοποιούμε κανονικούς διακόπτες για να κλείσουμε ή να ανοίξουμε ένα κύκλωμα χειροκίνητα, ένα ρελέ είναι επίσης ένας διακόπτης που συνδέει ή αποσυνδέει δύο κυκλώματα, αλλά αντί για χειροκίνητη λειτουργία, ένα ρελέ χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρικό σήμα για να ελέγξει έναν ηλεκτρομαγνήτη, ο οποίος με τη σειρά του συνδέει ή αποσυνδέει ένα άλλο κύκλωμα.

Το συγκεκριμένο ρελέ έχει τάση λειτουργίας 5V όση και το Arduino, γι' αυτό και επιλέχθηκε το συγκεκριμένο. Οι είσοδοι των καναλιών του έχουν Active Low λειτουργία, δηλαδή η ενεργοποίηση τους γίνεται όταν το σήμα στην είσοδο του είναι "0".



Εικόνα 39: Σχέδιο ρελέ Module

### 4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ SERVO MOTOR (ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ) ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΤΟΝ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ

Για να γίνεται εξαερισμός του θερμοκηπίου σε περιπτώσεις όπως όταν ανεβαίνει πολύ η θερμοκρασία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο και θέλουμε να την μειώσουμε ή αντίστοιχα με την υγρασία έχουμε δυο παράθυρα τα οποία μας κάνουν αυτή τη δουλειά με δυο Servo. Όταν κάποια από τις παραμέτρους που έχουμε δώσει στον κώδικα περάσει τα όρια που έχουμε, τότε δίνεται η εντολή στα Servo να ανοίξουν τα παράθυρα ώστε να γίνει σωστός εξαερισμός του χώρου και όταν επιστρέψει στα επιθυμητά επίπεδα, η θερμοκρασία ή η υγρασία ή και τα δυο, τότε δίνεται η εντολή στα Servo να κλείσουν τα παράθυρα.

Οι σερβοκινητήρες αποτελούν μέρος ενός συστήματος κλειστού βρόχου και αποτελούνται από πολλά μέρη όπως κύκλωμα ελέγχου, σερβοκινητήρα, γρανάζια μετάδοσης κίνησης κ.α. Ο σερβοκινητήρας είναι μια αυτόνομη ηλεκτρική συσκευή, που περιστρέφει μέρη μιας μηχανής με υψηλή απόδοση και με μεγάλη ακρίβεια. Ο άξονας εξόδου αυτού του κινητήρα μπορεί να μετακινηθεί σε μια συγκεκριμένη γωνία, θέση και ταχύτητα κάτι που δεν μπορεί να κάνει ένας κανονικός κινητήρας. Ο σερβοκινητήρας χρησιμοποιεί έναν κανονικό κινητήρα και τον συνδυάζει με έναν αισθητήρα για ανάδραση θέσης.



Εικόνα 40: Servo Motor (Σερβοκινητήρας)

Ο σερβοκινητήρας είναι ένας μηχανισμός κλειστού βρόχου που ενσωματώνει ανάδραση θέσης για τον έλεγχο της περιστροφικής ή γραμμικής ταχύτητας και θέσης. Ο κινητήρας ελέγχεται με ένα ηλεκτρικό σήμα, είτε αναλογικό είτε ψηφιακό, το οποίο καθορίζει το μέγεθος της κίνησης που αντιπροσωπεύει την τελική θέση εντολής για τον άξονα.

#### 4.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΟΤΕΡ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΓΕΜΙΣΜΑΤΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

Για το πότισμα του χώματος καθώς και για το γέμισμα της δεξαμενής με νερό από εξωτερική πηγή επιλέχθηκαν δυο πολύ απλά μοτέρ που λειτουργούν στα 12V DC σε συνεργασία με τα ρελέ. Είναι αδιάβροχα ώστε να μπορούν να λειτουργούν μέσα και έξω από το νερό. Είναι μικρά σε μέγεθος αλλά μπορούν να αρδεύσουν 240 λίτρα νερού την ώρα. Παράλληλα έχουν μικρή κατανάλωση ρεύματος στα 400mA σε μέγιστο φορτίο και συνολικά 5W κατανάλωσης ισχύος.



Εικόνα 41: 12V DC Μοτέρ

#### 4.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΩΡΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Για τη θέρμανση του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε μία καλωδιακού τύπου αντίσταση με λειτουργία στα 220V AC. Μέσω των ρελέ δίνοντας τάση στα άκρα της σαν μία κλασική αντίσταση θερμαίνεται εκβάλλοντας τόση θερμότητα όση για να ζεστάνει έναν μικρό χώρο όπως του θερμοκηπίου. Είναι μήκους 1 μέτρο και με ισχύς λειτουργίας τα 20-36W ανάλογα με πόση ένταση λειτουργεί. Αντίστοιχες αντιστάσεις χρησιμοποιούνται και στις επιδαπέδιες εγκαταστάσεις θέρμανσης ενός σπιτιού ή κάποιου άλλου χώρου.



Εικόνα 42: Αντίσταση θέρμανσης σιλικόνης 220V AC

#### 4.6 ΆΛΛΑ ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ ΥΛΙΚΑ

Άλλα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή είναι:

1. Ένα τροφοδοτικό των 5V στα 50W για την τροφοδοσία του Arduino και των Ρελέ.
2. Ένα τροφοδοτικό των 12V στα 12W για την τροφοδοσία των Μοτέρ.
3. Ένας Step Up DC-DC Converter για την ομαλότερη τροφοδοσία του Arduino στα 5V διότι τα τροφοδοτικά έχουν απώλειες σε σχέση με τα χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής.
4. Τέλος, διάφορα καλώδια για τη σωστή συνδεσμολογία όλου του κυκλώματος.

## 4.7 ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

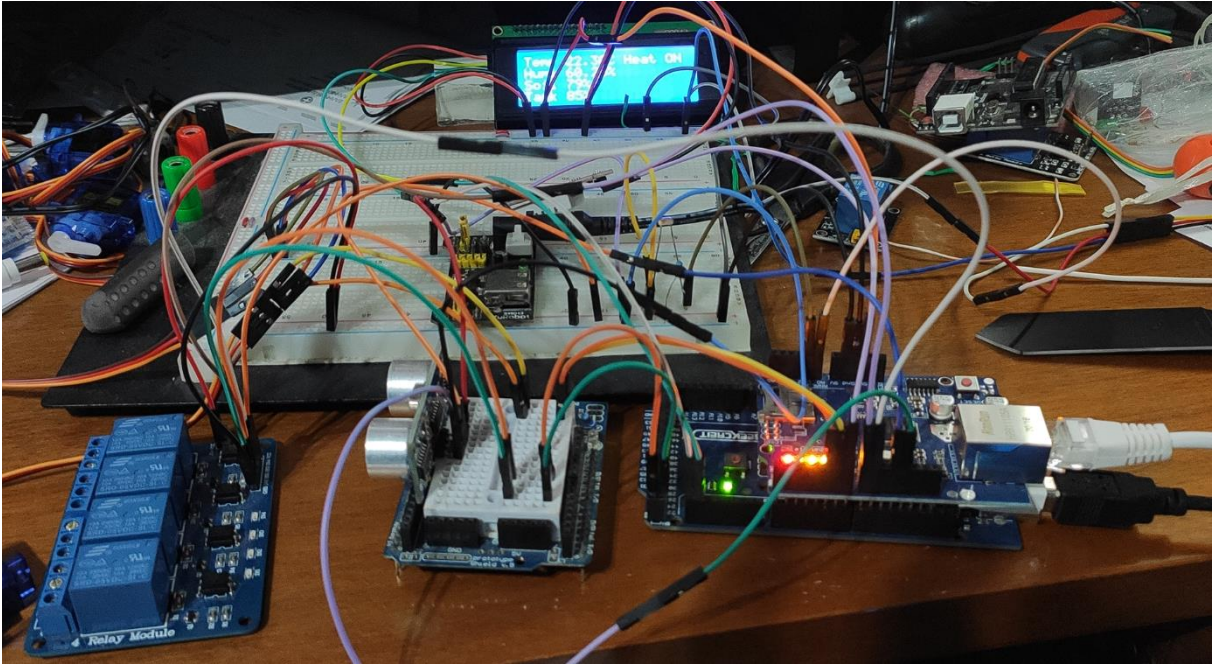
Η κατασκευή πριν ξεκινήσει να υλοποιείται χρειάστηκε πρώτα να μελετηθεί σωστά το τι χρειάζεται για να δημιουργηθεί ένα πρώτο πλάνο. Έτσι ξεκινώντας πολύ απλά με ένα Arduino UNO, την LCD οθόνη, μερικούς αισθητήρες, ένα Breadboard με καλώδια για τις απαραίτητες συνδέσεις και μερικά LED ώστε να έχουμε οπτική ανταπόκριση έγινε ο προγραμματισμός.



Εικόνα 43: Πειράματα προγραμματισμού

Στη συνέχεια αφού έγινε έλεγχος και όλα λειτουργούσαν σωστά προστέθηκαν επιπλέον αισθητήρες μαζί με τους σερβοκινητήρες. Έπειτα μπήκαν στο κύκλωμα και τα ρελέ υλοποιώντας έτσι το μεγαλύτερο ποσοστό του κυκλώματος της κατασκευής καθιστώντας τον κώδικα σχεδόν έτοιμο.

Τέλος προστέθηκε η Ethernet Shield ώστε να πραγματοποιηθεί η επικοινωνία του κυκλώματος με το ίντερνετ. Εδώ ξεκίνησε η υλοποίηση της εφαρμογής Blynk που κάνει αυτή τη δουλειά. Χρειάστηκε ψάξιμο στο ίντερνετ ώστε να καταφέρω να πραγματοποιήσω την εφαρμογή. Ήταν μία εύκολη αλλά κάπως χρονοβόρα διαδικασία διότι αντιμετώπισα προβλήματα στη διάρκεια της υλοποίησης της εφαρμογής αλλά χάρη στην άμεση ανταπόκριση της εταιρίας στις ερωτήσεις μου και το ανάλογο φόρουμ στην διαδικτυακή τους ιστοσελίδα λυθήκαν όλα καθιστώντας τον κώδικα και το κύκλωμα συμβατά και λειτουργικά μεταξύ τους, καταλήγοντας στην τελική μορφή τους πριν ξεκινήσει η υλοποίηση της μακέτας του θερμοκηπίου.



Εικόνα 44: Το κύκλωμα πριν την τελική κατασκευή

Η υλοποίηση της μακέτας πραγματοποιήθηκε από κομμάτια plexiglass τα οποία κοπήκαν στα ανάλογα σχήματα και διαστάσεις που επιθυμούσα. Έτσι ξεκινώντας με μια σταθερή βάση άρχισα να χτίζω πάνω σε αυτή το θερμοκήπιο, την δεξαμενή και τοποθέτησα το ηλεκτρολογικό κουτί ως πίνακα ελέγχου που θα είναι το κύκλωμα μέσα του. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάποιες από τις εργασίες κατασκευής χρειάστηκαν βοήθεια από δεύτερο άτομο ώστε να πραγματοποιηθούν.



Εικόνα 45: Κατασκευή θερμοκηπίου

Με τα κατάλληλα εργαλεία όπως τρυπάνι Dremel, χάρακας, λεπίδα κοπής, κατασαβίδι και μαρκαδόρο έγιναν οι απαραίτητες εργασίες ώστε να πάρει το θερμοκήπιο τη σωστή του μορφή και να δημιουργηθούν οι απαραίτητες οπές στον πίνακα ελέγχου για τις εισόδους και εξόδους των καλωδίων.



Εικόνα 46: Κατασκευή παραθύρων

Αφού έγιναν οι κολλήσεις των plexiglass και η μακέτα σχεδόν έφτασε στη τελική της μορφή ξεκίνησα να μελετάω που θα μπει το κάθε ηλεκτρονικό εξάρτημα ώστε να είναι λειτουργικό και βολικό για την κατασκευή.

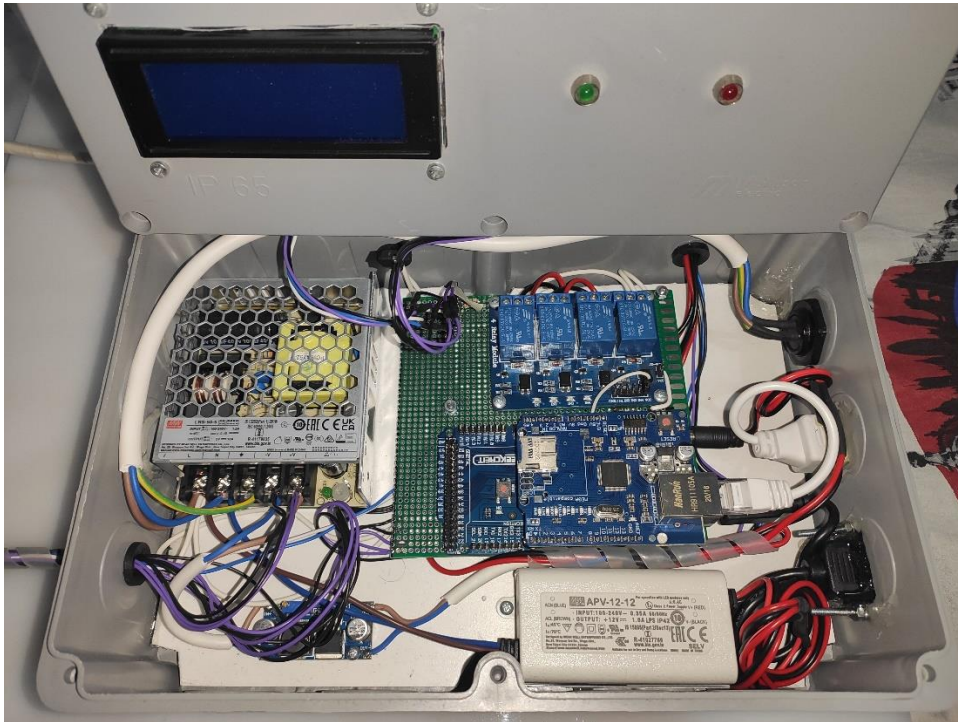


Εικόνα 47: Δίνοντας μορφή στο θερμοκήπιο

Στη συνέχεια προχώρησα στην εγκατάστασή τους στη θέση που έπρεπε ώστε να συνεχίσω με την κόλληση όλων πάνω στην διατηρητή πλακέτα με κολλητήρι και καλάι. Τα μοτέρ μπήκαν μέσα στη δεξαμενή διότι είναι αδιάβροχα και ο αισθητήρας για τη στάθμη του νερού μπήκε στο καπάκι της δεξαμενής ολοκληρώνοντας με τα σωληνάκια στα μοτέρ τα οποία είναι για το πότισμα και την συμπλήρωση του νερού της δεξαμενής. Οι αισθητήρες φωτός, θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα καθώς και ο αισθητήρας υγρασίας χώματος μπήκαν μέσα στο θερμοκήπιο. Μέσα στο θερμοκήπιο επίσης μπήκε και το ένα σωληνάκι από τη δεξαμενή για το πότισμα και γύρω γύρω στα τοιχώματα του θερμοκηπίου εγκαταστάθηκε και η αντίσταση θερμότητας.

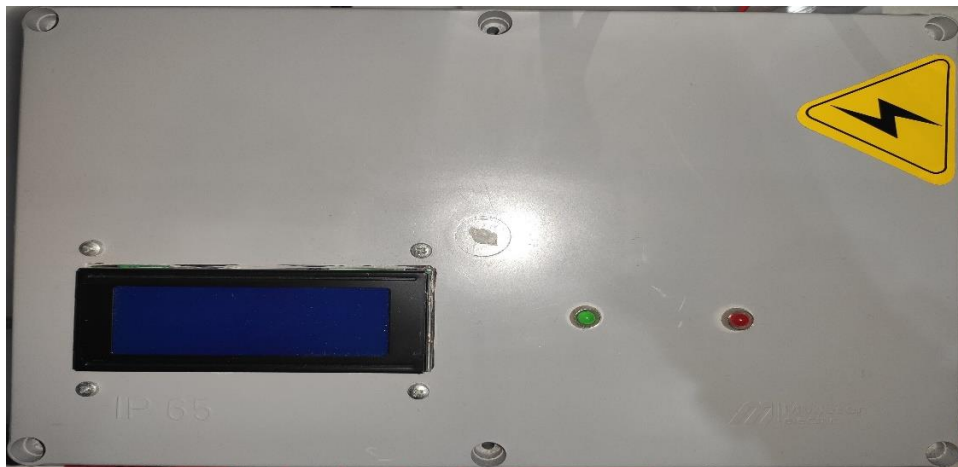
Έπειτα μπήκαν τα τροφοδοτικά που συνδέθηκαν με την κεντρική παροχή των 220V AC ώστε να δίνουν τις απαιτούμενες τάσεις τροφοδοσίας στο κύκλωμα, το DC-DC Converter συνδέθηκε με το Arduino και τα ρελέ συνδέθηκαν με τα καλώδια των μοτέρ και της αντίστασης θερμότητας.

Αφού κουμπώθηκαν και τα βύσματα προέκτασης του ethernet καλωδίου και του καλωδίου προγραμματισμού πάνω στο κουτί ώστε να μην χρειάζεται το κουτί να ανοίγει κάθε φορά που θα χρειάζεται κάποια αλλαγή στον κώδικα και να ανοίγει μόνο για τυχόν βλάβες που θα μπορούσαν να προκύψουν, καταλήγει ο πίνακας ελέγχου να μοιάζει όπως στην εικόνα παρακάτω.



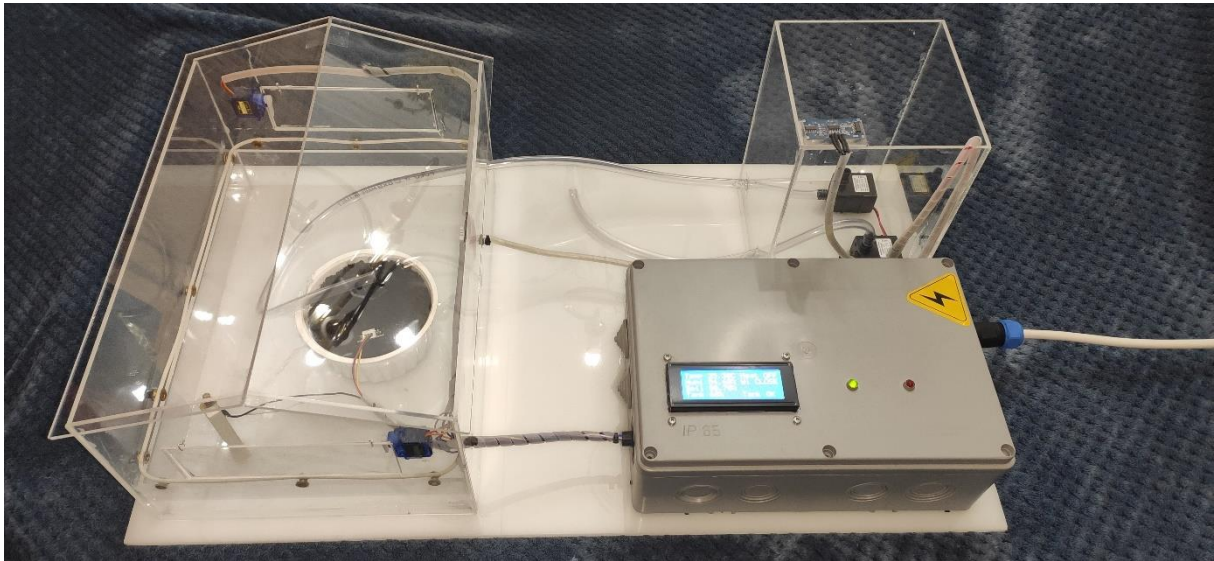
Εικόνα 48: Ο πίνακας ελέγχου

Τέλος στο καπάκι του πίνακα ελέγχου εγκαταστάθηκε η LCD οθόνη και τα δυο LED που αντιπροσωπεύουν το σκέπαστρο καθιστώντας την κατασκευή σχεδόν στην τελική της μορφή καθώς έλειπε η σκεπή του θερμοκηπίου ώστε να γίνει ο απαραίτητος έλεγχος ότι όλα λειτουργούν σωστά.



Εικόνα 49: Το καπάκι του πίνακα ελέγχου

Αφού έγιναν οι απαραίτητοι έλεγχοι και όλα λειτουργούσαν σωστά μπήκε και η σκεπή του θερμοκηπίου ολοκληρώνοντας την κατασκευή.



Εικόνα 50: Η τελική μορφή της κατασκευής

## 5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Παρακάτω θα εξετάσουμε πως προγραμματίστηκε το Arduino ώστε να λειτουργεί το κύκλωμα σωστά και πως αυτός ο προγραμματισμός λειτούργησε τελικά σωστά και στην πράξη.

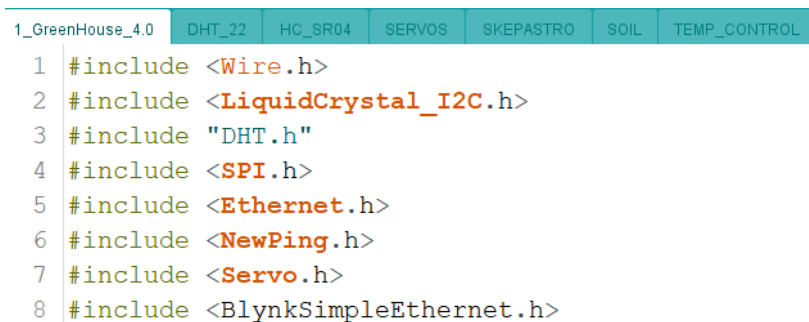
### 5.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΩΔΙΚΑ

Η αρχική μου ενέργεια ήταν να δημιουργήσω ένα πλάνο, τι εργασίες θέλω να εκτελεί το Arduino, με ποια σειρά και πως θα εκτελούνται στην πράξη δίνοντας σωστά αποτελέσματα. Ξεκίνησα να γράφω κώδικα με απλές εντολές που έδιναν έξοδο σε LED ώστε να έχω οπτική ανταπόκριση του αποτελέσματος. Στη συνέχεια πρόσθεσα αισθητήρες σε συνδυασμό με τα LED και συνέχισα να προσθέτω τα υπόλοιπα εξαρτήματα που είχα στο αρχικό πλάνο και στις επόμενες εκδοχές του.

Ο κώδικας είναι γραμμένος σε γλώσσα Arduino η οποία είναι ένας συνδυασμός γλώσσας C και C++.

Παρακάτω παρατίθεται ο κώδικας και η επεξήγηση του για τη λειτουργία του συστήματος.

Στην αρχή του κώδικα ξεκίνησα δηλώνοντας τις βασικές βιβλιοθήκες που χρειάστηκε το πρόγραμμα. Οι τυπικές βιβλιοθήκες που συνοδεύουν το Arduino είναι αρχεία κώδικα γραμμένα σε C ή C++, που παρέχουν επιπλέον λειτουργικότητα στη διαχείριση του υλικού και των δεδομένων και βελτιώνουν την αναγνωσιμότητα του κώδικα. Η βιβλιοθήκη πυρήνα (core library) συμπυκνώνει χαμηλού επιπέδου πτυχές του προγραμματισμού του μικροελεγκτή (π.χ. διαχείριση καταχωρητών), επιτρέποντας στους χρήστες να επικεντρωθούν στο κάθε φορά ιδιαίτερο έργο τους, και όχι στην χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία εκμάθησης του προγραμματισμού σε χαμηλό επίπεδο (γλώσσα μηχανής). Η βιβλιοθήκη πυρήνα εξ ορισμού συμπεριλαμβάνεται σε οποιοδήποτε πρόγραμμά μας. Λόγω της περιορισμένης μνήμης του μικροελεγκτή, μέρος του κώδικα έχει διαχωριστεί σε επιμέρους βιβλιοθήκες, οι οποίες μπορεί κατά περίπτωση να συμπεριληφθούν όταν απαιτείται σε κάποιο πρόγραμμα.



```

1_GreenHouse_4.0  DHT_22  HC_SR04  SERVOS  SKEPASTRO  SOIL  TEMP_CONTROL
1 #include <Wire.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include "DHT.h"
4 #include <SPI.h>
5 #include <Ethernet.h>
6 #include <NewPing.h>
7 #include <Servo.h>
8 #include <BlynkSimpleEthernet.h>

```

Εικόνα 51: Μέρος του κώδικα

Μετά τη δήλωση των βιβλιοθηκών έγινε η δήλωση των ακροδεκτών των αισθητήρων με τους αντίστοιχους του Arduino, δήλωση βασικών μεταβλητών που δεν θα αλλάζουν στην πορεία του κώδικα όπως επίσης και δήλωση τύπων και λειτουργιών των αισθητήρων και της οθόνης.

```

1_GreenHouse_4.0 § DHT_22 HC_SR04 SERVOS SKEPASTRO SOIL TEMP_CONTROL
20 //Δήλωση τύπου LCD οθόνης
21 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
22 //Δήλωση τύπου αισθητήρα και των ακροδεκτών με τους οποίους συνδέθηκε
23 #define Type DHT22
24 int DHTPin = 23;
25 DHT HT(DHTPin,Type);
26 //Δήλωση μεταβλητών για τον αισθητήρα DHT22
27 int dT = 500;
28 int dT2 = 1000;
29 float h;
30 float t;
31 //Δήλωση ακροδεκτών και μεταβλητών για τον αισθητήρα υγρασίας χωματός
32 float sensorPin = A0;
33 float sensorValue = 0;
34 int soilper = 0;
35 //Δήλωση ακροδεκτών, μεταβλητών και σταθερών ορών για τον αισθητήρα HC_SR04
36 int trigPin1 = 45;
37 int echoPin1 = 44;
38 int tankFull = 3;
39 int tankEmpty = 19;
40 int maxDistance = 20;
41 int measuredDistance = 0;
42 int percentage = 0;
43 //Δήλωση ακροδεκτών και σταθερών ορών για τους σερβοκινητήρες
44 int ServoPin1 = 27;
45 int ServoPin2 = 31;
46 int WinOpen = 90;
47 int WinClose = 0;
48 Servo ServoWin1;
49 Servo ServoWin2;
50 //Δήλωση ακροδεκτών ρελε για τα μοτέρ νερού και της αντίστασης θερμότητας
51 int RelayIN = 6;
52 int RelayOut = 5;
53 int RelayHeat = 7;
54 //Δήλωση ακροδεκτών και μεταβλητών των LED για προσομοίωση Σκεπαστρου
55 int LDRPin = A1;
56 int LDRVal;
57 int GLED = 41;
58 int RLED = 40;

```

Εικόνα 52: Μέρος του κώδικα

Ο κώδικας αποτελείται από δυο βασικές συναρτήσεις, τη “setup()” και τη “loop()”. Και οι δυο είναι τύπου void, που σημαίνει πως κατά την εκτέλεσή τους δεν επιστρέφουν κάποια τιμή ή αποτέλεσμα στο Arduino. Αυτές οι δυο συναρτήσεις είναι απαραίτητες για τη δημιουργία ενός κώδικα και μπορούμε να γράψουμε όλες τις εντολές μέσα σε αυτές.

Η συνάρτηση “ void setup()” εκτελείται μόνο μια φορά στην αρχή του προγράμματος, και καθορίζει τις αρχικές ρυθμίσεις του συστήματος, π.χ. ορισμός εισόδων/εξόδων, ενεργοποίηση σειριακής επικοινωνίας, κλπ.

```

1_GreenHouse_4.0 § DHT_22 HC_SR04 SERVOS SKEPASTRO SOIL TEMP_CONTROL
65 void setup()
66 {
67 //Ενεργοποίηση των ρελε λογο active low λειτουργίας
68 digitalWrite(RelayIN, HIGH);
69 digitalWrite(RelayOut, HIGH);
70 digitalWrite(RelayHeat, HIGH);
71 //Δήλωση εισοδων-εξοδων κυκλωματος
72 pinMode(sensorPin, INPUT);
73 pinMode(RelayIN, OUTPUT);
74 pinMode(RelayOut, OUTPUT);
75 pinMode(trigPin1, OUTPUT);
76 pinMode(echoPin1, INPUT);
77 pinMode(LDRPin, INPUT);
78 pinMode(RLED, OUTPUT);
79 pinMode(GLED, OUTPUT);
80 pinMode(RelayHeat, OUTPUT);
81 pinMode(SDCARD_CS, OUTPUT);
82 digitalWrite(SDCARD_CS, HIGH);
83 //Αρχειοποίηση LCD οθόνης, αισθητήρα DHT_22, σερβοκινητήρες
84 //και σύνδεση με το Blynk cloud της εφαρμογής
85 lcd.begin(20,4);
86 lcd.clear();
87 HT.begin();
88 ServoWin1.attach(ServoPin1);
89 ServoWin2.attach(ServoPin2);
90 Blynk.begin(auth, "blynk.cloud", 80);
91 timer.setInterval(1000L, HC_SR04);
92 }

```

Εικόνα 53: Μέρος του κώδικα

Η συνάρτηση “ void loop()” περιέχει τον κυρίως κώδικα του προγράμματός μας, και εκτελείται κυκλικά μέχρι την απενεργοποίηση ή την επανεκκίνηση του Arduino.

```

1_GreenHouse_4.0 $ DHT_22 HC_SR04 SERVOS SKEPASTRO SOIL TEMP_CONTROL
94 void loop()
95 {
96 //Κληση ενδειξης αποτελεσμάτων όλων των ξεχωριστων συναρτησεων
97 DHT_22();
98 HC_SR04();
99 SERVOS();
100 SKEPASTRO();
101 SOIL();
102 TEMP_CONTROL();
103 Blynk.run();
104 timer.run();
105 }
    
```

Εικόνα 54: Μέρος του κώδικα

Ωστόσο, πέρα από τις δυο βασικές συναρτήσεις μπορούμε να δημιουργήσουμε και δίκες μας συναρτήσεις έξω από τις βασικές και να τις καλούμε σε όποιο σημείο του κώδικα εμείς επιθυμούμε. Οι συναρτήσεις αυτές είναι ένα ανεξάρτητο τμήμα κώδικα, που εκτελεί μία ορισμένη εργασία και, προαιρετικά επιστρέφει μία τιμή. Η συγγραφή προγραμμάτων με χρήση συναρτήσεων που εκτελούν ανεξάρτητες εργασίες είναι η βάση του δομημένου προγραμματισμού. Με τη χρήση συναρτήσεων ένα πρόγραμμα χωρίζεται σε μικρότερα τμήματα, άρα ο κώδικας διαβάζεται, τροποποιείται και ελέγχεται πιο εύκολα.

Ένα παράδειγμα αυτών των συναρτήσεων είναι η “ void DHT\_22()”, όποτε κληθεί από την “ void loop()” ξεκινάει να εκτελείτε διαβάζοντας τα δεδομένα του αισθητήρα, τα επεξεργάζεται και δίνει τα αποτελέσματα της υγρασίας και θερμοκρασίας του χώρου στην οθόνη και στην εφαρμογή Blynk όπως το προγραμματίσαμε να κάνει ώστε να έχουμε οπτική ανταπόκριση των εργασιών αυτής της συνάρτησης.

```

1_GreenHouse_4.0 DHT_22 $ HC_SR04 SERVOS SKEPASTRO SOIL TEMP_CONTROL
1 void DHT_22()
2 {
3 //Διαβασμα δεδομενων απο τον αισθητηρα και ενδειξη
4 //τους στην LCD οθονη και την εφαρμογη
5 h = HT.readHumidity();
6 t = HT.readTemperature();
7 lcd.setCursor(0,0);
8 lcd.print("Temp ");
9 lcd.print(t);
10 lcd.print("C");
11 lcd.setCursor(0,1);
12 lcd.print("Humi ");
13 lcd.print(h);
14 lcd.print("%");
15 Blynk.virtualWrite(V1, t);
16 Blynk.virtualWrite(V2, h);
17 delay(dT);
18 }
    
```

Εικόνα 55: Μέρος του κώδικα

Με παρόμοιο τρόπο λειτουργούν και οι υπόλοιπες συναρτήσεις του κώδικα όπου η κάθε μια κάνει και διαφορετική δουλειά ανάλογα τις εντολές. Έτσι η “void HC\_SR04()” ελέγχει την στάθμη νερού στη δεξαμενή και ενεργοποιεί το μοτέρ για γέμισμα της από εξωτερική πηγή νερού. Η συνάρτηση “void SERVOS()” ελέγχει τη θερμοκρασία και την υγρασία του χώρου παίρνοντας τα αποτελέσματα από τη

συνάρτηση “void HC\_SR04()” και ανοίγει τα παράθυρα ή τα κλείνει με την βοήθεια των σερβοκινητήρων ανάλογα τα όρια που έχουμε θέσει. Η “void SKEPASTRO()” διαβάζοντας και επεξεργάζοντας τα δεδομένα από την φωτοαντίσταση ανάβει και σβήνει το πράσινο LED σηματοδοτώντας ότι το σκέπαστρο θα ήταν ανοιχτό γιατί έχει πολύ ήλιο και αντίστοιχα το κόκκινο LED σηματοδοτώντας ότι το σκέπαστρο θα ήταν κλειστό γιατί δεν έχει πολύ ήλιο. Η συνάρτηση “void SOIL()” είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο υγρασίας του χώματος και ενεργοποίησης του ρελέ με το μοτέρ το οποίο είναι για πότισμα του χώματος. Τέλος η “void TEMP\_CONTROL()” είναι υπεύθυνη για την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση του ρελέ της αντίστασης θερμότητας ώστε να υπάρχει η κατάλληλη θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου.

Εδώ να σημειωθεί ότι όλες οι συναρτήσεις δίνουν οπτική απόκριση τόσο στην LCD οθόνη όσο και στην εφαρμογή Blynk.

Τέλος να πούμε πως για να μπορεί το σύστημα να είναι αποδοτικό και να λειτουργεί σωστά ο έλεγχος των συνθηκών θα πρέπει να γίνεται ανά λίγα λεπτά ώστε το σύστημα να έχει τον απαραίτητο χρόνο να εκτελέσει τις εντολές που έχουν δοθεί για να επιτύχει τον έλεγχο των παραμέτρων που έχουμε δώσει, όπως επίσης και τα ρελέ που χρησιμοποιήθηκαν στο κύκλωμα έχουν λειτουργία active low γι’ αυτό και τέθηκαν σε λειτουργία ενεργοποίησης στην αρχή του κώδικα στην “void setup()”.

## 5.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

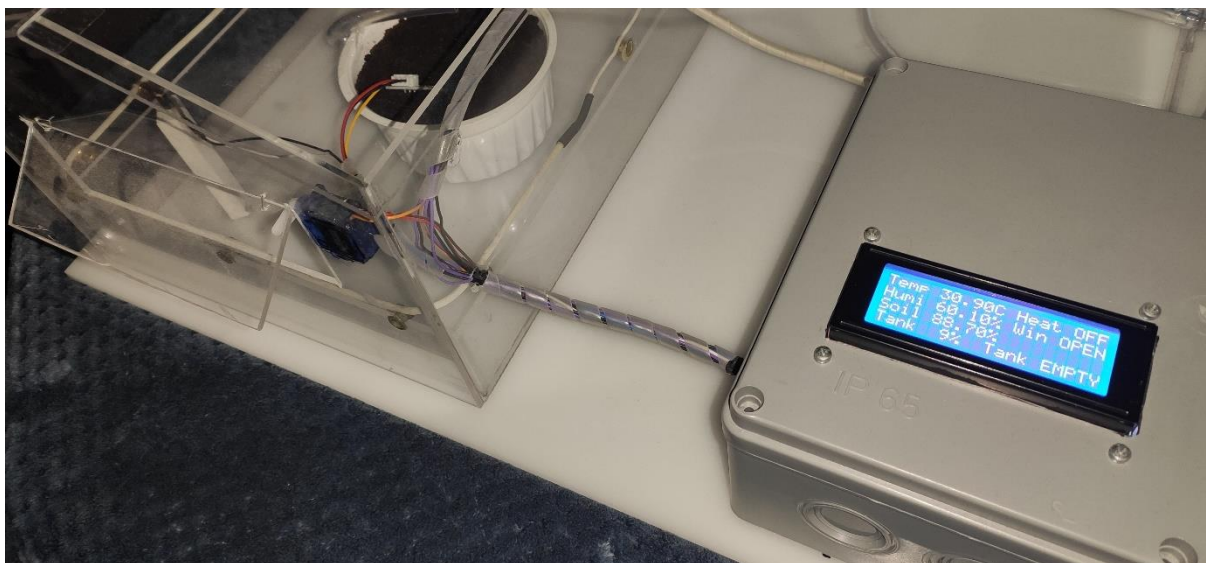
Μετά την ολοκλήρωση του προγραμματισμού των εντολών που θα εκτελεστούν ακολούθησε η δοκιμή για την ορθή λειτουργία του συστήματος βάση όσων είχαν σχεδιαστεί στο αρχικό πλάνο σκέψης και εκτέλεσης. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για όλες τις παραμέτρους και καταστάσεις που θα μπορούσε να βρεθεί το σύστημα και εξακριβώθηκε η ορθότητα τους. Για την παρακολούθηση της πορείας της καταγραφής των τιμών που λαμβάνονται από τους αισθητήρες αλλά και των εντολών που δίνονται στην έξοδο του μικροελεγκτή χρησιμοποιήθηκε η LCD οθόνη παράλληλα με την εφαρμογή Blynk cloud από υπολογιστή και κινητό ταυτόχρονα.



Εικόνα 56: Παρακολούθηση τιμών μέσω LCD οθόνης

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε την οπτική ταυτόχρονη ανταπόκριση όλων των δεδομένων που έχουμε στο σύστημα. Βλέπουμε την θερμοκρασία και υγρασία του χώρου, την υγρασία του χώματος, τη στάθμη της δεξαμενής, αν λειτουργεί ή όχι το μοτέρ γεμίσματος της δεξαμενής, αν ποτίζετε το χώμα, αν λειτουργεί η αντίσταση θερμότητας και τέλος αν το σκέπαστρο θα ήταν ανοιχτό ή όχι.

Σε σχέση με τη φωτογραφία παραπάνω, στον αισθητήρα υγρασίας και θερμοκρασίας του χώρου βλέπουμε ότι οι μετρήσεις που παίρνει είναι στα όρια που έχουμε θέσει και έτσι τα παράθυρα είναι κλειστά και η αντίσταση θερμότητας δεν λειτουργεί. Αυξάνοντας τη θερμοκρασία μέσα στο χώρο παρατηρούμε ότι τα παράθυρα άνοιξαν ώστε να έχουμε αλλαγή του αέρα και μείωση των ποσοστών θερμοκρασίας μέχρι να επανέλθουν στα όρια που έχουμε προγραμματίσει, αντίστοιχα γίνεται το ίδιο και αν η υγρασία αυξηθεί περισσότερο από το επιτρεπτό όριο ή ακόμα και τα δυο μαζί.



Εικόνα 57: Αλλαγές σε θερμοκρασία και υγρασία

Όσο εξετάζαμε την περίπτωση αύξησης θερμοκρασίας, η αντίσταση θερμότητας παρέμεινε ανενεργή διότι ήταν πάνω από τα όρια που έχουμε θέσει πριν αρχίσει να λειτουργεί. Όταν μειώσαμε τη θερμοκρασία στο χώρο, έκλεισαν τα παράθυρα ώστε να μην γίνεται αλλαγή του αέρα και ταυτόχρονα έκλεισε την επαφή του ρελέ ενεργοποιώντας την αντίσταση. Μετά από λίγη ώρα και αφού η θερμοκρασία επανήλθε στα κανονικά τις επίπεδα άνοιξε η επαφή του ρελέ και η αντίσταση σταμάτησε να λειτουργεί. Όλες αυτές τις αλλαγές υγρασίας, θερμοκρασίας και ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης της αντίστασης τις βλέπαμε με άμεση ανταπόκριση στην οθόνη και στο Blynk cloud.



Εικόνα 58: Ενεργοποίηση αντίστασης θερμότητας

Στη συνέχεια, και πάλι σε σχέση με τη φωτογραφία [1], βλέπουμε ότι ο αισθητήρας υγρασίας του χώματος διαβάζει πως το χώμα είναι ικανοποιητικά ποτισμένο και δεν χρειάζεται άλλο νερό, άρα το μοτέρ ποτίσματος είναι ανενεργό. Βάζοντας τον αισθητήρα χειροκίνητα σε στεγνό χώμα βλέπουμε πως τα όρια υγρασίας είναι χαμηλότερα από αυτά που έχουμε θέσει ως ικανοποιητικά και έτσι κλείνει η επαφή του ρελέ με το μοτέρ να ξεκινάει να λειτουργεί και να ποτίζει το χώμα.



Εικόνα 59: Ένδειξη ποτίσματος

Όσο το μοτέρ ποτίζει έχουμε τη δυνατότητα να βλέπουμε άμεσα ότι λειτουργεί παράλληλα με τα ποσοστά υγρασίας του χώματος. Αυτό μας εξυπηρετεί στο να προλάβουμε την περίπτωση βλάβης κατά τη διάρκεια του ποτίσματος, έτσι αν κάτι πάει στραβά με το μοτέρ και δεν ποτίζει θα δούμε ότι τα ποσοστά υγρασίας δεν αυξάνονται ή ενώ έχουν ξεπεράσει τα όρια το μοτέρ για κάποιο λόγο συνεχίζει να ποτίζει. Με αυτό τον τρόπο ελέγχουμε με πολλαπλές περιπτώσεις ότι τα φυτά μας δεν θα μείνουν χωρίς νερό αλλά ούτε θα ποτιστούν περισσότερο απ' ό τι πρέπει κανονικά. Και αφού τελειώσει η διαδικασία του ποτίσματος, και όλα πάνε καλά, ανοίγει και πάλι η επαφή στο ρελέ και το μοτέρ σταματάει να λειτουργεί.

Για να γίνεται όμως το πότισμα σωστά θα πρέπει και η δεξαμενή νερού να λειτουργεί σωστά. Σε συνδυασμό λοιπόν με τον αισθητήρα υγρασίας χώματος λειτουργεί και ο αισθητήρας χωρητικότητας της δεξαμενής. Όσο τα επίπεδα νερού είναι μεγαλύτερα από αυτά που θέσαμε ως κατώτερα το χώμα ποτίζεται κανονικά αδιάκοπα. Όταν τα επίπεδα πέσουν κάτω από το επιτρεπτό όριο τότε το πότισμα αν ήταν σε λειτουργία σταματάει ή αν έπρεπε να λειτουργήσει δεν θα ξεκινήσει να ποτίζει, αυτό γίνεται για την προστασία του μοτέρ ώστε να μην λειτουργεί άσκοπα και καταστραφεί. Εφόσον λοιπόν τα επίπεδα νερού είναι κάτω από το όριο η επαφή του ρελέ κλείνει και το μοτέρ ξεκινάει να λειτουργεί

γεμίζοντας τη δεξαμενή με νερό από εξωτερική πηγή νερού που έχουμε συνδέσει. Όταν τελειώσει η διαδικασία γεμίσματος, στο ρελέ ανοίγει η επαφή και το μοτέρ σταματάει να λειτουργεί, έτσι αν η διαδικασία ποτίσματος είχε σταματήσει στη μέση τώρα θα συνεχίσει μέχρι να τελειώσει το πότισμα.



Εικόνα 60: Ένδειξη άδειας δεξαμενής νερού

Τέλος έμεινε η λειτουργία της φωτοαντίστασης, εδώ για πρακτικούς λόγους δεν μπορούσε να δημιουργηθεί ένα κανονικό σκέπαστρο και αντικαταστάθηκε με δυο LED, το ένα πράσινου χρώματος να δείχνει ότι το σκέπαστρο θα ήταν ανοιχτό και ένα κόκκινο αντίστοιχα να δείχνει ότι θα ήταν κλειστό. Πάντα σε σχέση με τη φωτογραφία [1], βλέπουμε πως τα επίπεδα του φωτός είναι ψηλά με αποτέλεσμα το πράσινο LED να είναι ενεργοποιημένο. Σκιάζοντας την φωτοαντίσταση αμέσως βλέπουμε το πράσινο LED να απενεργοποιείται και αντίστοιχα να ενεργοποιείται το κόκκινο.



Εικόνα 61: Κόκκινο LED αναμμένο ένδειξη ότι το σκέπαστρο είναι κλειστό

## 6. Τελικά Συμπεράσματα Και Σχόλια

Κατά την διάρκεια της εργασίας επιτεύχθηκε ο έλεγχος βασικών λειτουργιών ενός θερμοκηπίου με τη χρήση του Arduino. Η χρήση του μικροελεγκτή Arduino για τη ρύθμιση των συνθηκών εντός του θερμοκηπίου είναι μία πολύ καλή επιλογή για πολλούς λόγους. Μερικοί από αυτούς τους λόγους είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής, ο σχετικά εύκολος προγραμματισμός του αλλά και οι πολλές και ποικίλες δυνατότητες που προσφέρει το Arduino σε συνδυασμό με διάφορους αισθητήρες και ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Είδαμε πόσο εύκολα μπορεί ένας άνθρωπος να χειριστεί ένα ολόκληρο θερμοκήπιο πολύ απλά και γρήγορα από την άνεση του σπιτιού του μέσω της εφαρμογής για smartphones χωρίς να χρειάζεται καθημερινή και πολλαπλή παρουσία του στο θερμοκήπιο ώστε να δει ότι όλα λειτουργούν σωστά.

Κλείνοντας πρέπει να αναφέρουμε ότι το θερμοκήπιο έχει περιθώριο πολλών βελτιώσεων, από άποψη hardware αλλά και από software οι οποίες δεν έγιναν εδώ για οικονομικούς και πρακτικούς λόγους όπως το ότι θα έπρεπε να γινόταν πολύ μεγαλύτερη η μακέτα της κατασκευής. Μερικές από αυτές θα μπορούσαν να ήταν περισσότεροι αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας στο χώρο ώστε να υπάρχει μία πιο σωστή εικόνα της κατάστασης, θα μπορούσε να υπάρχει αισθητήρας που να μετράει την θερμοκρασία του χώματος ακόμα και το pH (πεχά) ώστε να έχει μεγαλύτερη απόδοση, ποιότητα και παραγωγή στα προϊόντα, για να μην αναφερθούμε στα γενικότερα οφέλη που θα μπορούσαν να υπάρχουν από ένα “έξυπνο θερμοκήπιο” όπως η μείωση κατανάλωσης άσκοπου νερού ή η μείωση κατανάλωσης ενέργειας και άλλων σημαντικών πόρων.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <https://www.ypaithros.gr/>
- [2] <https://www.ypaithros.gr/to-kostos-h-diadikasia-kai-oi-ekselikseis-stin-kataskeui-thermokipion/>
- [3] <https://agravia.gr/>
- [4] <https://www.wonderplant.gr/>
- [5] <https://www.aua.gr/ekk/wp-content/uploads/2017/01/5-%CE%9A%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%99%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99A-%CE%9A%CE%97%CE%A0%CE%95%CE%A5%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%A9%CE%9D-%CE%A3%CE%A4%CE%9F-%CE%98%CE%95%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%9A%CE%97%CE%A0%CE%99%CE%9F-2.pdf>
- [6] <https://www.aua.gr/ekk/wp-content/uploads/2017/01/%CE%A7%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%9A%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%91-%CE%98%CE%95%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%9A%CE%97%CE%A0%CE%99%CE%A9%CE%9D-1.pdf>
- [7] <https://mavrogiannopoulosgeorge.blogspot.com/2013/01/blog-post.html>
- [8] <https://plantpro.gr/>
- [9] <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- [10] [https://content.arduino.cc/assets/Pinout-Mega2560rev3\\_latest.pdf?\\_gl=1\\*1hwco7\\*\\_ga\\*NDAzMTU2MzI0LjE2MjE5Nzk0MTQ.\\*\\_ga\\_NE\\_XN8H46L5\\*MTY0MjM1ODg1OS4xOS4wLjE2NDIzNTg4NTkuMA..](https://content.arduino.cc/assets/Pinout-Mega2560rev3_latest.pdf?_gl=1*1hwco7*_ga*NDAzMTU2MzI0LjE2MjE5Nzk0MTQ.*_ga_NE_XN8H46L5*MTY0MjM1ODg1OS4xOS4wLjE2NDIzNTg4NTkuMA..)
- [11] [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf)
- [12] <https://www.electroschematics.com/am2302-dht22-datasheet/>
- [13] <https://www.circuitschools.com/interface-capacitive-soil-moisture-sensor-v1-2-with-arduino-lcd-and-oled/>
- [14] [https://www.swe-check.com.au/editorials/understanding\\_relays.php](https://www.swe-check.com.au/editorials/understanding_relays.php)
- [15] <http://3gym-igoum.thesp.sch.gr/images/Arduino/book.pdf>
- [16] [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%B2%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CE%B8%CE%AE%CE%BA%CE%B7\\_\(%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AD%CF%82\)](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%B2%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CE%B8%CE%AE%CE%BA%CE%B7_(%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AD%CF%82))
- [17] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%98%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%AE%CF%80%CE%B9%CE%BF>

# EIKONEΣ

[1]

[https://www.google.gr/search?q=%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF&hl=el&sxsrf=APwXEdfykiNuUSGGBQKwYineRTKVs0vsQ:1684253908329&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiInqvfivr-AhWNzKQKHU9QDp4Q\\_AUoAXoECAIQAw&biw=2347&bih=1180&dpr=1.09](https://www.google.gr/search?q=%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF&hl=el&sxsrf=APwXEdfykiNuUSGGBQKwYineRTKVs0vsQ:1684253908329&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiInqvfivr-AhWNzKQKHU9QDp4Q_AUoAXoECAIQAw&biw=2347&bih=1180&dpr=1.09)

[2]

[https://www.google.gr/search?q=%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%B7+%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF%CF%85&tbm=isch&ved=2ahUKEwiOhongnvr-AhUVmScCHZ-hBy8Q2-cCegQIABAA&oq=%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%B7+%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF%CF%85&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzoECCMQJzoFCAAQgAQ6CAGAEIAEELEDOgcIABAYEIAEOgQIABAAeUMoIWMIPYJpRaABwAHgAgAFniAGzE5IBBDI3LjKYAQCgAQGqAQtd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&scient=img&ei=1axjZM7HNJWynsEPn8Oe-AI&bih=1180&biw=2347&hl=el](https://www.google.gr/search?q=%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%B7+%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF%CF%85&tbm=isch&ved=2ahUKEwiOhongnvr-AhUVmScCHZ-hBy8Q2-cCegQIABAA&oq=%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%B7+%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%B1%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF%CF%85&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECCMQJzoFCAAQgAQ6CAGAEIAEELEDOgcIABAYEIAEOgQIABAAeUMoIWMIPYJpRaABwAHgAgAFniAGzE5IBBDI3LjKYAQCgAQGqAQtd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&scient=img&ei=1axjZM7HNJWynsEPn8Oe-AI&bih=1180&biw=2347&hl=el)

[3] <https://www.wonderplant.gr/>

[4 - 5]

[https://www.google.gr/search?q=%CE%B1%CE%BC%CF%86%CE%B9%CF%81%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%84%CE%BF+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF&tbm=isch&ved=2ahUKEwi7g4WFnr-AhUericCHVAjBWYQ2-cCegQIABAA&oq=%CE%B1%CE%BC%CF%86%CE%B9%CF%81%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%84%CE%BF+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzoECCMQJzoICAAQgAQOQsQM6BQgAEIAEOgcIABAYEIAEOgkIABAYEIAEEApQhApY\\_ixgojVoAHAAeACAAXCIAa0OkgeEMjEuMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&scient=img&ei=I61jZPvIF57cnsEP0MaUsAY&bih=1180&biw=2347&hl=el#imgrc=MjtlE\\_0IAViqeM](https://www.google.gr/search?q=%CE%B1%CE%BC%CF%86%CE%B9%CF%81%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%84%CE%BF+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF&tbm=isch&ved=2ahUKEwi7g4WFnr-AhUericCHVAjBWYQ2-cCegQIABAA&oq=%CE%B1%CE%BC%CF%86%CE%B9%CF%81%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%84%CE%BF+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECCMQJzoICAAQgAQOQsQM6BQgAEIAEOgcIABAYEIAEOgkIABAYEIAEEApQhApY_ixgojVoAHAAeACAAXCIAa0OkgeEMjEuMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&scient=img&ei=I61jZPvIF57cnsEP0MaUsAY&bih=1180&biw=2347&hl=el#imgrc=MjtlE_0IAViqeM)

[6 - 9]

[https://www.google.gr/search?q=%CF%84%CE%BF%CE%BE%CE%BF%CF%84%CE%BF+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF&tbm=isch&ved=2ahUKEwjmQ4Dgn\\_r-AhXCmicCHR94BfiQ2-cCegQIABAA&oq=%CF%84%CE%BF%CE%BE%CE%BF%CF%84%CE%BF+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzIJCAAQGBACBBAKOGQIIxAnOgYIABAHEB46CAGAEAgQBxAeOggIABAFEAcQHjoGCAAQCBAeOgcIABAYEIAEUIcMWNogYIckaABwAHgAgAFWiAHDBJIBATeYAQCgAQGqAQtd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&scient=img&ei=4q1jZMyyCcK1nsEPn\\_CVka8&bih=1180&biw=2347&hl=el#imgrc=QjUE-rBqH1\\_o-M](https://www.google.gr/search?q=%CF%84%CE%BF%CE%BE%CE%BF%CF%84%CE%BF+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF&tbm=isch&ved=2ahUKEwjmQ4Dgn_r-AhXCmicCHR94BfiQ2-cCegQIABAA&oq=%CF%84%CE%BF%CE%BE%CE%BF%CF%84%CE%BF+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF&gs_lcp=CgNpbWcQAzIJCAAQGBACBBAKOGQIIxAnOgYIABAHEB46CAGAEAgQBxAeOggIABAFEAcQHjoGCAAQCBAeOgcIABAYEIAEUIcMWNogYIckaABwAHgAgAFWiAHDBJIBATeYAQCgAQGqAQtd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&scient=img&ei=4q1jZMyyCcK1nsEPn_CVka8&bih=1180&biw=2347&hl=el#imgrc=QjUE-rBqH1_o-M)

[10]

[https://www.google.gr/search?q=%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%83+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF%CF%85&tbm=isch&ved=2ahUKEwID\\_J72n\\_r-AhXTsEwKHYcADh0Q2-cCegQIABAA&oq=%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%81&gs\\_lcp=CgNpbWcQARgAMgQIABAeMgYIABAIEB46BAgjECc6CQgAEBgOgAQOCjoICAAOgAQOsQM6BQgAEIAEUPcPWPfMYLJXaAFwAHgAgAFdiAHicpIBAje2mAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&scient=img&ei=EK5jZIO0MNPhsgKHgbjoAQ&bih=1180&biw=2347&hl=el](https://www.google.gr/search?q=%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%83+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF%CF%85&tbm=isch&ved=2ahUKEwID_J72n_r-AhXTsEwKHYcADh0Q2-cCegQIABAA&oq=%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%81&gs_lcp=CgNpbWcQARgAMgQIABAeMgYIABAIEB46BAgjECc6CQgAEBgOgAQOCjoICAAOgAQOsQM6BQgAEIAEUPcPWPfMYLJXaAFwAHgAgAFdiAHicpIBAje2mAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&scient=img&ei=EK5jZIO0MNPhsgKHgbjoAQ&bih=1180&biw=2347&hl=el)

[11] <https://agravia.gr/>

[12]

[https://www.google.gr/search?q=%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%80%CE%B1%CF%83%CF%84%CF%81%CE%BF+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF%CF%85&tbm=isch&ved=2ahUKEwjznOi7oPr-AhV1pkwKHearD9sQ2-cCegQIABAA&oq=%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%80%CE%B1%CF%83%CF%84%CF%81%CE%BF+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF%CF%85&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzoECCMQJzoGCAAQBxAeOggIABAFEAcQHjoICAAQCBAHEB5Qmw1YxBhgvx9oAHAAeACAAVvIAcwGkgECMTCYAQCgAQGqAQnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&scient=img&ei=oa5jZPPDKvXMsgLm177YDQ&bih=1180&biw=2347&hl=el](https://www.google.gr/search?q=%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%80%CE%B1%CF%83%CF%84%CF%81%CE%BF+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF%CF%85&tbm=isch&ved=2ahUKEwjznOi7oPr-AhV1pkwKHearD9sQ2-cCegQIABAA&oq=%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%80%CE%B1%CF%83%CF%84%CF%81%CE%BF+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%B9%CE%BF%CF%85&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECCMQJzoGCAAQBxAeOggIABAFEAcQHjoICAAQCBAHEB5Qmw1YxBhgvx9oAHAAeACAAVvIAcwGkgECMTCYAQCgAQGqAQnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&scient=img&ei=oa5jZPPDKvXMsgLm177YDQ&bih=1180&biw=2347&hl=el)

[13 - 16] <https://www.arduino.cc/>

[17] <https://docs.arduino.cc/hacking/hardware/PinMapping2560>

[18 - 20] [https://content.arduino.cc/assets/Pinout-Mega2560rev3\\_latest.pdf?\\_gl=1\\*q7nrmz\\*\\_ga\\*MTg0NjQwNDE0OS4xNjgzODI0MzM0\\*\\_ga\\_NE\\_XN8H46L5\\*MTY4NDI1NDQ3NS4zLjEuMTY4NDI1NDUxNC4wLjAuMA..](https://content.arduino.cc/assets/Pinout-Mega2560rev3_latest.pdf?_gl=1*q7nrmz*_ga*MTg0NjQwNDE0OS4xNjgzODI0MzM0*_ga_NE_XN8H46L5*MTY4NDI1NDQ3NS4zLjEuMTY4NDI1NDUxNC4wLjAuMA..)

[22] <https://blynk.io/>

[21] [23 - 27] Εικόνες από το κινητό

[28 - 30] <https://www.electroschematics.com/am2302-dht22-datasheet/>

[31] Εικόνα από την εφαρμογή Fritzing

[32]

[https://www.google.gr/search?q=%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7&hl=el&sxsrf=APwXEdMeRnHO\\_JOPk9GOYhPtjMbJcUjw:1684254955824&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjVjenSovr-](https://www.google.gr/search?q=%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7&hl=el&sxsrf=APwXEdMeRnHO_JOPk9GOYhPtjMbJcUjw:1684254955824&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjVjenSovr-)

[AhV6gP0HHYg5CmQQ\\_AUoAXoECAIQAw&biw=2347&bih=1180&dpr=1.09#imgrc=A43eZxPZmXVWRM](https://www.google.gr/search?q=hc-sr04&hl=el&sxsrf=APwXEdeM-EpR2b9IHFI_437OtvhnV_OkdA:1684255092826&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUK-EwjqhJOUo_r-AhU6i_0HHSDXCWYQ_AUoAXoECAEQAw&biw=2347&bih=1180&dpr=1.09#imgrc=A43eZxPZmXVWRM)

[33] *Εικόνα από την εφαρμογή Fritzing*

[34 - 35] <https://www.circuitschools.com/interface-capacitive-soil-moisture-sensor-v1-2-with-arduino-lcd-and-oled/>

[36] [https://www.google.gr/search?q=hc-sr04&hl=el&sxsrf=APwXEdeM-EpR2b9IHFI\\_437OtvhnV\\_OkdA:1684255092826&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUK-EwjqhJOUo\\_r-AhU6i\\_0HHSDXCWYQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw=2347&bih=1180&dpr=1.09](https://www.google.gr/search?q=hc-sr04&hl=el&sxsrf=APwXEdeM-EpR2b9IHFI_437OtvhnV_OkdA:1684255092826&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUK-EwjqhJOUo_r-AhU6i_0HHSDXCWYQ_AUoAXoECAEQAw&biw=2347&bih=1180&dpr=1.09)

[37 - 38] [https://www.swe-check.com.au/editorials/understanding\\_relays.php](https://www.swe-check.com.au/editorials/understanding_relays.php)

[39] [https://www.google.gr/search?q=servo&tbn=isch&ved=2ahUKEwi8lfqUo\\_r-AhV2micCHSLEBDUQ2-cCegQIABAA&oq=servo&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzIECCMQJzIECCMQJzIFCAAQgAQyBOgAEIAEMgUIABCABDIFCAAQgAQyBOgAEIAEMgUIABCABDIFCAAQgAQyBAGAEB46CAGAEIAEELEDOgcIIXDqAhAnOgcIABCKBRBDUJoMWJA-YM9OaANwAHgAgAFtiAHVBpIBAzcuMpgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nsAEKwAEB&sclient=img&ei=drFjZLyCH\\_a0nsEPooiTqAM&bih=1180&biw=2347&hl=el](https://www.google.gr/search?q=servo&tbn=isch&ved=2ahUKEwi8lfqUo_r-AhV2micCHSLEBDUQ2-cCegQIABAA&oq=servo&gs_lcp=CgNpbWcQAzIECCMQJzIECCMQJzIFCAAQgAQyBOgAEIAEMgUIABCABDIFCAAQgAQyBOgAEIAEMgUIABCABDIFCAAQgAQyBAGAEB46CAGAEIAEELEDOgcIIXDqAhAnOgcIABCKBRBDUJoMWJA-YM9OaANwAHgAgAFtiAHVBpIBAzcuMpgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nsAEKwAEB&sclient=img&ei=drFjZLyCH_a0nsEPooiTqAM&bih=1180&biw=2347&hl=el)

[40]

[https://www.google.gr/search?q=12V+water+pump&tbn=isch&ved=2ahUKEwjU6vDMo\\_r-AhXzmicCHRKLCCkQ2-cCegQIABAA&oq=12V+water+pump&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzIFCAAQgAQyBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB46BAGjECC6BwgAEBMQgARQ3Q5YuB9givyJoAHAAeACAacYBiAHKCJIBBDEwLjGYAQcGgAQQtnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&scient=img&ei=67FjZJTJMPO1nsEPkpaivyAI&bih=1180&biw=2347&hl=el](https://www.google.gr/search?q=12V+water+pump&tbn=isch&ved=2ahUKEwjU6vDMo_r-AhXzmicCHRKLCCkQ2-cCegQIABAA&oq=12V+water+pump&gs_lcp=CgNpbWcQAzIFCAAQgAQyBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB4yBAGAEB46BAGjECC6BwgAEBMQgARQ3Q5YuB9givyJoAHAAeACAacYBiAHKCJIBBDEwLjGYAQcGgAQQtnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&scient=img&ei=67FjZJTJMPO1nsEPkpaivyAI&bih=1180&biw=2347&hl=el)

[41] <https://ergo-tel.gr/>

[42 - 60] *Εικόνες από το κινητό*