



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗ**

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΙΣΤΟΥ

**Μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας σε συστήματα τηλεματικής
Διπλωματική Εργασία**

Κωνσταντίνος Κουράκος

Αθήνα, 2018



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗ**

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΙΣΤΟΥ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Κωνσταντίνος Τσερπές

Γεώργιος Δημητρακόπουλος

Ανάργυρος Τσαδήμας

Ο Κωνσταντίνος Κουράκος

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Περίληψη στα Ελληνικά	Σελ. 5
	Περίληψη στα Αγγλικά	Σελ. 6
	Κατάλογος Εικόνων	Σελ. 7
	Κατάλογος Πινάκων	Σελ. 8
	Κατάλογος Σχημάτων	Σελ. 9
Κεφ. 1	Εισαγωγή	Σελ. 10
Κεφ. 1.1	Γενικά	Σελ. 10
Κεφ. 1.2	Σκοπός Εργασίας - Δομή	Σελ. 12
Κεφ. 2	Ερευνητική Δραστηριότητα – Σχετικές εργασίες	Σελ. 14
Κεφ. 3	Βασικές έννοιες	Σελ. 17
Κεφ. 3.1	Έξυπνο σπίτι	Σελ. 17
Κεφ. 3.2	Internet of Things	Σελ. 17
Κεφ. 3.3	Μοτίβα κατανάλωσης Ενέργειας	Σελ. 19
Κεφ. 4	Παρουσίαση κατασκευής	Σελ. 21
Κεφ. 4.1	Κατασκευή μακέτας	Σελ. 23
Κεφ. 4.2	Περιγραφή Υλικού (Hardware)	Σελ. 27
Κεφ. 4.2.1	Μικροελεγκτής	Σελ. 28
Κεφ. 4.2.2	Επέκταση Ethernet	Σελ. 31
Κεφ. 4.2.3	Διάταξη χρονισμού πραγματικού χρόνου	Σελ. 31
Κεφ. 4.2.4	Διάταξη ανίχνευσης καπνού – αερίου	Σελ. 33
Κεφ. 4.2.5	Διάταξη εξωτερικής θύρας	Σελ. 35
Κεφ. 4.2.6	Φωτισμός Οικίας	Σελ. 37
Κεφ. 4.2.7	Αισθητήρες Φωτεινότητας	Σελ. 38
Κεφ. 4.2.8	Αισθητήρες Θερμοκρασίας – Υγρασίας	Σελ. 44
Κεφ. 4.3	Περιγραφή Λογισμικού (Software)	Σελ. 50
Κεφ. 4.3.1	Περιγραφή Λογισμικού μικροελεγκτή	Σελ. 50
Κεφ. 4.3.2	Περιγραφή Web εφαρμογής	Σελ. 73
Κεφ. 5	Μελέτη μοτίβων κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος φωτισμού.	Σελ. 77
Κεφ. 5.1	Μελέτη περίπτωσης καταναλωτικής συμπεριφοράς 1.	Σελ. 79
Κεφ. 5.2	Μελέτη περίπτωσης καταναλωτικής συμπεριφοράς 2.	Σελ. 81
Κεφ. 5.3	Μελέτη περίπτωσης καταναλωτικής συμπεριφοράς 3.	Σελ. 83
Κεφ. 5.4	Μελέτη περίπτωσης καταναλωτικής συμπεριφοράς 4.	Σελ. 85
Κεφ. 6	Συμπεράσματα – προτάσεις	Σελ. 87
	Βιβλιογραφία	Σελ. 88

Περίληψη

Σε κάθε τομέα η κατανάλωση ενέργειας καθορίζεται από το επίπεδο δραστηριότητας τη διάρθρωση του τομέα και την ενεργειακή του απόδοση. Το μοντέλο χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μια κατοικία, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δραστηριότητα των κατοίκων και τη χρήση των ηλεκτρικών της συσκευών. Η παρούσα εργασία εστιάζει σε μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας που προέρχονται από το φωτισμό κατοικιών. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκε μία μακέτα που αντιπροσωπεύει μία σύγχρονη «έξυπνη» κατοικία εφοδιασμένη συστήματα οικιακού αυτοματισμού. Αναπτύχθηκαν τρία συστήματα ελέγχου καθένα από τα οποία ελέγχει ένα ξεχωριστό σύστημα της κατοικίας όπως, την αυτόματη λειτουργία εξωτερικής θύρας, σύστημα ανίχνευσης καπνού – αερίου, αυτόματο σύστημα εσωτερικού και εξωτερικού φωτισμού. Το σύστημα του οικιακού αυτοματισμού περιλαμβάνει και αισθητήρες για τη μέτρηση περιβαλλοντικών μεγεθών όπως: Θερμοκρασία, σχετική υγρασία, φωτεινότητα περιβάλλοντος. Όλα τα υποσυστήματα και οι αισθητήρες ελέγχονται και συντονίζονται από ένα μικροελεγκτή Arduino Mega 2560. Ο μικροελεγκτής μπορεί να συνδέεται στο διαδίκτυο, χάρη σε μία Ethernet επέκταση που διαθέτει. Επίσης έχει τη δυνατότητα να καταγράφει σε εξωτερική κάρτα μνήμης τις τιμές της θερμοκρασίας, υγρασίας, φωτεινότητας και την κατάσταση λειτουργίας των συσκευών και διατάξεων της κατοικίας κάθε δέκα δευτερόλεπτα. Ο μικροελεγκτής επικοινωνεί με μια web εφαρμογή χρησιμοποιώντας αρχιτεκτονική REST web service. Οι χρήστες μπορούν απομακρυσμένα να ελέγχουν κάθε υποσύστημα της κατοικίας και να πληροφορούνται για την κατάσταση λειτουργίας των συστημάτων. Προκειμένου να ανιχνευθούν και να μελετηθούν μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας, αναπτύχθηκε ένα εργαλείο στο πλαίσιο της web εφαρμογής με τη βοήθεια του οποίου καταγράφηκε και μελετήθηκε η ενεργειακή δραστηριότητα της κατοικίας όσον αφορά το σύστημα φωτισμού. Εφαρμόστηκαν διάφορες καταναλωτικές συμπεριφορές για χρονικό διάστημα επτά μηνών. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την ύπαρξη μοτίβων και δείχνουν ότι υπάρχουν δυνατότητες για περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας εφαρμόζοντας κατάλληλες ενεργειακές στρατηγικές.

Λέξεις κλειδιά: Μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας, Διαδίκτυο πραγμάτων, Arduino

Abstract

Energy consumption in a sector is determined by the activity level, sector structure and energy efficiency. The pattern of electricity use in an individual domestic dwelling is highly dependent upon the activities of the occupants and their associated use of electrical appliances. This project outlines energy consumption patterns comes from lighting. For this purpose a scale model house has been constructed that represents a modern smart home including some home automation control systems. There are a total of three control systems each of them controls appliances, like automatic opening and closing external door, smoke – gas detecting system, internal and external auto lighting with dimming features. The home automation system includes environmental sensors for measuring environmental temperature and relative humidity magnitudes. All subsystems and sensors are controlled and coordinated by an Arduino Mega microcontroller. The microcontroller can connect to internet thanks a compatible Ethernet shield extension. It also, records in a micro SD memory card the temperature, humidity values, lighting luminosity and the operation status of appliances every ten seconds. The microcontroller communicates with web application and vice versa, based on REST web services architecture. Users can control remotely every subsystem of home and informed about the operation status of home systems via a web application. In order to detect and study energy consumption patterns, a web based application utility has been developed. With this application, experiments were carried out applying various energy consumer behaviors for seven months period. The results confirm the existence of energy consumption patterns and shown that there are possibilities to reduce energy consumption, applying suitable energy strategies.

Keywords: Energy consumption pattern, IoT, Arduino

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

E1	Δομικό διάγραμμα κατασκευής	Σελ. 21
E2	Πρόσοψη μακέτας	Σελ. 22
E3	Πίσω όψη μακέτας	Σελ. 22
E4	Πλάγια όψη μακέτας 1	Σελ. 23
E5	Πλάγια όψη μακέτας 2	Σελ. 23
E6	Γενική άποψη μακέτας	Σελ. 23
E7	Άποψη εσωτερικού χώρου μακέτας	Σελ. 23
E8	Παρακολούθημα αισθητήρων	Σελ. 24
E9	Διάταξη αισθητήρων περιβάλλοντος	Σελ. 24
E10	Arduino Mega 2560	Σελ. 27
E11	Ethernet επέκταση	Σελ. 30
E12	RTC DS3231 module	Σελ. 31
E13	Αισθητήρας ανίχνευσης καπνού – αερίου MQ-2	Σελ. 33
E14	Αύλεια θύρα ανοικτή	Σελ. 34
E15	Αύλεια θύρα κλειστή	Σελ. 34
E16	Σερβοκινητήρας	Σελ. 34
E17	αισθητήρας υπερήχων HC SR04	Σελ. 35
E18	αισθητήρας θερμοκρασίας TMP 36	Σελ. 45
E19	αισθητήρας θερμοκρασίας LM35	Σελ. 46
E20	Αισθητήρας DS18B20	Σελ. 47
E21	DHT22 αισθητήρας θερμοκρασίας – υγρασίας	Σελ. 49
E22	Web App:Τμήμα παρακολούθησης και ρυθμίσεων οικίας: Πίνακας ελέγχου	Σελ. 73
E23	Web App: Τμήμα παρακολούθησης και ρυθμίσεων οικίας: Γραφική απεικόνιση θερμοκρασίας –φωτεινότητας	Σελ. 74
E24	Web App:Τμήμα παρακολούθησης και ρυθμίσεων οικίας: Ρυθμίσεις παραμέτρων	Σελ. 74
E25	Λήψη δεδομένων από το μικροελεγκτή	Σελ. 75
E26	Επιλογή δεδομένων για επεξεργασία και γραφική παράσταση	Σελ. 75

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Π1	πίνακας μετρήσεων αντίστασης για διάφορες τιμές φωτεινότητας	Σελ. 40
Π2	Σημασία των πεδίων της βασικής απάντησης στα αιτήματα του χρήστη σε μορφή JSON	Σελ. 66
Π3	Πρότυπα καταναλωτικών συμπεριφορών που εφαρμόστηκαν	Σελ. 77
Π4	Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας % 10-20/1/2018	Σελ. 79
Π5	Επίπεδα φωτεινότητας % 10-20/1/2018	Σελ. 79
Π6	Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας % 10-20/2/2018	Σελ. 81
Π7	Επίπεδα φωτεινότητας % 10-20/1/2018	Σελ. 81
Π8	Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας % 11-20/4/2018	Σελ. 83
Π9	Επίπεδα φωτεινότητας % 10-20/4/2018	Σελ. 83
Π10	Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας % 2-3/5/2018	Σελ. 85
Π11	Επίπεδα φωτεινότητας % 2-3/5/2018	Σελ. 85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σ1	Διάγραμμα PWM	Σελ. 29
Σ2	block διάγραμμα RTC DS3231	Σελ. 31
Σ3	Ηλεκτρονικό κύκλωμα διάταξης ανίχνευσης διαρροής καπνού – Αερίου	Σελ. 32
Σ4	Ηλεκτρονικό κύκλωμα της εξωτερικής θύρας	Σελ. 35
Σ5	Ηλεκτρονικό κύκλωμα φωτισμού οικίας	Σελ. 36
Σ6	Ηλεκτρονικό κύκλωμα φωτοαντιστάσεων	Σελ. 38
Σ7	Διάγραμμα φωτεινότητας / αντίστασης	Σελ. 41
Σ8	Διάγραμμα λογάριθμου φωτεινότητας σε σχέση με λογάριθμο αντίστασης	Σελ. 41
Σ9	Ηλεκτρονικό κύκλωμα αισθητήρων θερμοκρασίας-υγρασίας	Σελ. 45
Σ10	Απλή συνδεσμολογία LM35	Σελ. 47
Σ11	Ευρεία συνδεσμολογία LM35	Σελ. 47
Σ12	DS18B20 συνδεσμολογία normal power	Σελ. 48
Σ13	DS18B20 συνδεσμολογία parasite power	Σελ. 48
Σ14	Συνολική κατανάλωση ενέργειας & εσωτερική φωτεινότητα από 10 έως 20/1/2018	Σελ. 78
Σ15	Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας % 10-20/1/2018	Σελ.80
Σ16	Επίπεδα φωτεινότητας % 10-20/1/2018	Σελ.80
Σ17	Κατανάλωση και φωτεινότητα από 10/02/2018 έως 20/02/2018	Σελ. 81
Σ18	Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας % 10-20/2/2018	Σελ.82
Σ19	Επίπεδα φωτεινότητας % 10-20/2/2018	Σελ. 82
Σ20	Κατανάλωση και φωτεινότητα από 10/04/2018 έως 20/04/2018	Σελ. 83
Σ21	Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας % 10-20/4/2018	Σελ. 83
Σ22	Επίπεδα φωτεινότητας % 10-20/3/2018	Σελ. 83
Σ23	Κατανάλωση και φωτεινότητα 02/05/2018 και 03/05/2018	Σελ. 84
Σ24	Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας % 2-3/5/2018	Σελ. 85
Σ25	Επίπεδα φωτεινότητας % 2-3/5/2018	Σελ. 85

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Πολύ μεγάλο μέρος της ανθρώπινης δραστηριότητας εξαρτάται από την ενέργεια που αποτελεί καθοριστικό παράγοντα κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης. Από τη μια οι προσπάθειες σε διεθνή κλίμακα των επιχειρήσεων και των βιομηχανιών, για αύξηση της παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών, συνεπάγονται μια ολοένα μεγαλύτερη ζήτηση για ενέργεια. Από την άλλη παρατηρείται διαρκής αυξητική τάση συσσώρευσης πληθυσμού σε μεγάλα αστικά κέντρα, ο οποίος «αποκτά» συνήθειες σπάταλου καταναλωτή που εξυπηρετείται από ενεργοβόρες εγκαταστάσεις υποδομών. Επιπρόσθετα, η αύξηση του βιοτικού επιπέδου, είναι στενά συνδεδεμένη με αύξηση κατανάλωσης ενέργειας. Ως άμεση συνέπεια της αυξανόμενης ζήτησης για ενέργεια είναι να ασκούνται πιέσεις για περισσότερη παραγωγή. Οι επιπτώσεις από την αύξηση παραγωγής ενέργειας εστιάζονται κατά κύριο λόγο σε δύο πεδία: Στο οικονομικό πεδίο, υπό τη μορφή αύξησης επενδύσεων – δαπανών ιδιαίτερα κοστοβόρων, και στο περιβάλλον, αφού η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την πρόσβαση σε φυσικούς πόρους, αλλά και στην ικανότητα του περιβάλλοντος να απορροφά απόβλητα. Τα τελευταία χρόνια οι καταστροφικές συνέπειες από φαινόμενα όπως αυτό του θερμοκηπίου ή της κλιματικής αλλαγής λαμβάνουν ολοένα και μεγαλύτερες διαστάσεις καταστρέφοντας ζωές και περιουσίες, δυσκολεύοντας την επιβίωση, ρίχνοντας δραματικά τα επίπεδα ποιότητας ζωής. Ιδιαίτερα, όσον αφορά την κλιματική αλλαγή, η αντιμετώπιση ακραίων θερμοκρασιών που παρατηρούνται κατά περιόδους σε διάφορες περιοχές, απαιτούν ακόμα περισσότερη δαπάνη ενέργειας. Είναι λοιπόν φανερό ότι οδηγούμαστε νομοτελειακά σε ένα φαύλο κύκλο ενεργειακής παραγωγής και κατανάλωσης με πολύ δυσοίωνες προοπτικές.

Στην Ευρώπη, το υφιστάμενο βιοτικό επίπεδο επιβάλλει σημαντική κατανάλωση ενεργειακών πόρων. Οι Ευρωπαίοι χρειάζονται ασφαλείς, βιώσιμες και οικονομικά προσιτές πηγές ενέργειας. Ο τρόπος ζωής καθιστά την ενέργεια ζωτικής σημασίας για τις αναγκαίες καθημερινές δραστηριότητες και χωρίς αυτήν δεν μπορούν να λειτουργήσουν οι άνθρωποι εμείς και οι επιχειρήσεις τους. Χρειάζεται ενέργεια για τον φωτισμό, τη θέρμανση, τις μεταφορές και τη βιομηχανική παραγωγή. Εκτός από τις βασικές ανάγκες, χρειάζεται ενέργεια και για τα πλυντήρια, τους υπολογιστές, τις τηλεοράσεις και άλλα προϊόντα που, πλέον, χρησιμοποιούμε χωρίς να το σκεφτόμαστε. Ωστόσο, η εξασφάλιση της απαιτούμενης ενέργειας, σε προσιτή τιμή,

τόσο τώρα όσο και στο μέλλον, δεν είναι τόσο εύκολη. Τα κυριότερα προβλήματα είναι τα ακόλουθα: Πρώτον, πολύ υψηλή κατακεφαλήν κατανάλωση ενέργειας. Οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) καταναλώνουν το ένα πέμπτο (20%) της παγκόσμιας ενέργειας [1], διαθέτει όμως (σχετικά με τα μεγέθη της κατανάλωσής της) φτωχά ίδια αποθέματα. Αυτό όμως έχει ένα τεράστιο αντίκτυπο στις οικονομίες των χωρών – μελών. Η ΕΕ είναι ο μεγαλύτερος εισαγωγέας ενέργειας στον κόσμο με ποσοστό 53% και ετήσιο κόστος τετρακόσια (400) δισεκατομμύρια ευρώ. Πολλές από τις χώρες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από περιορισμένο αριθμό προμηθευτών πράγμα που τις καθιστά ευάλωτες σε εφοδιαστικές διαταραχές και ενεργειακές κρίσεις. Δεύτερον, η ΕΕ δεν διαθέτει μια πανευρωπαϊκή υποδομή. Πολλά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και αγωγοί φυσικού αερίου έχουν κατασκευαστεί για εθνικούς σκοπούς και δεν διαθέτουν ικανοποιητική διασυννοριακή σύνδεση. Η ενέργεια θα πρέπει να μπορεί να διοχετεύεται απρόσκοπτα μέσω των δικτύων που διατρέχουν την Ευρώπη. Συχνά, πρέπει να μεταφέρεται μέσω ωκεανών ή υποθαλάσσια, στο μέρος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Αυτό απαιτεί ένα δίκτυο εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα μπορούν να παράγουν αδιάκοπα ηλεκτρική ενέργεια για πολλές δεκαετίες. Για τον σκοπό αυτό απαιτούνται τεράστιοι τεχνολογικοί, εφοδιαστικοί και οικονομικοί πόροι. Όμως, η έλλειψη πρόσβασης σε μια πανευρωπαϊκή αγορά αποτρέπει τους επενδυτές να επενδύσουν σε ενεργειακές υποδομές. Αυτό έχει ως συνέπεια να καθυστερούν οι επενδύσεις σε νέες εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας για να αντικατασταθούν οι παλιές και ξεπερασμένες.

Τον Φεβρουάριο του 2015 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κατάρτισε την ενεργειακή της στρατηγική, με σκοπό να εξασφαλιστεί η ικανότητα της ΕΕ να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις. Η στρατηγική επικεντρώνεται σε πέντε βασικούς τομείς: διασφάλιση του εφοδιασμού, επέκταση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας, αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, μείωση των εκπομπών, έρευνα και καινοτομία. Από το 2006 Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκδώσει σχετική οδηγία [2] που ενθαρρύνει την ανάπτυξη ψηφιακών συστημάτων ελέγχου. Προς αυτή την κατεύθυνση με παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια προσέγγισης του θέματος προσδιορισμού ενεργειακής συμπεριφοράς συστημάτων μιας έξυπνης κατοικίας χρησιμοποιώντας το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things IoT) ως πλατφόρμα επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης χρηστών και συσκευών.

1.2 Σκοπός Εργασίας - Δομή

Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και μεγιστοποίηση της απόδοσης οδηγεί αρχικά στην ανάγκη εξεύρεσης μοτίβων κατανάλωσης ενέργειας. Σε επόμενο στάδιο η μελέτη, ανάλυση και αξιολόγηση των μοτίβων αυτών μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα, σχετικά με την συμπεριφορά σε όρους κατανάλωσης ενέργειας, τόσο από πλευράς κτιρίων όσο και από πλευράς ανθρώπων. Τα συμπεράσματα αυτά μπορούν με τη σειρά τους να αποτελέσουν βάση για ερμηνεία της ενεργειακής συμπεριφοράς και να οδηγήσουν σε προτάσεις και λύσεις για εξοικονόμηση ενέργειας με παράλληλη διατήρηση ή αύξηση απόδοσης.

Οι έννοιες της «έξυπνης κατοικίας» (smart home) και του «διαδικτύου των πραγμάτων» (Internet of Things, IoT) αποτελούν δομικά συστατικά στοιχεία της εργασίας. Αυτό γιατί η αναζήτηση μοτίβων κατανάλωσης ενέργειας, γίνεται μέσα στα πλαίσια της έξυπνης κατοικίας αφού σ' αυτό το περιβάλλον υπάρχουν ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems) που μας παρέχουν τις δυνατότητες μέτρησης και παρακολούθησης-καταγραφής των μεγεθών που επιθυμούμε να μελετήσουμε. Είναι όμως γνωστό, ότι τα ενσωματωμένα συστήματα έχουν περιορισμένους πόρους όπως μνήμη, υπολογιστική ισχύ κλπ και δεν ενδείκνυνται για αποθήκευση δεδομένων, ιδιαίτερα δε αν αυτά είναι μεγάλου μεγέθους. Επίσης λόγω των περιορισμένων πόρων τους δεν μπορεί να γίνει ικανοποιητική ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων. Έτσι είναι αναγκαία η επικοινωνία σε μεγαλύτερα υπολογιστικά συστήματα που έχουν τέτοιες δυνατότητες. Η επικοινωνία αυτή εξασφαλίζεται χάρη στις δυνατότητες που προσφέρει το Internet of Things (IoT), ως φορέας, που αναλαμβάνει να αποκαταστήσει την αμφίδρομη επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα σε απομακρυσμένα ενσωματωμένα συστήματα μιας έξυπνης κατοικίας με υπολογιστικά κέντρα, εφαρμογές λογισμικού επεξεργασίας δεδομένων, συστήματα βάσεων δεδομένων, ανθρώπους κλπ.

Στην παρούσα εργασία η έξυπνη κατοικία αντιπροσωπεύεται από την κατασκευή μίας μακέτας, που αναπαριστά υπό κλίμακα ένα κτίριο με αύλειο χώρο γύρω του και παρακολούθημα στο οποίο είναι εγκατεστημένοι αισθητήρες περιβάλλοντος. Στο κτίριο είναι εγκατεστημένοι αυτοματισμοί για έλεγχο φωτισμού, έλεγχο αύλειας θύρας, έλεγχος διαρροής αερίου και αισθητήρες συνθηκών περιβάλλοντος όπως θερμοκρασίας, υγρασίας, έντασης φωτεινότητας, ανίχνευσης καπνού – αερίου. Όλα αυτά είναι συνδεδεμένα με ένα μικροελεγκτή Arduino που είναι εφοδιασμένος με μία Ethernet επέκταση (Ethernet shield) και είναι εγκατεστημένος εντός του κτιρίου. Ο μικροελεγκτής καταγράφει σε κάρτα μνήμης τα στοιχεία που συλλέγει από τους

αισθητήρες του κτιρίου, ελέγχει και συντονίζει τη λειτουργία των οικιακών αυτοματισμών σύμφωνα με το πρόγραμμα με το οποίο είναι εφοδιασμένος, ενώ παράλληλα επικοινωνεί, χάρη στην Ethernet επέκταση που διαθέτει, με απομακρυσμένο υπολογιστικό κέντρο που αντιπροσωπεύεται από μια web εφαρμογή και παίζει το ρόλο του IoT platform.

Η επικοινωνία της web εφαρμογής με το μικροελεγκτή γίνεται μέσω του HTTP πρωτοκόλλου, με απλά REST web services. Η αποστολή αιτημάτων υλοποιείται με HTTP αιτήματα (HTTP requests) ενώ η λήψη απάντησης (response) υλοποιείται με επιστροφή σε JSON μορφή. Όλος ο έλεγχος λειτουργίας των αυτοματισμών της κατοικίας γίνεται αποκλειστικά απομακρυσμένα μέσω της web εφαρμογής. Η web εφαρμογή επίσης συνδέεται με σχεσιακή βάση δεδομένων MySQL όπου καταγράφονται ημερομηνία-ώρα, τιμές των αισθητήρων, κατάσταση των συσκευών της οικίας, τρέχουσα ενέργεια που καταναλώνεται. Ακόμα παρέχει ένα εργαλείο επεξεργασίας δεδομένων όπου παρουσιάζονται γραφικά οι τιμές που έχουν καταγραφεί με διάφορες ομαδοποιήσεις και μας βοηθά στην ανεύρεση και κατανόηση πιθανών μοτίβων κατανάλωσης ενέργειας. Για την εκπόνηση της εργασίας αυτής ο μικροελεγκτής λειτούργησε για επτά (7) μήνες, από τον Οκτώβριο του 2017 έως και το Μάιο του 2018 σε εικοσιτετράωρη βάση. Μέσα σ' αυτό το χρονικό διάστημα, κατά περιόδους εφαρμόζονταν διαφορετικές «καταναλωτικές συμπεριφορές» με σκοπό να καταστεί δυνατή η σύγκριση και αξιολόγηση διαφορετικών μοτίβων κατανάλωσης ενέργειας. Δόθηκε έμφαση στην ανίχνευση και μελέτη μοτίβων κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος φωτισμού.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ερευνητική δραστηριότητα παρουσιάζοντας συνοπτικά σχετικές εργασίες που έχουν εκπονηθεί και βασίζονται σε μεθοδολογία που χρησιμοποιεί μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας. Στο 3^ο κεφάλαιο αναπτύσσονται με συντομία έννοιες που αφορούν την «έξυπνη κατοικία», Το Internet Of Things» και την έννοια του «μοτίβου» κατανάλωσης ενέργειας. Στο 4^ο κεφάλαιο εξηγείται η υλοποίηση της κατασκευής τόσο από την πλευρά του υλικού όσο και από την πλευρά του λογισμικού. Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων για τα μοτίβα που ανιχνεύθηκαν.

2. Ερευνητική Δραστηριότητα – Σχετικές εργασίες

Η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας τόσο στον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα όσο και στα νοικοκυριά σε συνδυασμό με την απαίτηση για εξοικονόμηση ενέργειας, μείωση του κόστους και προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί μια πρόκληση για την ερευνητική κοινότητα. Η προοπτική βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων καθώς και μια ορθολογικότερη κατανομή ενέργειας ώθησε ερευνητές στην ανακάλυψη και μελέτη μοτίβων κατανάλωσης ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια έχει δημοσιευτεί ένα πλήθος εργασιών και πολλές μελέτες έχουν εκπονηθεί κυρίως πάνω στην πρόβλεψη κατανάλωσης. Στο υπόλοιπό του κεφαλαίου αναφέρονται ενδεικτικά με μία συνοπτική περιγραφή κάποιες από αυτές.

Στην εργασία «Facility Power Usage Modeling and Short Term Prediction with Artificial Neural Networks»[3] οι Sunny Wan, Xiao-Hua Yu, του πολυτεχνείου της Καλιφόρνια, ασχολούνται με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατοικιών ή εμπορικών κτιρίων. Οι ερευνητές προτείνουν ένα μοντέλο πρόβλεψης κατανάλωσης ενέργειας με χρήση νευρωνικών δικτύων, που βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα μεγεθών όπως: Θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου κλπ. Μελετούν διάφορες διαμορφώσεις του νευρωνικού δικτύου, ενώ για την εκπαίδευσή του χρησιμοποιούν δεδομένα από πρόγραμμα προσομοίωσης. Η εργασία αφορά βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη πιθανής κατανάλωσης ενέργειας σε κτίρια του πολυτεχνείου της Καλιφόρνια, όπου και υλοποιήθηκε.

Στο ίδιο πεδίο πρόβλεψης κατανάλωσης ενέργειας οι J. L. Rojas-Rentería, R. Luna-Rubio, J. L. González-Pérez, C. A. González-Gutiérrez, A. Rojas-Molina, και G. Macías-Bobadilla στην εργασία τους «Estimated electric power consumption by means of artificial neural networks and autoregressive models with exogenous input methods»[4] περιγράφουν την ανάπτυξη ενός συστήματος που βασίζεται σε νευρωνικό δίκτυο και επιτρέπει την εκτίμηση – πρόβλεψη κατανάλωσης ενέργειας τους επόμενους μήνες, συμβάλλοντας σε μία καλύτερη στρατηγική διαχείρισης της κατανομής ενέργειας. Το διάστημα εμπιστοσύνης του μοντέλου προσδιορίστηκε σε 95%. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι του νευρωνικού δικτύου είναι: Θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ηλεκτρική ισχύς που καταναλώθηκε και χρόνος (ημέρα – ώρα). Χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Levenberg – Marquardt.

Οι Eugénia Vinagre, Juan F. De Paz, Tiago Pinto, Zita Vale, Juan M. Corchado, Oscar Garcia στην εργασία τους : «Intelligent Energy Forecasting based on the Correlation between Solar Radiation

and Consumption patterns»[5] εστιάζουν στη μελέτη πρόβλεψης κατανάλωσης ενέργειας κτιρίων στο πανεπιστήμιο του Πόρτο στην Πορτογαλία, αναλύοντας συσχετίσεις ανάμεσα σε κατανάλωση και εξωτερικούς μεταβλητούς παράγοντες για παράδειγμα (αριθμός καταναλωτών στο κτίριο, φωτεινότητα περιβάλλοντος, θερμοκρασία περιβάλλοντος κλπ). Εγκατέστησαν σύστημα με καταγραφής κατανάλωσης ενέργειας δέκα δευτερόλεπτα και συγκέντρωσαν το σύνολο των δεδομένων πάνω στο οποίο εργάστηκαν. Στη συνέχεια ανέπτυξαν και εκπαιδύσαν νευρωνικό δίκτυο όπου το τροφοδότησαν με δεδομένα των τεσσάρων τελευταίων ωρών και την τρέχουσα ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για να προβλέψουν την κατανάλωση της επόμενης ώρας, και να ανακαλύψουν τη σχέση μεταξύ ηλιακής ακτινοβολίας και κατανάλωσης ενέργειας. Παράλληλα επεχείρησαν πρόβλεψη εφαρμόζοντας μεθόδους μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης και μοντέλων support vector regression.

Οι V.L. Abeykoon, K. D. Nishadi, R. G. A. Senevirathna, R.G.A P.S. Ranaveera, M.R. Udawalpola του πανεπιστημίου Ruhuna της Σρι Λάνκα, στην εργασία τους «Electricity Consumption Pattern Detection» [6], Ανέπτυξαν συσκευή συλλογής δεδομένων προκειμένου να συλλέξουν δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας από συσκευές μίας οικίας και να τα μεταδώσουν σε μια κεντρική βάση δεδομένων. Στη συνέχεια τα δεδομένα αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας νευρωνικά δίκτυα, μηχανές support vector καθώς επίσης K-Means, Mean-Shift και Silhouette classifiers, προκειμένου να επιλέξουν τη μέθοδο με την καλύτερη απόδοση. Αναλύοντας το δεδομένα, οι διάφορες οικιακές συσκευές κατηγοριοποιήθηκαν ως προς την κατανάλωσή τους και ανιχνεύθηκαν τα μοτίβα ενεργειακής κατανάλωσής τους, βοηθώντας την καλύτερη κατανόηση του τρόπου που καταναλώνεται η ηλεκτρική ενέργεια από κάθε οικιακή συσκευή.

Στην εργασία «Power Consumption Pattern Analysis of Home Appliances for DC-based Green Smart Home» των Gab-Su Seo, Jongbok Baek, Chul Woo Bak, Hyunsu Bae, Bohyung Cho, [7] του πανεπιστημίου της Σεούλ, αναζητήθηκαν τα μοτίβα κατανάλωσης ηλεκτρικού φορτίου συμβατικών οικιακών συσκευών εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) προκειμένου να τις αντικαταστήσουν με συσκευές συνεχούς ρεύματος (DC) που είναι καλύτερης απόδοσης και χαμηλότερης κατανάλωσης. Από την καταγραφή των δεδομένων κατανάλωσης, κατέταξαν τις συσκευές σε τρεις γενικές κατηγορίες: Μηχανικού, θερμικού, και ηλεκτρικού φορτίου. Η κατηγοριοποίηση έγινε με βάση τα στατιστικά στοιχεία των συσκευών. Ως εργαλείο ανάλυσης και μελέτης των μοτίβων φορτίου χρησιμοποιήθηκε το Matlab – Simulink. Η μελέτη τους εστιάζει

στις επιπτώσεις μετάβασης από AC συσκευές σε DC όσον αφορά την κατανάλωση και την απόδοση.

3. Βασικές έννοιες

3.1 Έξυπνο σπίτι

Στις μέρες μας, οι τεχνολογικές εξελίξεις στους τομείς των επικοινωνιών, της πληροφορικής και των ηλεκτρονικών αυτοματισμών μας παρέχουν πολλά «εργαλεία» και μεθόδους για την παρακολούθηση, καταγραφή διαφόρων μεγεθών και έλεγχο λειτουργιών και συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα: Η μεγάλη διάδοση των «έξυπνων συσκευών» (smart devices) καθώς και η συνεχώς αυξανόμενη τάση για αυτοματοποίηση των λειτουργιών διάφορων χώρων για παράδειγμα οικίες, εργασιακοί χώροι, οδικά δίκτυα έδωσαν μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη αυτού που σήμερα λέγεται «έξυπνη κατοικία», «έξυπνη πόλη», «έξυπνο δίκτυο» κλπ.

Η λέξη «έξυπνο» χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει κάθε τομέα που ενσωματώνει σε κάποιο βαθμό τη δυνατότητα ρύθμισης ορισμένων παραμέτρων και τη δυνατότητα λήψης αποφάσεων, δίνοντας την εντύπωση ύπαρξης μιας στοιχειώδους ευφυΐας. Στον τομέα της έξυπνης κατοικίας τέτοιες παράμετροι θα μπορούσαν να σχετίζονται με την εν γένει διαχείριση του οικιακού περιβάλλοντος όπως: την ενεργοποίηση και τον έλεγχο φωτισμού, με ρύθμιση θερμοκρασίας χώρου, με ενεργοποίηση και απενεργοποίηση οικιακών συσκευών σε προκαθορισμένους χρόνους ή συμβάντα, με ενημερώσεις και δράσεις από συστήματα ασφαλείας. Στον τομέα ενός οδικού δικτύου θα μπορούσαν να είναι οι ρυθμίσεις φωτεινών σηματοδοτών, οι ενημερώσεις σχετικά με την κατάσταση του οδικού δικτύου από πλευράς οδικής κίνησης κλπ. Αυτές οι λειτουργίες υλοποιούνται μέσα από μία σειρά διατάξεων αισθητήρων, που «αντιλαμβάνονται» φυσικά μεγέθη και τα μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα κυρίως που τροφοδοτούν ηλεκτρονικά ή ηλεκτρομηχανικά συστήματα τα οποία διαχειρίζονται τις πληροφορίες που λαμβάνουν από τους αισθητήρες με τη βοήθεια ενός ή και περισσότερων μικροελεγκτών που αναλαμβάνουν να συντονίσουν τα διάφορα υποσυστήματα. Επίσης διατάξεις που παρέχουν δυνατότητες απομακρυσμένου ελέγχου αποτελούν πλέον καθημερινή πραγματικότητα σε κάθε μορφής έξυπνο σύστημα.

Είναι προφανές, ότι προκειμένου να επιτευχθούν αυτόματες λειτουργίες που να ικανοποιούν τις επιθυμίες του ιδιοκτήτη, μιας έξυπνης κατοικίας για παράδειγμα, θα πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος επικοινωνίας μεταξύ των αισθητήρων και των άλλων υποσυστημάτων που διαθέτει, επιτρέποντας την ανταλλαγή πληροφοριών τόσο μεταξύ υποσυστημάτων όσο και μεταξύ

ανθρώπου και συσκευών.[8] Παρότι έχουν γίνει στο παρελθόν πολλές προσπάθειες για διασύνδεση συσκευών, η καθολική αποδοχή του παγκόσμιου ιστού στις μέρες μας, τον έχει καταστήσει μεταξύ άλλων και πρότυπο επικοινωνίας συσκευών στο πλαίσιο του «διαδικτύου των πραγμάτων» (Internet of Things IoT).

3.2 Internet of Things

Αντιπροσωπεύει την έννοια σύνδεσης κάθε συσκευής με άλλες συσκευές μέσω διαδικτύου. Το IoT είναι ένα γιγάντιο δίκτυο διασυνδεδεμένων «πραγμάτων» και ανθρώπων που όλοι συλλέγουν αλλά και μοιράζουν δεδομένα σχετικά με τον τρόπο χρήσης διάφορων συσκευών αλλά και σχετικά με το περιβάλλον που βρίσκονται. [9] Η φράση Internet of Things αναφέρθηκε για πρώτη φορά από τον Kevin Ashton κατά τη διάρκεια μίας παρουσίασης που πραγματοποίησε στα τέλη της δεκαετίας του 1990.

Το 2017 οι διασυνδεδεμένες συσκευές αριθμούσαν τα 8,1 δισεκατομμύρια 31% περισσότερο από το 2016 και προβλέπεται να φθάσει τα 20,4 δισεκατομμύρια ως το 2020, σύμφωνα με την αμερικάνικη εταιρεία έρευνας και συμβουλευτικής Gartner Inc.[10] Αυτές οι συσκευές συνιστούν αντικείμενα όλων των σχημάτων και μεγεθών από μικροσυσκευές που φοριούνται από ανθρώπους (wearable devices) και δίνουν πληροφορίες σχετικά με μεγέθη όπως καρδιακοί παλμοί, αριθμός βημάτων που κάποιος κάνει την ημέρα, μέχρι αυτό-οδηγούμενα (self-driving) οχήματα των οποίων πολύπλοκοι αισθητήρες ανιχνεύουν αντικείμενα στο δρόμο τους. Πως λειτουργούν όμως όλα αυτά;

Οι διάφορες συσκευές και αντικείμενα με ενσωματωμένους αισθητήρες και κάποιας μορφής διατάξεις επικοινωνίας συνδέονται με μία IoT πλατφόρμα, που ενσωματώνει δεδομένα από τις συσκευές που συνδέονται σ' αυτήν. Στη συνέχεια αφού αναλύσει αυτά τα δεδομένα, εξάγει χρήσιμες πληροφορίες τις οποίες, είτε διαμοιράζει σε εφαρμογές που δημιουργήθηκαν για αντιμετώπιση συγκεκριμένων αναγκών, είτε αποστέλλει συγκεκριμένες εντολές λειτουργίας σε συσκευές στο πλαίσιο ενός σύγχρονου, αυτοματοποιημένου, ευφυούς συστήματος.

Σε γενικές γραμμές ως πλατφόρμα ορίζεται υλικό και λογισμικό το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει λειτουργικό περιβάλλον, αποθήκευση, υπολογιστική ισχύ, ασφάλεια, εργαλεία ανάπτυξης και

ένα πλήθος λειτουργικών εργαλείων γενικής χρήσης (utilities). Οι πλατφόρμες είναι χρήσιμες γιατί παρέχουν ένα «αφαιρετικό» περιβάλλον που επιτρέπει τη συγκέντρωση στον αντικειμενικό σκοπό των εφαρμογών που τρέχουν πάνω σ' αυτές αποκρύπτοντας τεχνικές, κατά κύριο λόγο, λεπτομέρειες που προσθέτουν πολυπλοκότητα.

Στον κόσμο του IoT έχουν αναπτυχθεί ειδικού σκοπού πλατφόρμες που στοχεύουν στην παρακολούθηση, διαχείριση και έλεγχο των διασυνδεδεμένων σ' αυτές συσκευών. Οι IoT πλατφόρμες πρέπει απαραίτητως να είναι σε θέση να διαχειριστούν τυχόν προβλήματα συνδεσιμότητας με συσκευές, να αντιμετωπίσουν ζητήματα εξαγωγής δεδομένων από ένα δυνητικά πολύ μεγάλο αριθμό τελικών σημείων, τα οποία μπορεί να βρίσκονται σε δυσπρόσιτες τοποθεσίες με χαμηλής ποιότητας συνδεσιμότητα.

3.3 Μοτίβα κατανάλωσης Ενέργειας

Ως «μοτίβο κατανάλωσης ενέργειας» θα μπορούσε να οριστεί, ο τρόπος και η συνολική χρήση – κατανάλωση ενέργειας σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα από μία μονάδα. [11] Η μονάδα αυτή μπορεί να είναι από μία συσκευή, μια οικία, μια βιομηχανική μονάδα έως μία χώρα ή μια ολόκληρη ήπειρο. Ένα μοτίβο μας δείχνει πως κυμαίνεται ένα μέγεθος κατά τη διάρκεια του χρόνου και στην προκειμένη περίπτωση πώς κυμαίνεται η κατανάλωση ενέργειας μιας μονάδας στη διάρκεια του χρόνου.

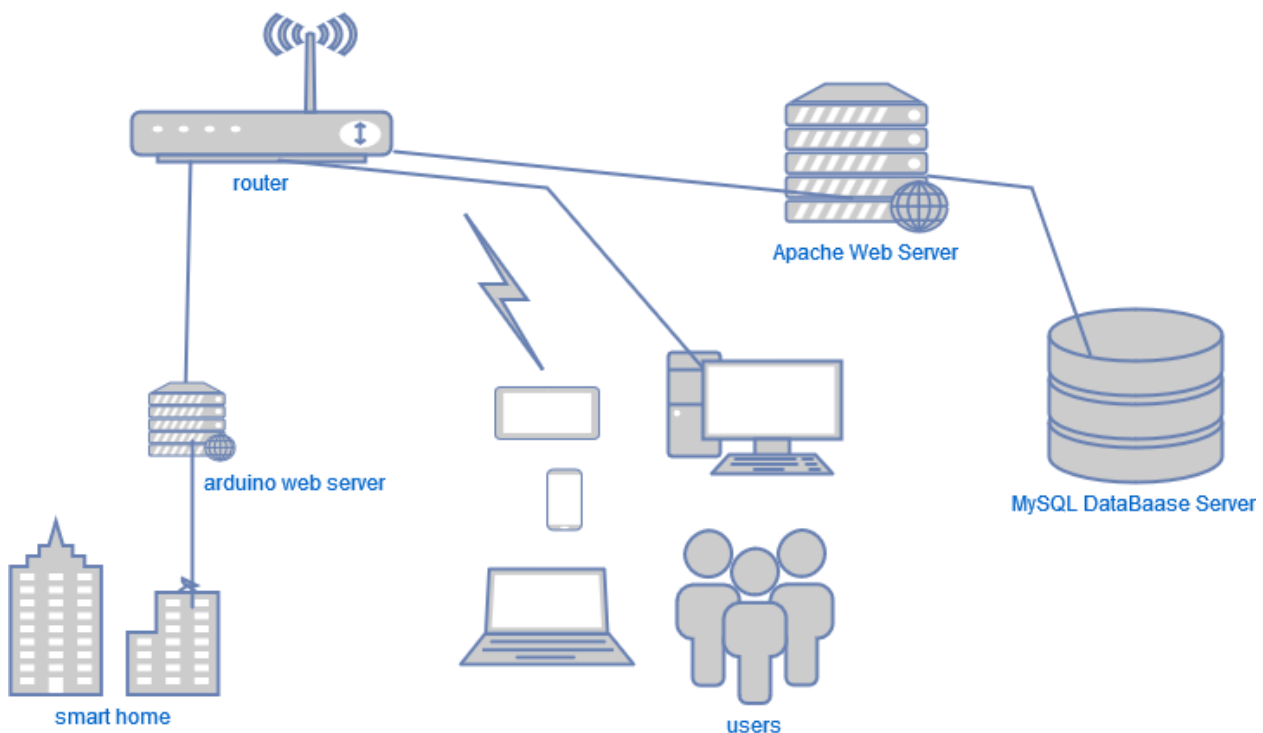
Βασικό χαρακτηριστικό της έννοιας του μοτίβου είναι αυτό της περιοδικής επανάληψης. Για να γίνεται αναφορά σε μοτίβο θα πρέπει περιοδικά στο χρόνο να εμφανίζονται παρόμοιες «συμπεριφορές» κατανάλωσης ενέργειας. Για παράδειγμα, σε ένα εργασιακό χώρο όπως ένα εργαστήριο ή ένα γραφείο κατά τις εργάσιμες ώρες καταγράφεται αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Επίσης η κατανάλωση κατά τις εργάσιμες ημέρες τις εβδομάδας είναι παρεμφερής, ενώ κατά τις αργίες Σαββατοκύριακα κλπ παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς την κατανάλωση ενέργειας, οπότε σε αυτήν την περίπτωση μιλάμε για αλλαγή του μοτίβου. Παρόμοια σε οικίες παρατηρείται αύξηση της κατανάλωσης κατά τα χρονικά διαστήματα όπου οι κάτοικοι βρίσκονται εντός τους.

Οι παράγοντες που συμβάλουν στη διαμόρφωση ενός μοτίβου είναι πολυάριθμοι και ποικίλουν ανάλογα με το είδος της μονάδας της οποίας η κατανάλωση πρόκειται να μελετηθεί. Ενδεικτικά, οι περιβαλλοντικές συνθήκες όπως θερμοκρασία, υγρασία, φωτεινότητα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση ενός γενικού μοτίβου. Άλλοι παράγοντες σχετίζονται με την ποιότητα σε όρους κατανάλωσης και απόδοσης, των διαφόρων μηχανημάτων συσκευών ή χώρων που χρησιμοποιούνται. Στον εργασιακό τομέα κυρίως, η ανάγκη για μεγαλύτερη παραγωγή είναι ανάλογη με την αύξηση κατανάλωση ενέργειας.

Στην περίπτωση οικιακών καταναλωτών, σημαντική βαρύτητα στη διαμόρφωση του μοτίβου έχουν οι συνήθειες των κατοίκων. Ο όρος συνήθειες σχετίζεται άμεσα με τις δραστηριότητες που αφορούν στη χρήση θερμότητας (όπως θέρμανση, μαγείρεμα, ζεστό νερό), φωτισμού, ψύξης (όπως λειτουργία ηλεκτρικών ψυγείων και κλιματισμού χώρων), διασκέδασης (όπως ραδιόφωνο, τηλεόραση κλπ), καθώς και κάθε άλλη δραστηριότητα της οποίας η πραγματοποίηση απαιτεί κατανάλωση ενέργειας. Όλα αυτά μαζί καθορίζουν την «ενεργειακή συμπεριφορά» ή όπως λέγεται στη γλώσσα των μηχανικών συγκροτούν το ενεργειακό αποτύπωμα των οικιακών καταναλωτών.

4. Παρουσίαση κατασκευής

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται λεπτομερώς η κατασκευή που αντιπροσωπεύει την έξυπνη κατοικία, κατοικία καθώς και τα υποσυστήματα που διαθέτει Στην Εικόνα(E1) απεικονίζεται δομικό διάγραμμα της κατασκευής:



Εικόνα (Ε1) Δομικό διάγραμμα κατασκευής

Ο μικροελεγκτής της έξυπνης κατοικίας (smart home), που στην περίπτωση της εργασίας είναι ένα Arduino Mega, και ελέγχει τα υποσυστήματα και τους αυτοματισμούς της κατοικίας, είναι εφοδιασμένος με μία επέκταση Ethernet που του επιτρέπει τη σύνδεση σε δίκτυο και την υλοποίηση ενός web server (arduino web server) για την διαχείριση αιτημάτων και την εν γένει επικοινωνία με άλλα στοιχεία του δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένο. Η δρομολόγηση του δικτύου γίνεται με τη βοήθεια ενός wi-fi router όπου συνδέει το μικροελεγκτή με ένα web server Apache 2.4 (Apache Web Server). Ο τελευταίος επικοινωνεί με σχεσιακή βάση δεδομένων (MySQL DataBase Server) όπου καταγράφονται τα δεδομένα που συλλέγονται από το μικροελεγκτή. Ο Apache Web Server φιλοξενεί μία web εφαρμογή μέσω της οποίας οι χρήστες μπορούν να ελέγχουν απομακρυσμένα τα διάφορα συστήματα της κατοικίας (άνοιγμα – κλείσιμο θύρας, έλεγχο φωτισμού), να παρακολουθούν την κατάσταση των συσκευών και μεγέθη όπως θερμοκρασία, υγρασία, κατανάλωση , επίπεδα αερίου – καπνού. Επίσης μπορούν να διαμορφώσουν τη «συμπεριφορά» των συσκευών λαμβάνοντας υπόψη είτε χαρακτηριστικά του

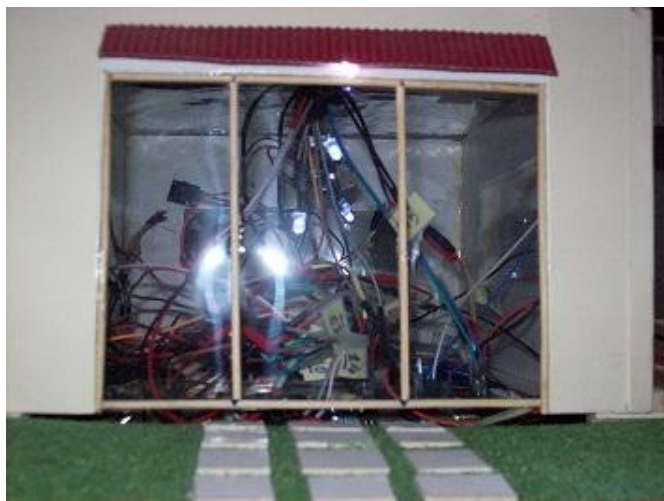
περιβάλλοντος, για παράδειγμα να ανάβουν τα φώτα όταν σκοτεινιάζει , να σβήνουν όταν υπάρχει φως ακόμα και να καθορίζουν τα αποδεκτά επίπεδα φωτεινότητας, είτε σύμφωνα με επιθυμίες του όπως για παράδειγμα η θύρα όπου μπορεί να επιλεγεί να ανοιγοκλείνει αυτόματα όταν ανιχνευθεί φυσική παρουσία σε μια καθορισμένη περιοχή. Οι χρήστες μπορούν να συνδεθούν χρησιμοποιώντας PC, laptop, tablet, smart phone και γενικά με κάθε συσκευή η οποία μπορεί να έχει πρόσβαση στον παγκόσμιο ιστό. Για τη μόνιμη αποθήκευση των δεδομένων του συστήματος κατοικίας, ο μικροελεγκτής είναι εφοδιασμένος με κάρτα μνήμης μεγέθους 8GB, τύπου microSD όπου αποθηκεύονται τόσο τα δεδομένα που καταγράφονται κατά τη διάρκεια λειτουργίας (περιοδικά κάθε δέκα δευτερόλεπτα), όσο και πληροφορίες σχετικά με τη διαμόρφωση και τους τρόπους λειτουργίας του συστήματος. Βεβαίως μέσω της web εφαρμογής ο χρήστης μπορεί να αντλήσει τα δεδομένα για περαιτέρω επεξεργασία. Επίσης παρέχονται γραφικά εργαλεία απεικόνισης των δεδομένων σε γραφήματα – γραφικές παραστάσεις που βοηθούν στην ανάλυση και μελέτη των δεδομένων που έχουν καταγραφεί προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

4.1. Κατασκευή μακέτας

Για την κατασκευή της μακέτας χρησιμοποιήθηκε χαρτόνι μακέτας τύπου Neofoam, χαρτόνι, οντουλέ, φύλλα και ράβδοι Balsa, φύλλα φελλού, διακοσμητικό τεχνητό γρασίδι, φύλλα διαφανούς ζελατίνας. Για το παρακολούθημα όπου είναι εγκατεστημένοι οι αισθητήρες μεγεθών περιβάλλοντος χρησιμοποιήθηκε PVC σωλήνα και επενδύθηκε με διακοσμητικό χαρτόνι. Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται διάφορες όψεις της κατασκευής.



Εικόνα E2 (Πρόσοψη μακέτας)



Εικόνα E3 (Πίσω όψη μακέτας)

Στην εικόνα E2. Διακρίνεται το υποσύστημα εξωτερικής θύρας του αύλειου χώρου, καθώς και ο ανεμιστήρας εξαερισμού του υποσυστήματος ανίχνευσης καπνού-αερίου.



Εικόνα E4 (Πλάγια όψη μακέτας 1)

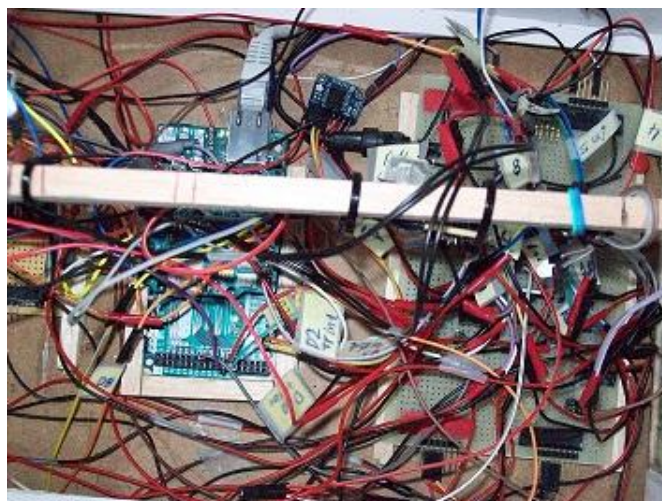


Εικόνα E5 (Πλάγια όψη μακέτας 2)

Οι Εικόνες E4 και E5 απεικονίζουν τις πλάγιες όψεις της μακέτας. Διακρίνεται η διάταξη εξωτερικού φωτισμού από LED.



Εικόνα E6 (Γενική άποψη μακέτας)



Εικόνα E7 (Άποψη εσωτερικού χώρου μακέτας)

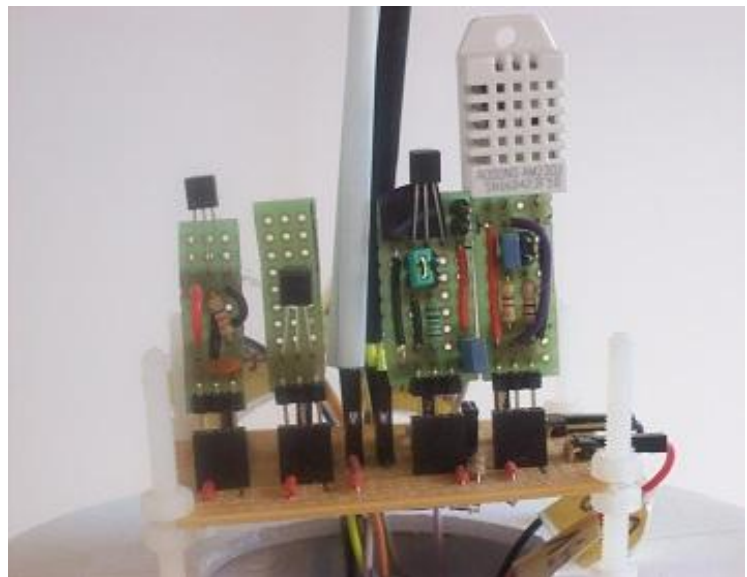
Στην εικόνα E7 διακρίνεται ο μικροελεγκτής με την Ethernet επέκταση, η πλακέτα πάνω στην οποία υπάρχουν τα ηλεκτρονικά κυκλώματα λειτουργίας των υποσυστημάτων καθώς και οι καλωδιώσεις.

Η κατασκευή πλαισιώνεται από ένα παρακολούθημα (βοηθητικό κτίριο) που φιλοξενεί την εγκατάσταση των αισθητήρων περιβάλλοντος, που είναι: Τέσσερις αισθητήρες θερμοκρασίας (δύο αναλογικοί και δύο ψηφιακοί), ένας αισθητήρας υγρασίας (ενσωματωμένος στον έναν από τους δύο ψηφιακούς αισθητήρες θερμοκρασίας), ένα αναλογικό αισθητήρα φωτεινότητας. Διαθέτει επίσης ένα LED για εσωτερικό φωτισμό και ένα LED ερυθρού χρώματος που παρέχει

οπτικές πληροφορίες σχετικά με την εύρυθμη λειτουργία του όλου συστήματος (αναβοσβήνει περιοδικά αν όλα είναι καλά κατά την περίοδο απουσίας φωτός. Ο λόγος που δεν ενσωματώθηκε η εγκατάσταση των αισθητήρων περιβάλλοντος στη μακέτα που αναπαριστά την έξυπνη κατοικία είναι ότι η τελευταία είναι κατασκευασμένη από ιδιαίτερα ευαίσθητα υλικά δεν είναι δυνατό να εκτεθεί στο περιβάλλον. Έτσι αν οι διατάξεις των αισθητήρων περιβάλλοντος ήταν εγκατεστημένες στη μακέτα θα έδιναν πληροφορίες όχι του εξωτερικού περιβάλλοντος αλλά του χώρου που φιλοξενεί τη μακέτα. Έτσι έγινε μία κατασκευή από ανθεκτικό υλικό (PVC) και βρίσκεται σε εξωτερικό χώρο. Συνδέεται με τον άμεσα με τη μονάδα εισόδου-εξόδου του μικροελεγκτή μέσω καλωδιώσεων. μεταδίδοντας τις τιμές των αισθητήρων υπό τη μορφή αναλογικών ή ψηφιακών σημάτων, και μπορεί να βρίσκεται σε απόσταση έως και δέκα μέτρων από αυτόν. Στην εικόνα Ε8 απεικονίζεται η κατασκευή του παρακολουθήματος, ενώ στην εικόνα Ε9 η διάταξη αισθητήρων περιβάλλοντος.



Εικόνα Ε8 (Παρακολουθήμα αισθητήρων)



Εικόνα Ε9 (Διάταξη αισθητήρων περιβάλλοντος)

Το σύνολο της δραστηριότητας μιας έξυπνης κατοικίας θα μπορούσε να συμπυκνωθεί χονδρικά στο τρίπτυχο : Ασφάλεια, άνεση, οικονομία. Κάθε έξυπνη κατοικία διαθέτει πλήθος συνεργαζόμενων συστημάτων προκειμένου ανταποκριθεί στο παραπάνω τρίπτυχο.

Στην παρούσα κατασκευή η έννοια της ασφάλειας αντιπροσωπεύεται από μία διάταξη ανίχνευσης καπνού αερίου που αποτελείται από ένα αισθητήρα ανίχνευσης καπνού – αερίου, ένα ανεμιστήρα ένα buzzer και μία φωτεινή ένδειξη (flush led). Στην συγκεκριμένη κατασκευή έχουν τεθεί τρεις καταστάσεις επίπεδων καπνού-αερίου: normal κάτω από 25% , μία κατάσταση συναγερμού (alarm) διαρροής για επίπεδα καπνού-αερίου από 30% έως 60%, όπου ενεργοποιείται αυτομάτως ο ανεμιστήρας και το flush led και μια κατάσταση emergency alarm για επίπεδα καπνού-αερίου διαρροής μεγαλύτερα από 60% όπου ενεργοποιείται επιπρόσθετα και το buzzer παράγοντας οξύ περιοδικό ηχητικό σήμα. Ο απομακρυσμένος χρήστης ενημερώνεται μέσα από τη web εφαρμογή για τις τιμές των επιπέδων καπνού αερίου που συλλέγει ο αισθητήρας ανίχνευσης συνεχώς, και σε περίπτωση διαρροής εμφανίζονται κατάλληλα μηνύματα.

Η έννοια της άνεσης σχετίζεται με την ευκολία διαχείρισης οικιακών συσκευών ή διατάξεων παρέχοντας διάφορες επιλογές λειτουργίας. Στην παρούσα κατασκευή αυτό αντιπροσωπεύεται από ένα σύστημα αυτόματου ανοίγματος εξωτερικής θύρας και δύο διατάξεις φωτισμού, έναν εντός της οικίας (εσωτερικός φωτισμός) και έναν για τον εξωτερικό φωτισμό περιμετρικά της οικίας. Το σύστημα αυτόματου ανοίγματος εξωτερικής θύρας αποτελείται από ένα αισθητήρα υπερήχων (μετρητής απόστασης) ένα φωτεινό σηματοδότη δύο καταστάσεων (κόκκινο – πράσινο) και ένα σερβοκινητήρα χαμηλής ισχύος με δυνατότητα κίνησης 180°. Για να λειτουργεί αυτόματα η θύρα θα πρέπει ο χρήστης να έχει ορίσει μέσα από τη web εφαρμογή τον αυτόματο τρόπο λειτουργίας κατά τον οποίο: Όταν ο αισθητήρας υπερήχων ανιχνεύσει συνεχόμενη φυσική παρουσία σε συγκεκριμένο χώρο (στην προκειμένη περίπτωση σε απόσταση από 13 cm έως 28) τότε ο φωτεινός σηματοδότης ενεργοποιεί την πράσινη ένδειξη και ο σερβοκινητήρας μετατοπίζει τον άξονα στη θέση 90° με αποτέλεσμα να ανοίγει η εξωτερική θύρα που παραμένει ανοιχτή όσο ανιχνεύεται φυσική παρουσία στο προκαθορισμένο διάστημα. Όταν δεν ανιχνεύεται παρουσία για χρονικό διάστημα 5 δευτερολέπτων τότε ο φωτεινός σηματοδότης ενεργοποιεί την κόκκινη ένδειξη ο σερβοκινητήρας μετατοπίζει τον άξονα στη θέση 0° και η θύρα κλείνει. Ο χρήστης μέσα από τη web εφαρμογή έχει τη δυνατότητα να ανοίγει και να κλείνει απομακρυσμένα τη θύρα και να παρακολουθεί πάντα σε ποια κατάσταση βρίσκεται (ανοιχτή ή κλειστή).

Όσον αφορά το σύστημα του φωτισμού αυτό αποτελείται για τον μεν εξωτερικό από 14 Led 5 mm λευκού χρώματος, για τον δε εσωτερικό 5 Led 5 mm επίσης λευκού χρώματος. Τροφοδοτούνται από συνεχές ρεύμα, τάσης 5V και διαρρέονται από ρεύμα έντασης 16mA το

καθένα. Έτσι η μέγιστη κατανάλωση ισχύος είναι : $(5 \cdot 16 \cdot 10^{-3}) \cdot (14 + 5) = 1,52W$ ή 1520 mW. Ως διακόπτης χρησιμοποιούνται δύο NMOS FET IRLB8721. Χάρη στην δυνατότητα του Arduino μικροελεγκτή για PWM (pulse width modulation) μπορούν να υλοποιηθούν λειτουργίες dimming (ελέγχου έντασης φωτισμού με παράλληλη εξοικονόμηση ενέργειας). Για την επικοινωνία με το περιβάλλον υπάρχουν δύο διατάξεις ανίχνευσης φωτός με δύο LDR φωτοαντιστάσεις (μία εσωτερικά της οικίας και μία εξωτερικά) που πληροφορούν το μικροελεγκτή για τη φωτεινότητα του εξωτερικού και του εσωτερικού χώρου. Ο χρήστης απομακρυσμένα μέσα από τη web εφαρμογή μπορεί να ανάψει ή να σβήσει τα φώτα και να καθορίσει την έντασή τους σε επίπεδα που επιθυμεί. Μπορεί επίσης να επιλέξει λειτουργία αυτόματου φωτισμού όπου τα φώτα θα ανάψουν όταν το επίπεδο έντασης φωτός του περιβάλλοντος πέσει κάτω από κάποιο όριο (κατά το σούρουπο για παράδειγμα ή όταν έχουμε ιδιαίτερα συννεφιασμένη και μουντή ημέρα) και να σβήσουν όταν το επίπεδο φωτεινότητας του περιβάλλοντος είναι ικανοποιητικό (κατά την ανατολή του ήλιου). Μπορεί ακόμα να ορίσει αυτά τα επίπεδα φωτεινότητας κάτω ή πάνω από τα οποία θα ανάβουν και θα σβήνουν αντίστοιχα τα φώτα. Επιπλέον μπορεί να ορίσει λειτουργία διατήρησης φωτεινότητας σε συγκεκριμένη στάθμη (σε lux) και τα φώτα να αυξομειώνουν την έντασή τους προκειμένου να διατηρούν την καθορισμένη φωτεινότητα ανεξάρτητα από τις συνθήκες φωτεινότητας του περιβάλλοντος. Οι τιμές φωτεινότητας του περιβάλλοντος και της οικίας, αλλά και η κατάσταση φωτιστικών στοιχείων, η ένταση στην οποία λειτουργούν και από την οποία μπορεί να προκύψει η πραγματική κατανάλωση καταγράφονται κάθε δέκα δευτερόλεπτα και βεβαίως είναι στη διάθεση του χρήστη μέσω της web εφαρμογής.

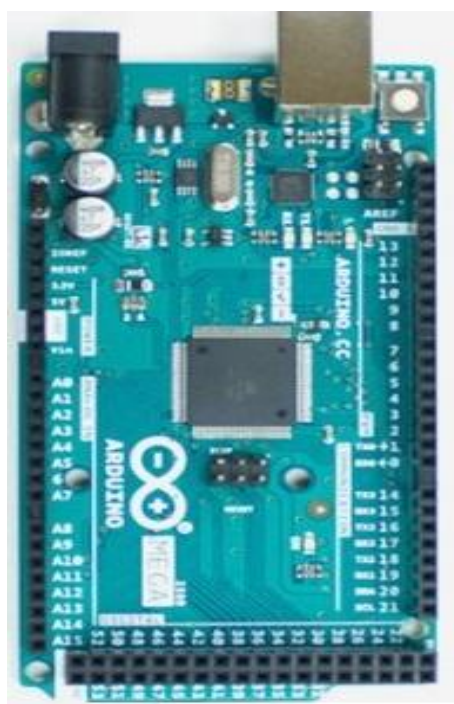
Για την καλύτερη αποτύπωση και καταγραφή των περιβαλλοντικών συνθηκών υπάρχει διάταξη των αισθητήρων μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Στην παρούσα κατασκευή δεν έχουν συνδεθεί με κάποιο αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας για πρακτικούς λόγους κυρίως λόγω των μεγάλων θερμικών απωλειών και της παντελούς έλλειψης μόνωσης μια που η κατασκευή είναι μακέτα. Χρησιμοποιούνται για πληροφόρηση του χρήστη σχετικά με την υφιστάμενη εξωτερική θερμοκρασία της οικίας και γίνεται μία σύγκριση - αξιολόγηση της ποιότητας και απόδοσης των αισθητήρων θερμοκρασίας.

Οι παραπάνω λειτουργίες πραγματοποιούνται με τη βοήθεια μικροελεγκτή, στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται ο Arduino Mega 2560 ο οποίος λαμβάνει πληροφορίες από τους αισθητήρες, δέχεται τις εντολές του χρήστη τις επεξεργάζεται και καθοδηγεί ανάλογα τα διάφορα

υποσυστήματα με τα οποία είναι συνδεδεμένος και ελέγχει. Ο έλεγχος και η λειτουργία του καθορίζονται από πρόγραμμα το οποίο έχει γραφτεί για το σκοπό αυτό και είναι αποθηκευμένο στη μνήμη EEPROM που διαθέτει. Είναι φανερό ότι για να μπορέσει να επικοινωνήσει με τα διάφορα περιφερειακά συστήματα θα πρέπει να υπάρχουν διεπαφές υλικού που να μετατρέπουν τις πληροφορίες είτε πρόκειται για εντολές του χρήστη, είτε για ερεθίσματα του περιβάλλοντος σε μηχαναγνώσιμη ψηφιακή πληροφορία και αντίστροφα. Μεγέθη όπως η θερμοκρασία, υγρασία, φωτεινότητα, κίνηση ενός μοχλού κλπ. είναι διαφόρων φυσικών μορφών και πρέπει να μετατραπούν σε κατάλληλα ψηφιακά σήματα προκειμένου να γίνουν αντιληπτά και κατανοητά από το μικροελεγκτή. Έτσι έχουν κατασκευαστεί hardware διεπαφές υλικού (πλακέτες) όπου φιλοξενούνται οι αισθητήρες με τα υποστηρικτικά ηλεκτρονικά κυκλώματα για τις κατάλληλες μετατροπές σημάτων και την απαιτούμενη ηλεκτρική τροφοδοσία για τη λειτουργία τους. Όλες αυτές οι διεπαφές μαζί με τον μικροελεγκτή, την Ethernet επέκτασή του, τις γραμμές μεταφοράς σημάτων καθώς και τις συσκευές δικτύωσης που χρησιμοποιούνται συγκροτούν το υλικό μέρος (Hardware) της κατασκευής που παρουσιάζεται και αναλύεται στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο.

4.2. Περιγραφή Υλικού (Hardware)

4.2.1. Μικροελεγκτής



Στην εικόνα E10 απεικονίζεται ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιείται και είναι ο Arduino Mega 2560. [12] Οι φυσικές διαστάσεις του είναι 53,3 mm X 101,52 mm ενώ το βάρος του είναι 37gr. Είναι βασισμένος στον επεξεργαστή ATmega 2560. Της Atmel. Η συχνότητα λειτουργίας του είναι στα 16 MHz. Η τάση λειτουργίας του είναι 5V. Η τάση τροφοδοσίας είναι από 6 έως 20V DC. Έχει Flash memory 256 KB, 8KB από τα οποία χρησιμοποιούνται από τον bootloader. Επιπλέον διαθέτει 8KB SRAM και 4 KB EEPROM. Για την επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές διαθέτει 4 UART (σειριακή επικοινωνία) και μια USB Θύρα. Υποστηρίζει εξωτερικό

Εικόνα E10 (Arduino Mega 2560) μηχανισμό 6 διακοπών (External interrupts από interrupt-0

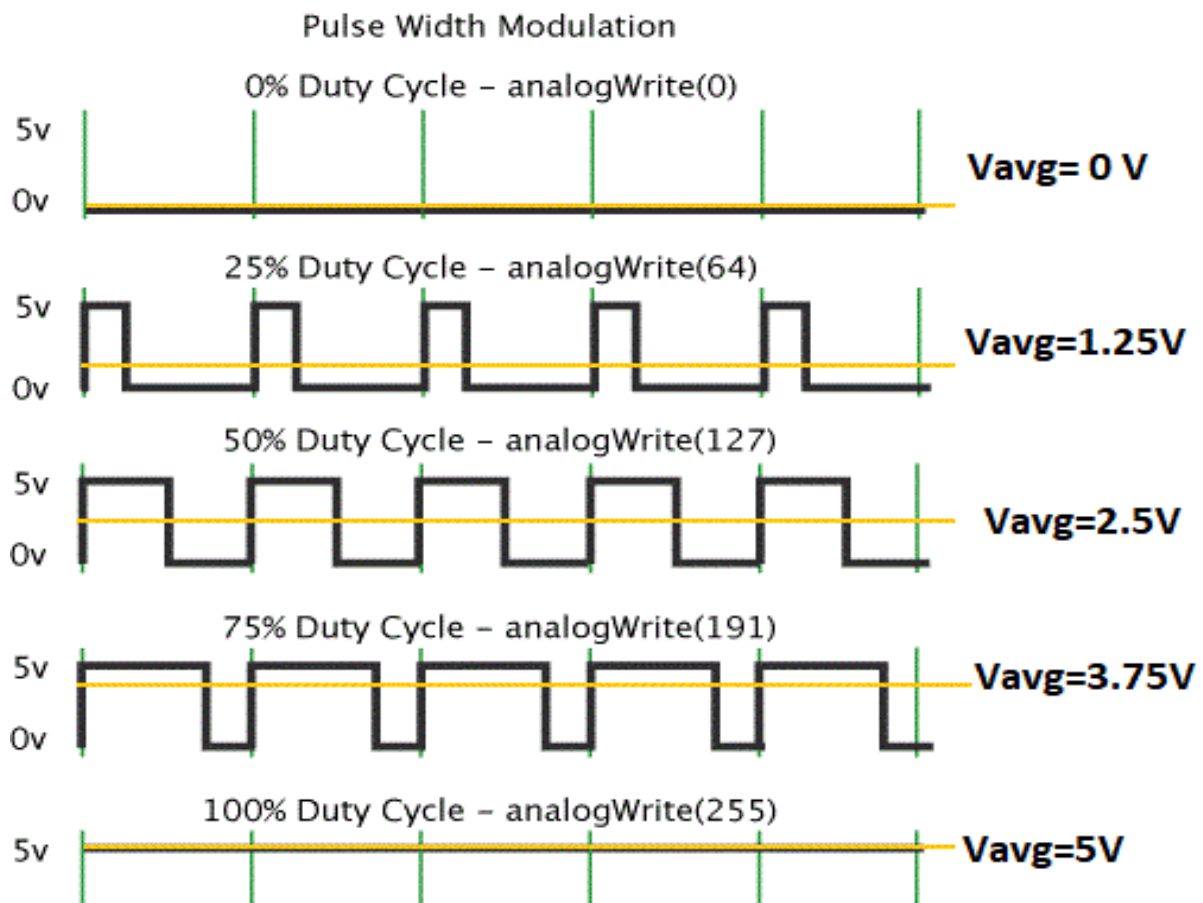
έως interrupt-1) που μπορούν να πυροδοτηθούν με λογικό 0, στην άνοδο ή στην πτώση παλμού ή σε αλλαγή στάθμης. Μπορεί να τροφοδοτηθεί από εξωτερικό τροφοδοτικό ή μπαταρία.

Ως προς τις θύρες εισόδου εξόδου για σύνδεση με περιφερειακά κυκλώματα, διαθέτει 16 αναλογικές θύρες εισόδου. Οι θύρες αυτές συνδέονται εσωτερικά με ένα αναλογικοψηφιακό μετατροπέα (A/D converter) 10 ψηφίων που επιτρέπει την κβαντοποίηση του αναλογικού σήματος σε 1024 διακριτές στάθμες παρέχοντας ικανοποιητική ακρίβεια. Επειδή όλες οι αναλογικές θύρες είναι συνδεδεμένες στον ένα δεκαψήφιο αναλογικοψηφιακό μετατροπέα θα πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια ώστε μεταξύ δύο διαδοχικών αναγνώσεων των αναλογικών θυρών να μεσολαβεί χρονικό διάστημα τουλάχιστο 2μs προκειμένου να εκφορτίζεται πλήρως ο AD converter από προηγούμενη ανάγνωση εισόδου, για να έχουμε ακρίβεια στην ανάγνωση των αναλογικών εισόδων. Θα πρέπει επίσης να εξασφαλίζεται ότι η ένταση του ρεύματος σε καμία περίπτωση δε θα υπερβαίνει τα 40mA με τυπική τιμή τα 20 mA ανά θύρα (pin) ενώ η τάση θα πρέπει να κυμαίνεται από 0 έως 5V.

Έχει ακόμα 54 ψηφιακές θύρες εισόδου/εξόδου που μπορούν να προγραμματιστούν ξεχωριστά ως είσοδοι ή εξοδοι. Οι 15 από αυτές μπορούν να παρέχουν PWM (Pulse Width Modulation)[13] έξοδο. Η PWM είναι μία τεχνική διαμόρφωσης που επιτρέπει τη λήψη αναλογικών πληροφοριών χρησιμοποιώντας ψηφιακά σήματα σε μορφή παλμοσειρών. Οι παλμοσειρές είναι περιοδικά σήματα τετραγωνικών παλμών δύο καταστάσεων: λογικού 0 (τάσης 0V) και λογικού 1 (τάσης 5V στην παρούσα υλοποίηση). Ο κάθε τετραγωνικός παλμός της παλμοσειράς είναι σταθερής περιόδου αλλά μπορεί να μεταβάλλεται η αναλογία της διάρκειας που ο παλμός βρίσκεται σε λογικό 1 (On) και λογικό 0 (Off). Αυτή η αναλογία ονομάζεται Duty Cycle και ορίζεται ως εξής:

$$\text{Duty Cycle} = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \times 100$$

όπου T_{on} είναι η χρονική διάρκεια εντός της περιόδου που ο παλμός βρίσκεται σε λογικό 1. Αντίστοιχα T_{off} είναι η χρονική διάρκεια εντός της περιόδου που ο παλμός βρίσκεται σε λογικό 0. Το άθροισμα $T_{on} + T_{off}$ είναι η χρονική διάρκεια ολόκληρης της περιόδου. Το duty Cycle δηλαδή ενός παλμού φανερώνει το ποσοστό επί τοις εκατό που ο συγκεκριμένος παλμός είναι σε λογικό 1. Ύστερα από εφαρμογή ενός τέτοιων παλμοσειρών σε μια PWM έξοδο ως τάση εξόδου έχουμε τη μέση τιμή της τάσης του παλμού. Στο σχήμα Σ1 (διάγραμμα PWM), απεικονίζονται παλμοσειρές με διαφορετικά Duty Cycles.



Σχήμα Σ1 (Διάγραμμα PWM)

μικροελεγκτής έχει δυνατότητα παραγωγής εξόδου τέτοιων παλμοσειρών συχνότητας 490Hz. Η τεχνική PWM χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη υλοποίηση για την επίτευξη αυξομειούμενης έντασης φωτισμού (λειτουργία dimming). Κάθε ψηφιακή έξοδος μπορεί να δώσει σήμα τάσης από 0 μέχρι 5 V και ένταση ρεύματος μέχρι 20 mA. Για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή χρησιμοποιείται η γλώσσα C++.

4.2.2. Επέκταση Ethernet



Εικόνα E11 (Ethernet επέκταση)

Για της σύνδεση της εφαρμογής με το διαδίκτυο και την υλοποίηση μιας IoT προσέγγισης, είναι απαραίτητη η συσκευή Ethernet επέκτασης του μικροελεγκτή. Πρόκειται για μία ηλεκτρονική πλακέτα (board) συμβατή με το μικροελεγκτή που παρέχει δυνατότητες δικτύωσης μέσω Ethernet. Διαθέτει υποδοχή για καλώδιο με ακροδέκτη τύπου RJ 45. Η λειτουργία του βασίζεται στο chip W5500[14] το οποίο είναι ένας ελεγκτής Ethernet (Ethernet controller). Το 5500 υποστηρίζει TCP, UDP, IPv4, ICMP, ARP, IGMP, και PPPoE πρωτόκολλα. Διαθέτει εσωτερικό buffer 32 KB, ταχύτητα σύνδεσης 10/100 Mb. Μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα μέχρι και 8 συνδέσεις (connection sockets). Συνδέεται με το μικροελεγκτή

μέσω της SPI θύρας του ενώ η τάση λειτουργίας του είναι 5V. Διαθέτει επιπλέον ενσωματωμένη (on

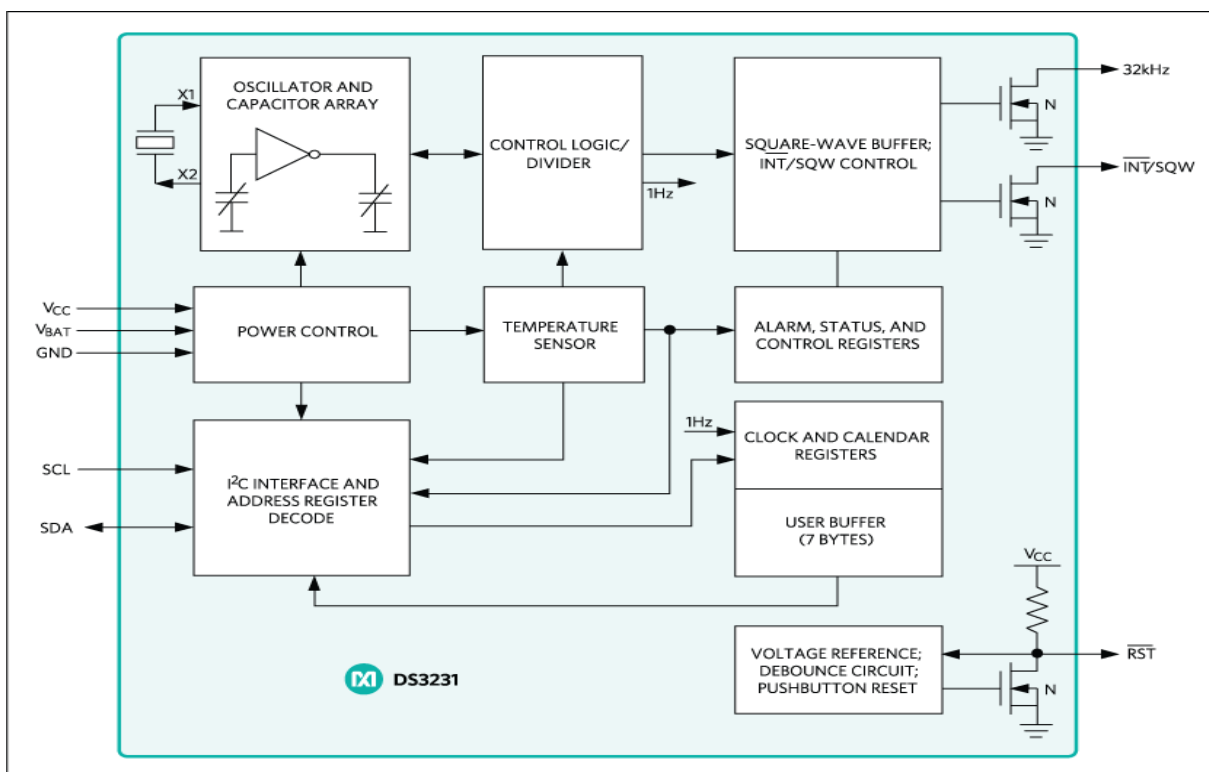
board) υποδοχή για κάρτα μνήμης microSD. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε κάρτα microSD χωρητικότητας 8 GB, για την αποθήκευση των δεδομένων της εφαρμογής καθώς και για τις ρυθμίσεις διαμόρφωσης (configuration) του συστήματος. Συνδέεται με router μέσω καλωδίου Ethernet RJ45. Στην Εικόνα E11 απεικονίζεται η Ethernet επέκταση του μικροελεγκτή. Η κατανάλωση ρεύματος είναι περί τα 130 mA

4.2.3. Διάταξη χρονισμού πραγματικού χρόνου

Σε κάθε σύστημα είναι απαραίτητη μία διάταξη χρονισμού πραγματικού χρόνου που παρέχει την ημερομηνία και την ώρα προκειμένου να είναι γνωστό πότε λαμβάνουν χώρα τα διάφορα συμβάντα και να μπορούν επίσης να προγραμματίζονται οι διάφορες λειτουργίες. Σε αυτή την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ο χρονιστής πραγματικού χρόνου RTC DS3231 [15] ο οποίος απεικονίζεται στην εικόνα E12. Ενώ στο σχήμα Σ2 απεικονίζεται το block διάγραμμά του.



Εικόνα E12 (RTC DS3231 module)



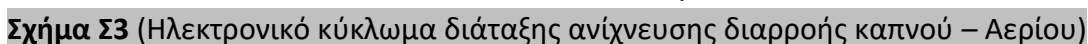
Σχήμα Σ2 (block διάγραμμα RTC DS3231)

Πρόκειται για ένα χαμηλού κόστους αλλά εξαιρετικής ακρίβειας ρολόι πραγματικού χρόνου με ενσωματωμένο (onchip) κρυσταλλικό ταλαντωτή αλλά και κρύσταλλο με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται από την εξωτερική θερμοκρασία. Έχει ενσωματωμένη υποδοχή για μπαταρία έτσι ώστε να διατηρεί το χρόνο όταν το σύστημα είναι εκτός λειτουργίας, ενώ όταν λειτουργεί το σύστημα τροφοδοτείται απ' αυτό με τάση 5 V DC. Η μπαταρία που δέχεται είναι CR2032 3V. Ο

4.2.4. Διάταξη ανίχνευσης καπνού – αερίου

Στο σχήμα Σ3 απεικονίζεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση

5V DC 2.1A



32



Εικόνα E13 (Αισθητήρας ανίχνευσης καπνού – αερίου MQ-2)

τη βοήθεια της μεταβλητής ωμικής αντίστασης trimmer R_t μπορεί να ρυθμιστεί η ευαισθησία της διάταξης μιας που ο MQ αισθητήρας μπορεί να ανιχνεύσει εκτός από καπνό και άλλα αέρια όπως: υγραέριο, βουτάνιο, προπάνιο, μεθάνιο, υδρογόνο και αλκοόλ. Καθένα όμως το ανιχνεύει με διαφορετική ευαισθησία οπότε με κατάλληλη ρύθμιση τιμής της αντίστασης αυτής επιτυγχάνεται και η επιθυμητή

ευαισθησία. Σε κάθε περίπτωση η τιμή της πρέπει να κυμαίνεται από 5KΩ μέχρι 50KΩ. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή

έχει ρυθμιστεί στα 14KΩ. Στην εικόνα E13 απεικονίζεται ένας αισθητήρας ανίχνευσης καπνού αερίου MQ2. Όταν ο μικροελεγκτής διαβάσει την αναλογική είσοδό του A4 θα λάβει μία τιμή που αντιπροσωπεύει το επίπεδο συγκέντρωσης καπνού που έχει καταγράψει ο αισθητήρας καπνού – αερίου. Η τιμή αυτή κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1023. Από το πρόγραμμα ελέγχου του μικροελεγκτή έχει ορισθεί ότι αν η τιμή ξεπεράσει το 310 (30%) τότε θεωρείται σημαντική συγκέντρωση αερίου ή καπνού και δίνεται εντολή από το μικροελεγκτή να ξεκινήσει να λειτουργεί ο ανεμιστήρας προκειμένου να διαλύσει τον καπνό. Αυτό το κάνει θέτοντας την ψηφιακή του έξοδο D40 σε λογικό 1 (5V). Τότε άγει το NMOS Q3 (σχήμα Σ3) που λειτουργεί ως διακόπτης και επιτρέποντας τη διέλευση ρεύματος μέσα του με αποτέλεσμα να κλίνει το κύκλωμα του ανεμιστήρα και να αναβοσβήνει ένα κόκκινο flush Led που συνιστά οπτική ένδειξη του κινδύνου. Αν η τιμή που προέρχεται από τον αισθητήρα καπνού-αερίου ξεπεράσει το 615 (60%) τότε σημαίνει πολύ επικίνδυνη κατάσταση και ενεργοποιείται επιπλέον και ένα buzzer που παράγει ηχητικό προειδοποιητικό σήμα. Πρόκειται για πιεζοηλεκτρικό βομβητή. Η ενεργοποίηση του buzzer γίνεται από το μικροελεγκτή στέλνοντας παλμοσειρά με duty cycle 50% και συχνότητα που καθορίζεται από το πρόγραμμα (στην προκειμένη περίπτωση 300Hz) στην ψηφιακή του έξοδο D33 (όπου είναι συνδεδεμένος ο buzzer). Όταν η τιμή του επιπέδου συγκέντρωσης καπνού-αερίου που διαβάσει ο μικροελεγκτής είναι χαμηλότερη από 235 (23% περίπου) τότε θεωρείται φυσιολογικό επίπεδο και σε περίπτωση που λειτουργεί ο ανεμιστήρας, ο μικροελεγκτής διακόπτει τη λειτουργία του θέτοντας την ψηφιακή του έξοδο D40 σε λογικό 0 (0V). Τότε το NMOS Q3 μπαίνει σε αποκοπή και δεν επιτρέπει την διέλευση ρεύματος με αποτέλεσμα να διακόπτεται η λειτουργία του κυκλώματος του ανεμιστήρα. Αντίστοιχα και στην ψηφιακή του έξοδο D33 (όπου είναι συνδεδεμένος ο buzzer) ο μικροελεγκτής διακόπτει την αποστολή παλμοσειράς με σχετική εντολή.

4.2.5. Διάταξη εξωτερικής θύρας.

Το σύστημα της εξωτερικής θύρας της αυλής αποτελείται από ένα σερβοκινητήρα με δυνατότητα περιστροφής 180° στο κινούμενο βραχίονά του. Ο βραχίονας οδηγεί κυλινδρική πλαστική μπάρα μήκους 17 εκατοστών που είναι προσαρμοσμένη πάνω του. Όταν ο σερβοκινητήρας είναι σε θέση 0° η μπάρα βρίσκεται σε οριζόντια θέση παράλληλα προς το έδαφος (κλειστή), ενώ όταν ο σερβοκινητήρας είναι σε θέση 90° η μπάρα βρίσκεται σε κατακόρυφη θέση δηλαδή κάθετα με το έδαφος (ανοικτή). Για να επιτευχθεί αυτόματη λειτουργία χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας απόστασης υπερήχων προκειμένου να ανιχνεύει την φυσική παρουσία εντός καθορισμένης περιοχής και να πληροφορεί το μικροελεγκτή έτσι ώστε να δώσει εντολή ενεργοποίησης του σερβοκινητήρα και να ανοίξει η θύρα. Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και για το κλείσιμο της θύρας με τη διαφορά ότι ο αισθητήρας απόστασης πληροφορεί το μικροελεγκτή για την απουσία φυσικού εμποδίου στην καθορισμένη περιοχή. Στην προκειμένη περίπτωση η καθορισμένη για έλεγχο φυσικής παρουσίας, περιοχή είναι από 13cm μέχρι και 28cm απόσταση από τον αισθητήρα υπερήχων που βρίσκεται στην μία άκρη της οικίας. Το σύστημα πλασιώνεται και από ένα φωτεινό σηματοδότη δύο καταστάσεων. Στις εικόνες E14 και E15 απεικονίζεται το σύστημα της εξωτερικής θύρας.



Εικόνα E14 (Αύλεια θύρα ανοικτή)



Εικόνα E15 (Αύλεια θύρα κλειστή)

Ο σερβοκινητήρας είναι τύπου SG90 micro servo. Λειτουργεί με τάση 5V DC. Ενώ λειτουργεί με

PWM. Το σήμα έχει περίοδο 20 ms εκ των οποίων όταν το duty-cycle είναι 5% (δηλ 1 msec λογικό 1 ο βραχίονας είναι σε -90° , όταν το duty-cycle είναι 10% (δηλ 2 msec λογικό 1 ο βραχίονας είναι σε $+90^\circ$ και όταν το duty-cycle είναι 7,5% (δηλ 1,5 msec λογικό 1 ο βραχίονας είναι σε 0° στην εικόνα E16 απεικονίζεται ο σερβοκινητήρας τύπου SG90 micro servo. Ο αισθητήρας



Εικόνα E16 (σερβοκινητήρας)

υπερήχων HC SR04 [17] χρησιμοποιείται για μέτρηση απόστασης ενός

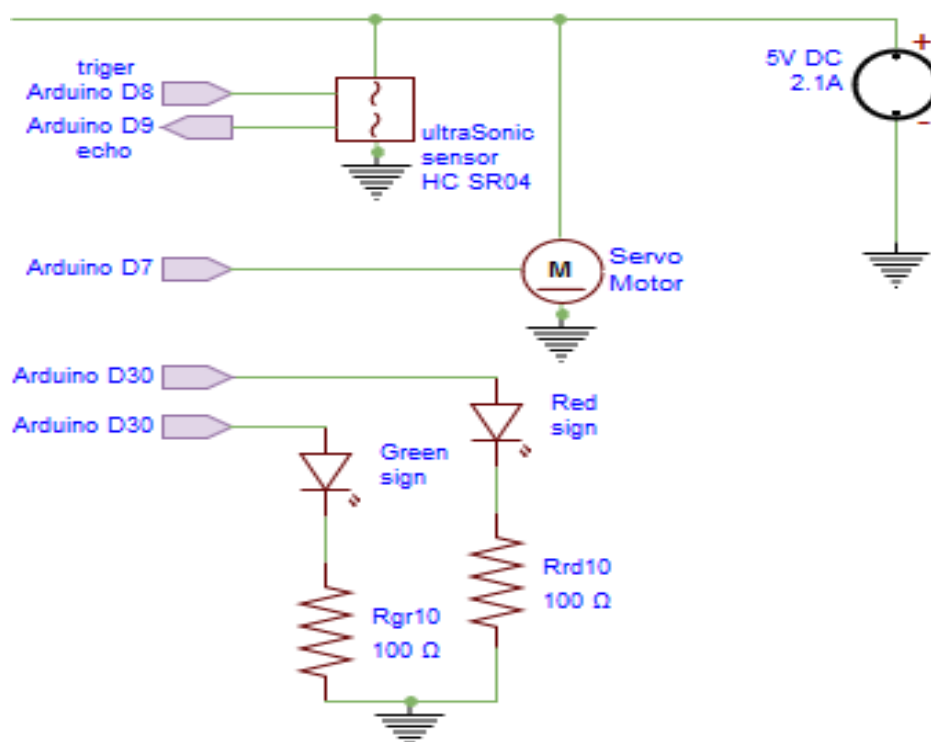
αντικειμένου από αυτόν. (εικόνα E17) Διαθέτει μία διάταξη εκπομπής (trigger) και μία διάταξη λήψης(echo). Για τον προσδιορισμό της απόστασης στη διάταξη εκπομπής ο μικροελεγκτής



Εικόνα E17 (αισθητήρας υπερήχων HC SR04)

στέλνει ένα παλμό (0,1,0) διάρκειας 10μsec. Αμέσως μετά ο trigger εκπέμπει 8 ηχητικούς παλμούς υπερήχων συχνότητας 40KHz και ενεργοποιείται η διάταξη λήψης που διαθέτει (τίθεται σε λογικό 1) ενώ ταυτόχρονα ενεργοποιείται μετρητής μs. Αν το ηχητικό σήμα που εξέπεμψε η διάταξη εκπομπής συναντήσει κάποιο φυσικό εμπόδιο τότε ανακλάται και

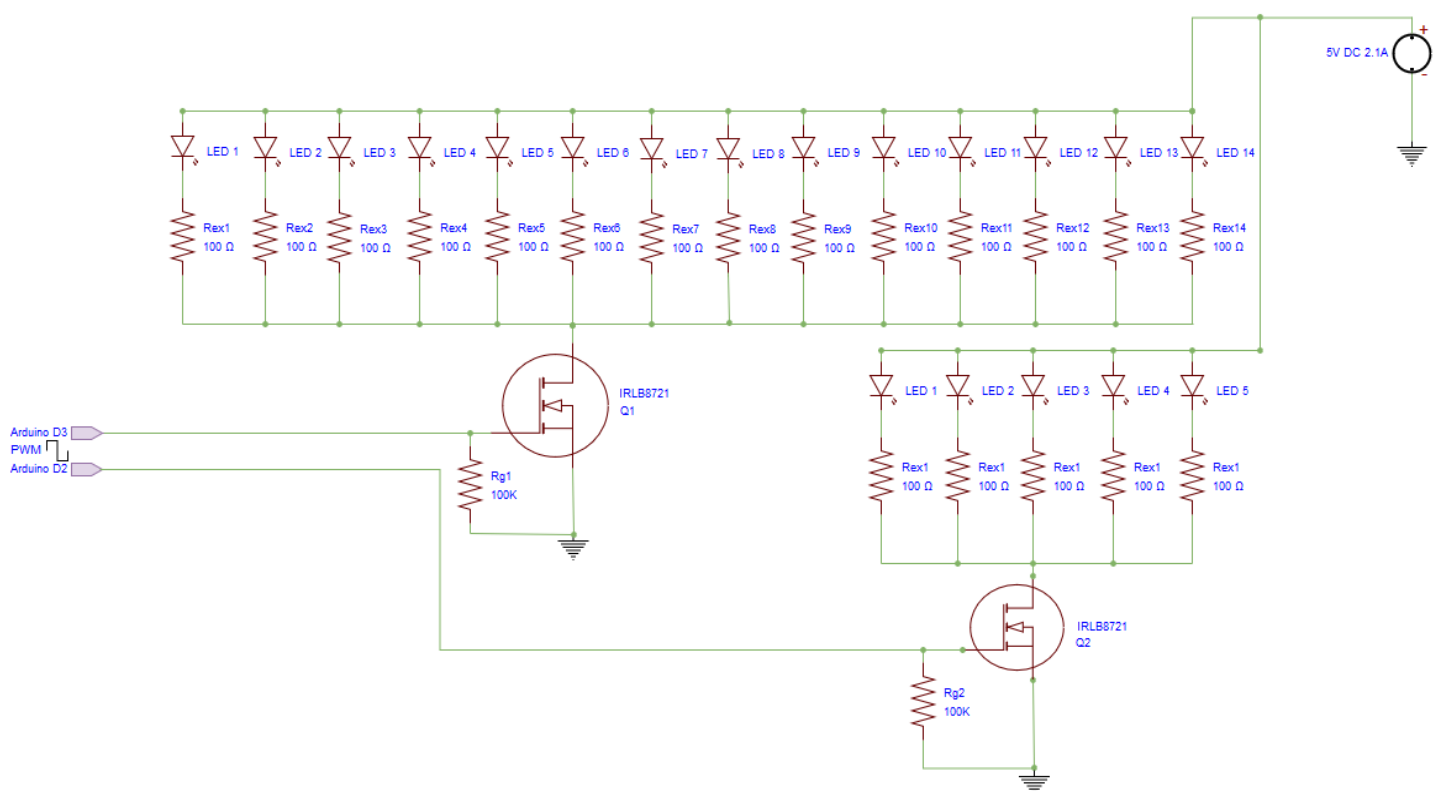
επιστρέφει. Όταν η διάταξη λήψης(echo) λάβει το ηχητικό σήμα η διάταξη λήψης μεταπίπτει σε λογικό 0 και τότε σταματά ο μετρητής μs. Η τιμή του μετρητή αντιστοιχεί στο χρόνο που μεσολάβησε από την εκπομπή του ηχητικού σήματος μέχρι την επιστροφή του και επειδή ταχύτητα του ήχου είναι γνωστή 340m/sec μπορούμε να προσδιορίσουμε την απόσταση ενός αντικειμένου πολλαπλασιάζοντας 0.034 (ταχύτητα ήχου σε cm/μs) . επί το μισό του χρόνου που κατέγραψε ο μετρητής σε (μs). Στο σχήμα Σ4 απεικονίζεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα της εξωτερικής θύρας.



Σχήμα Σ4 (Ηλεκτρονικό κύκλωμα της εξωτερικής θύρας)

4.2.6. Φωτισμός Οικίας

Το σύστημα φωτισμού της οικίας αποτελείται από δύο επί μέρους ανεξάρτητες διατάξεις όπου η μια αφορά το φωτισμό εξωτερικά της οικίας (εξωτερικός φωτισμός) και διαθέτει δεκατέσσερα στοιχεία φωτισμού εκ των οποίων τρία είναι τοποθετημένα πάνω στο κτίριο και τα υπόλοιπα έντεκα περιμετρικά αυτού. Η άλλη διάταξη αφορά το φωτισμό εντός της οικίας (εσωτερικός φωτισμός) και εντός του παρακολουθήματός της (που φιλοξενεί τους αισθητήρες περιβάλλοντος) και διαθέτει πέντε στοιχεία φωτισμού τέσσερα εκ των οποίων είναι εντός της οικίας και ένα εντός του παρακολουθήματός της. Κάθε στοιχείο φωτισμού αντιπροσωπεύεται από ένα ημιαγωγό στοιχείο διόδου LED των 5mm ψυχρού, λευκού χρώματος (θερμοκρασίας 5000-5650K). Τροφοδοτείται μέγιστη τάση 3 V DC και διαρρέεται από ρεύμα έντασης 16 mA (20 mA τυπική τιμή). Τα LED είναι παράλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Στο σχήμα Σ5 απεικονίζεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα του συστήματος φωτισμού της οικίας.



Σχήμα Σ5 (Ηλεκτρονικό κύκλωμα φωτισμού οικίας)

Σε κάθε LED συνδέεται σε σειρά μια ωμική αντίσταση 100 Ω για να εξασφαλιστεί ότι δεν θα εφαρμοστεί μεγαλύτερη τάση από 3 V. Επειδή η τάση τροφοδοσίας του συστήματος είναι 5 V, η μέγιστη τάση που πρέπει να εφαρμόζεται στα άκρα κάθε LED είναι 3 V (μεγαλύτερη τάση πιθανά

να καταστρέψει το LED και σίγουρα θα μειώσει σημαντικά τη διάρκεια ζωής του) η πτώση τάσης πάνω στην αντίσταση θα πρέπει να είναι σύμφωνα με το δεύτερο κανόνα του Kirchhoff: $V_s - V_{LED} - V_R = 0$ όπου: V_s είναι η τάση τροφοδοσίας (5 V), V_{LED} είναι πτώση τάσης στα άκρα του LED (3 V) και V_R είναι η πτώση τάσης πάνω στην αντίσταση που είναι : $V_s - V_{LED} = V_R$ δηλαδή $5 - 3 = 2$ V. Κάθε LED διαρρέεται από ρεύμα (i) έντασης μέχρι 20 mA που συνιστά την ονομαστική τιμή έντασης ή οποία χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της τιμής της αντίστασης, ενώ στη προκειμένη περίπτωση οι πειραματικές μετρήσεις έδωσαν ένταση ρεύματος περίπου 16 mA ανά LED. Έτσι η τιμή της αντίστασης υπολογίζεται σύμφωνα με το νόμο του Ohm ως $R = \frac{V_R}{i} = \frac{2}{20 \cdot 10^{-3}} = 100 \Omega$. Κάθε Συνδυασμός LED-αντίστασης συνδέεται στο Drain (D) ενός N-MOS FET IRL B8721 που λειτουργεί ως διακόπτης ενώ ο ακροδέκτης Gate (G) του N-MOS FET συνδέεται με ψηφιακή θύρα του μικροελεγκτή D3 για τον εξωτερικό φωτισμό και D2 για τον εσωτερικό φωτισμό, παρέχοντας δυνατότητες ελέγχου του φωτισμού. Όταν μέσω της ψηφιακής θύρας του μικροελεγκτή τροφοδοτηθεί το G του N-MOS με λογικό 0 (0 V) τότε το N-MOS FET βρίσκεται στην περιοχή αποκοπής και δεν επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος εντός του με αποτέλεσμα να λειτουργεί σαν ανοικτός διακόπτης και τα LED να είναι σβηστά. Αντίστοιχα όταν το G του N-MOS FET τροφοδοτηθεί με λογικό 1 (5 V) τότε το N-MOS FET βρίσκεται στην περιοχή κόρου και επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος εντός του με αποτέλεσμα να λειτουργεί σαν κλειστός διακόπτης και τα LED να είναι αναμμένα. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω με τη βοήθεια του μηχανισμού PWM διαμόρφωσης που διαθέτει ο μικροελεγκτής, παρέχεται η δυνατότητα για λειτουργία ρύθμισης έντασης της φωτεινότητας των LED (dimming). Αυτό επιτυγχάνεται με την αποστολή παλμοσειρών (από το μικροελεγκτή στο G του N-MOS FET) με προσαρμοσμένο duty cycle. Έτσι κάθε LED είναι αναμμένο μόνο κατά τη διάρκεια που κάθε παλμός της παλμοσειράς που εφαρμόζεται στο G του N-MOS FET βρίσκεται σε λογικό 1 (5 V). Σε αυτή την περίπτωση η μέση τιμή της τάσης θα ισούται με $5 \times \text{duty-cycle}$. Αν για παράδειγμα εφαρμόζεται παλμοσειρά με duty-cycle 0.5 είναι σα να τροφοδοτείται κάθε LED με τάση 2.5V με αποτέλεσμα το φως που εκπέμπει να είναι χαμηλότερης έντασης. Για να μην είναι ορατό και ενοχλητικό στο μάτι το φαινόμενο όπου το φως «τρεμοπαίζει» (flickering), θα πρέπει η συχνότητα των PWM παλμοσειρών να είναι μεγαλύτερη από 160 Hz, καθώς κάποιοι ερευνητές ισχυρίζονται ό τι ο αμφιβληστροειδής μπορεί να αισθάνεται flickering μέχρι τα 200 Hz, αλλά πειράματα έδειξαν ότι πάνω από τα 160 Hz η επίδραση του flickering στην υγεία είναι αμελητέα. Έτσι στην προκειμένη περίπτωση η συχνότητα των PWM παλμοσειρών είναι 490 Hz. Η ρύθμιση φωτεινότητας με χρήση PWM παλμοσειρών συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας μια που το όσο οι παλμοί των PWM

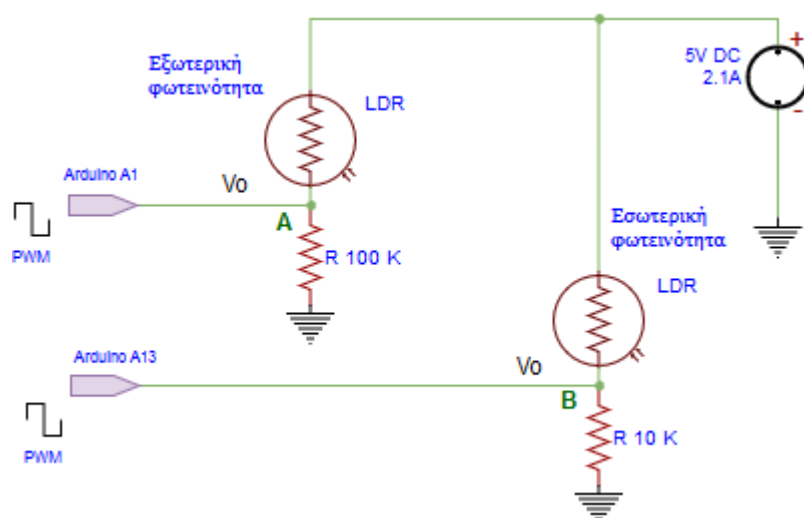
παλμοσειρών είναι σε λογικό 0 (0 V) δεν καταναλώνεται καθόλου ενέργεια, σε αντίθεση με τη ρύθμιση φωτεινότητας με ροοστάτη όπου δεν γίνεται καθόλου εξοικονόμηση ενέργειας αφού η μεταβολή της αντίστασης του ροοστάτη αλλάζει μόνο την κατανομή της τάσης μεταξύ LED και αντίστασης. Είναι επίσης δυνατό το σύστημα φωτισμού να ρυθμίζει τη λειτουργία του ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες φωτεινότητας. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην επικοινωνία του συστήματος φωτισμού (μέσω του μικροελεγκτή) με αισθητήρες ανίχνευσης φωτός η λειτουργία των οποίων εξηγείται στο επόμενο κεφάλαιο.

4.2.7. Αισθητήρες Φωτεινότητας.

Οι αισθητήρες φωτεινότητας χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση παρουσίας ή την απουσίας φωτός στο περιβάλλον όπου βρίσκονται καθώς και την ένταση του. Στην παρούσα κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν (LDR) φωτοαντιστάσεις. LDR είναι αρχικά των λέξεων Light Dependent Resistors. Πρόκειται για αντιστάσεις οι τιμή των οποίων μεταβάλλονται ανάλογα με το φως που πέφτει πάνω τους. Όσο περισσότερο φως πέφτει πάνω στην αντίσταση τόσο μικραίνει η τιμή της. Οι τιμές των φωτοαντιστάσεων κυμαίνονται μεταξύ, λιγότερο από 1 KΩ σε συνθήκες πλήρους φωτεινότητας, έως λίγο περισσότερο από 1 MΩ σε συνθήκες πλήρους σκότους. Επειδή η κάθε φωτοαντίσταση παρουσιάζει διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά, καλό είναι να προηγείται ένας πειραματικός προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της. Στην προκειμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν δύο διατάξεις αισθητήρων φωτεινότητας βασισμένες σε LDR φωτοαντιστάσεις. Η μία εγκαταστάθηκε στο παρακολούθημα και λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τη φωτεινότητα του

περιβάλλοντος (εξωτερική φωτεινότητα) και η άλλη στην είσοδο της οικίας όπου λαμβάνει πληροφορίες για τη φωτεινότητα εντός του χώρου της οικίας (εσωτερική φωτεινότητα). Το ηλεκτρονικό κύκλωμα των διατάξεων των

αισθητήρων φωτεινότητας απεικονίζεται στο σχήμα Σ6. Οι



Σχήμα Σ6 (Ηλεκτρονικό κύκλωμα φωτοαντιστάσεων)

φωτοαντιστάσεις LDR είναι αναλογικά στοιχεία και τροφοδοτούνται με τάση 5 V DC. Η σε σειρά συνδεσμολογία των LDR με τις αντιστάσεις R 100K για τον αισθητήρα της εξωτερικής φωτεινότητας και R 10K για τον αισθητήρα της εσωτερικής φωτεινότητας αντίστοιχα, σχηματίζουν διάταξη διαιρέτη τάσης. Η έξοδος του κάθε διαιρέτη τάσης V_o οδηγείται ως είσοδος στις αναλογικές θύρες A1 και A13 του μικροελεγκτή. Η τάση εξόδου των διαιρετών τάσης V_o στα

σημεία εξόδου A και B είναι: $V_o = \frac{R}{R+R_{LDR}} \cdot V_S$ (1). Όπου: V_S είναι η τάση τροφοδοσίας 5V

DC, R αντίσταση 100 KΩ για το διαιρέτη εξωτερικής φωτεινότητας και 10 KΩ για το διαιρέτη εσωτερικής φωτεινότητας αντίστοιχα, R_{LDR} η ωμική αντίσταση που παρουσιάζει η φωτοαντίσταση LDR. Είναι φανερό ότι όσο αυξάνεται η τιμή της φωτοαντίστασης τόσο μειώνεται η τάση εξόδου V_o δηλαδή όσο λιγότερο φως προσπίπτει πάνω στην αντίσταση τόσο αυξάνεται η τιμή της και τόσο μειώνεται η τάση εξόδου. Αντίστοιχα όσο περισσότερο φως προσπίπτει πάνω στην αντίσταση τόσο μειώνεται η τιμή της και τόσο αυξάνεται η τάση εξόδου. (Αν αλλάξουμε τις θέσεις των στοιχείων LDR και R της εικόνας 23 το κύκλωμα θα λειτουργεί αντίστροφα, δηλαδή με πολύ φως θα έχουμε μικρή τάση εξόδου με λιγότερο φως μεγαλύτερη). Όταν ο μικροελεγκτής «διαβάζει» από τις αναλογικές θύρες A1 και A13, οι τιμές αντιστοιχούν στις τάσεις εξόδου από του διαιρέτες τάσης των φωτοαντιστάσεων και κυμαίνονται μεταξύ 0 V και 5 V. Οι αναλογικές είσοδοι εσωτερικά του μικροελεγκτή συνδέονται με ένα αναλογικοψηφιακό μετατροπέα δέκα ψηφίων που μετατρέπει την αναλογική ηλεκτρική τάση σε μία ψηφιακό σήμα δηλαδή σε τιμή που κυμαίνεται από 0 έως 1023. Έτσι γνωρίζοντας την τιμή που διαβάστηκε από μια αναλογική είσοδο μπορεί να προσδιοριστεί η αναλογική τάση εισόδου εκπεφρασμένη σε mV σύμφωνα με

τον παρακάτω τύπο $V_o = \frac{readValue}{1023} \cdot V_S$ (2). Όπου V_S είναι η τάση τροφοδοσίας που είναι 5000 mV, readValue είναι η τιμή που διαβάζει ο μικροελεγκτής από την αναλογική είσοδο μετά την παρέμβαση του αναλογικοψηφιακού μετατροπέα. Εξισώνοντας τις εξισώσεις (1) και (2) :

$$\frac{readValue}{1023} = \frac{R}{R+R_{LDR}} \Rightarrow R_{LDR} = \frac{1023 \cdot R}{readValue} - R \quad (3)$$

Όπου: R_{LDR} Η τιμή της φωτοαντίστασης σε Ω, R είναι η τιμή της αντίστασης του διαιρέτη τάσης 10 KΩ για το διαιρέτη που μετρά τη φωτεινότητα εντός της οικίας και 100 KΩ για το διαιρέτη που μετρά τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος.

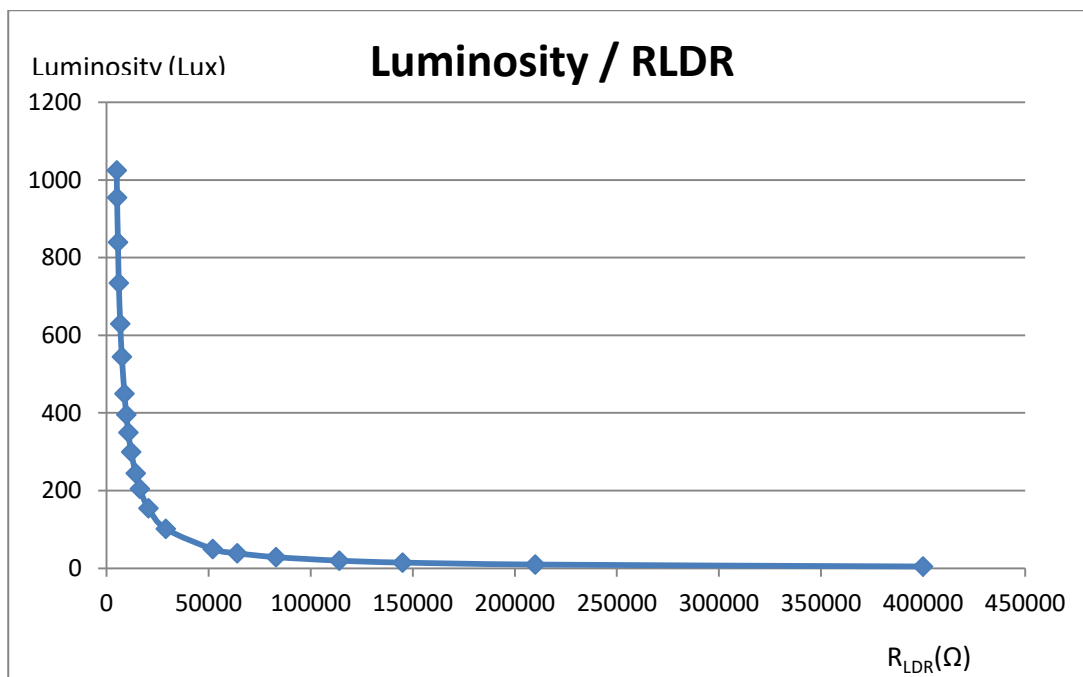
Προκειμένου αφ ενός να προσδιοριστούν τα ακριβή χαρακτηριστικά των φωτοαντιστάσεων και αφ εταίρου να συσχετιστούν οι τιμές ωμικής αντίστασης των φωτοαντιστάσεων με τις αντίστοιχες τιμές φωτεινότητας (lux) του περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκαν πειραματικές

μετρήσεις όπου καταγράφηκαν οι ωμικές τιμές που παρουσίασε κάθε φωτοαντίσταση για διάφορες τιμές φωτεινότητας με τη βοήθεια ισχυρού φωτιστικού στοιχείου μεταβλητού φωτισμού. Έτσι, οι καταγραφές των πειραματικών μετρήσεων, για τη φωτοαντίσταση που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της φωτεινότητας εντός της οικίας (εσωτερική φωτεινότητα), συνοψίζονται στις στήλες $\sigma(2)$ και $\sigma(3)$ του πίνακα Π1 που ακολουθεί:

α/α	Luminosity	$R_{LDR}(\Omega)$	Y	X	$X \cdot Y$	χ^2
i	(Lux)	Ω	$\log(\text{Luminosity})$	$\log(R_{LDR})$		
$\sigma(1)$	$\sigma(2)$	$\sigma(3)$	$\sigma(4)$	$\sigma(5)$	$\sigma(6)$	$\sigma(7)$
1	1025	5000	3,010723865	3,69897	11,13657727	13,68238
2	955	5140	2,980003372	3,7109631	11,05868261	13,77125
3	840	5580	2,924279286	3,7466342	10,95620478	14,03727
4	735	6000	2,866287339	3,7781513	10,82926709	14,27443
5	630	6700	2,799340549	3,8260748	10,71048634	14,63885
6	545	7500	2,736396502	3,8750613	10,60370409	15,0161
7	450	8760	2,653212514	3,9425041	10,46030123	15,54334
8	396	9670	2,597695186	3,9854265	10,35292317	15,88362
9	350	10690	2,544068044	4,0289777	10,24999343	16,23266
10	300	12020	2,477121255	4,0799045	10,10641807	16,64562
11	245	14280	2,389166084	4,1547282	9,926335723	17,26177
12	205	16300	2,311753861	4,2121876	9,737540958	17,74252
13	155	20500	2,190331698	4,3117539	9,444171157	18,59122
14	102	29000	2,008600172	4,462398	8,963173385	19,913
15	50	52000	1,698970004	4,7160033	8,012348221	22,24069
16	39	64000	1,591064607	4,80618	7,646942852	23,09937
17	29	83000	1,462397998	4,9190781	7,193649954	24,19733
18	20	114000	1,301029996	5,0569049	6,579184897	25,57229
19	15	145000	1,176091259	5,161368	6,070239792	26,63972
20	10	210000	1	5,3222193	5,322219295	28,32602
21	5	400000	0,698970004	5,60206	3,915671896	31,38308
Άθροισμα			45,4175036	91,397549	189,2760362	404,6925
ΜΟ			2,162738266	4,3522642	9,013144581	19,27107

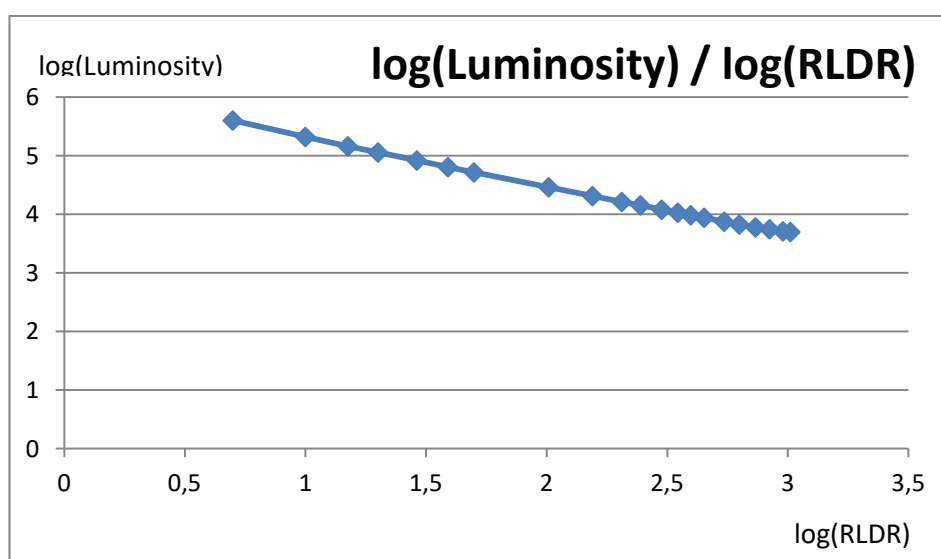
Πίνακας: Π1 (πίνακας μετρήσεων αντίστασης για διάφορες τιμές φωτεινότητας)

Το πλήθος (n) των μετρήσεων είναι 21 (**n=21**). Η γραφική παράσταση της φωτεινότητας συναρτήσει της αντίστασης $\text{luminosity}=f(R_{LDR})$ απεικονίζεται στο διάγραμμα Δ1



Σχήμα Σ7 (Διάγραμμα φωτεινότητας / αντίστασης)

Από το παραπάνω διάγραμμα (σχήμα Σ7) είναι φανερό ότι η φωτεινότητα και η τιμή της αντίστασης που παρουσιάζουν οι φωτοαντιστάσεις δεν σχετίζονται γραμμικά. Έτσι προκειμένου να διαμορφωθεί μια γραμμική σχέση που θα διευκολύνει τους υπολογισμούς, λογαριθμίζοντας τις τιμές των στηλών σ(4) και σ(5) προσδιορίζεται η σχέση του λογάριθμου της φωτεινότητας συναρτήσει του λογάριθμου της τιμής της αντίστασης R_{LDR} (φωτοαντίσταση). Στο διάγραμμα του σχήματος Σ8 απεικονίζεται η σχετική γραφική παράσταση:



Σχήμα Σ8 (Διάγραμμα λογαρίθμου φωτεινότητας σε σχέση με λογάριθμο αντίστασης)

Στο παραπάνω διάγραμμα του σχήματος Σ8 εμφανίζεται η σχέση του λογάριθμου της φωτεινότητας συναρτήσει του λογαρίθμου της αντίστασης. Όπως ήταν αναμενόμενο παρουσιάζεται μια περίπου γραμμική συμπεριφορά που παραπέμπει σε ευθεία της γενικής μορφής: $y = ax + b$. Προκειμένου να προσδιοριστούν οι συντελεστές της εξίσωσης χρησιμοποιήθηκε με μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης. Η εξίσωση της γραμμικής παλινδρόμησης περιγράφεται από την εξίσωση: $\hat{Y} = \hat{a} \cdot x + \hat{b}$ (4). Όπου $\hat{Y}$ είναι η τιμή που αντιπροσωπεύει την εκτίμηση από την εξίσωση της παλινδρόμησης. Α είναι η κλίση της ευθείας και β το σημείο του η ευθεία τέμνει τον κατακόρυφο άξονα και δηλώνει τη μετατόπιση. Ο

προσδιορισμός των α και β γίνεται με τη βοήθεια των τύπων: $\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i) - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum_{i=1}^n (x_i^2) - n \cdot \bar{x}^2}$ (5) και

$\hat{b} = \bar{y} - \hat{a} \cdot \bar{x}$ (6). Εφαρμόζοντας τους τύπους (5) και (6) στις μετρήσεις των στηλών σ(4) και σ(5) του πίνακα Π1 προσδιορίζονται οι συντελεστές α και β και είναι: $\hat{a} = -1,22$ και $\hat{b} = 7,45$ οπότε η εξίσωση διαμορφώνεται ως εξής: $\hat{y} = -1.22 \cdot x + 7.45$ (7). Για την αξιολόγηση της εξίσωσης παλινδρόμησης υπολογίστηκε ο συντελεστής προσδιορισμού [18] ο οποίος ισούται με το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης (r) του Pearson και προκύπτει από τον τύπο:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2} \quad (8) \text{ με αποτέλεσμα } R^2 = 0,998 \text{ πράγμα που δηλώνει πολύ υψηλή}$$

προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα. Η εξαρτημένη μεταβλητή $\hat{y}$ της εξίσωσης (7) αντιπροσωπεύει το λογάριθμο της τιμής της φωτεινότητας ενώ η ανεξάρτητη μεταβλητή x αντιπροσωπεύει το λογάριθμο της ωμικής αντίστασης της φωτοαντίστασης R_{LDR} . Έτσι η εξίσωση (7) μπορεί να γραφεί ως: $\log(lumin) = \hat{a} \cdot \log(R_{LDR}) + \hat{b} \Rightarrow 10^{(\log(lumin))} = 10^{(\hat{a} \cdot \log R_{LDR} + \hat{b})} \Rightarrow lumin = 10^{(\log(R_{LDR}))^{\hat{a}}} \cdot 10^{\hat{b}}$

$$\Rightarrow lumin = R_{LDR}^{\hat{a}} \cdot 10^{\hat{b}} \quad (9) \text{ Αντικαθιστώντας την εξίσωση (3) στην (9) η (9)}$$

γίνεται: $lumin = \left(\frac{1023 \cdot R}{readValue} - R \right)^{\hat{a}} \cdot 10^{\hat{b}}$ (11). Όμως $\hat{a} = -1.22$, $\hat{b} = 4.45$, και $R = 10 \cdot 10^3$. Έτσι η εξίσωση (11) τελικά διαμορφώνεται σε :

$$lumin = \left(\frac{1023 \cdot 10^4}{readValue} - 10^4 \right)^{-1.22} \cdot 10^{7.45} \quad (12). \text{ Η εξίσωση (12) δίνει τη σχέση}$$

μεταξύ των δυαδικών τιμών που διαβάσει από τις αναλογικές θύρες ο μικροελεγκτής με την

επικρατούσα φωτεινότητα σε Lux. Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία και μετά από αντίστοιχες πειραματικές μετρήσεις για την φωτοαντίσταση που ανιχνεύει την εξωτερική φωτεινότητα προέκυψε ότι: $\hat{\alpha} = -1.20$, $\hat{\beta} = 7.38$ και $R=100 \cdot 10^3$. Οπότε η εξίσωση (11) για την περίπτωση της φωτοαντίστασης για την ανίχνευση της φωτεινότητας του περιβάλλοντος (εξωτερική φωτεινότητα) διαμορφώνεται σε:

$$lumin = \left(\frac{1023 \cdot 10^5}{readValue} - 10^5 \right)^{-1.20} \cdot 10^{7.38} \quad (13).$$

Παρατηρούνται διαφοροποιήσεις έστω και μικρές μεταξύ των φωτοαντιστάσεων παρά το γεγονός ότι έχουν τις ίδιες ονομαστικές τιμές και χαρακτηριστικά. Έτσι, προκειμένου να μειωθεί όσο είναι δυνατό το σφάλμα μέτρησης είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της σχέσης ανάμεσα στη φωτεινότητα και την τάση εξόδου της διάταξης κάθε φωτοαντίστασης ξεχωριστά. Οι αντιστάσεις R 100 KΩ και R 10 KΩ στα σημεία A και B αντίστοιχα (εικόνα 23) λειτουργούν ως pull-down αντιστάσεις των διαιρετών τάσης που σχηματίζουν με τις φωτοαντιστάσεις. Οι τιμές των αντιστάσεων αυτών επηρεάζουν την περιοχή ευαισθησίας προσδιορισμού της φωτεινότητας. Αν για παράδειγμα σε ένα ιδιαίτερα φωτεινό περιβάλλον χρησιμοποιηθεί αντίσταση 10 KΩ, θα κορεστεί γρήγορα δηλαδή θα πιάσει την ανώτατη τιμή, με αποτέλεσμα να μην είναι σε θέση να διακρίνει ένα φωτεινό επίπεδο από ένα πιο φωτεινό. Αν πάλι χρησιμοποιηθεί μικρότερη αντίσταση για παράδειγμα 1 KΩ τότε θα αυξηθεί η ευαισθησία στη φωτεινότητα έτσι ώστε να μπορεί να διακρίνει ένα φωτεινό επίπεδο από ένα πιο φωτεινό αλλά δε θα μειωθεί η ευαισθησία σε επίπεδα σκότους (απουσίας φωτός), δηλαδή δε θα μπορεί να διακρίνει ένα σκοτεινό επίπεδο από ένα πιο σκοτεινό . Τελικά, η ωμική τιμή των αντιστάσεων αυτών, εξαρτάται αποκλειστικά από τα επίπεδα φωτεινότητας που επικρατούν στο χώρο εγκατάστασης της φωτοαντίστασης, σε συνδυασμό με το είδος της μέτρησης (φωτεινότητα ή σκοτεινότητα. Υπάρχει, σαν οδηγός ο εμπειρικός τύπος του Axel – Benz που είναι : $R = \sqrt{R_{min} \cdot R_{max}}$ (14). R_{min} είναι η ελάχιστη τιμή αντίστασης που παρουσιάζει η φωτοαντίσταση όταν εκτεθεί σε περιβάλλον υψηλής φωτεινότητας, R_{max} είναι η μέγιστη τιμή αντίστασης που παρουσιάζει η φωτοαντίσταση όταν εκτεθεί σε πλήρως σκοτεινό περιβάλλον και R η εκτιμώμενη τιμή της αντίστασης που θα χρησιμοποιηθεί. Με εφαρμογή αυτού του τύπου για τον υπολογισμό της αντίστασης pull-down παρέχεται γενικά μια ελαφρώς καλύτερη περιοχή υπολογισμών. Στην παρούσα υλοποίηση, μεγαλύτερη ακρίβεια (λιγότερη απόκλιση από την πραγματική τιμή της φωτεινότητας του χώρου) παρατηρήθηκε όταν για την διάταξη εξωτερικής φωτεινότητας

χρησιμοποιήθηκε αντίσταση 100 ΚΩ, ενώ για τη διάταξη της εσωτερικής φωτεινότητας 10 ΚΩ. Τα συμπεράσματα προέκυψαν κατόπιν πειραματικών μετρήσεων.

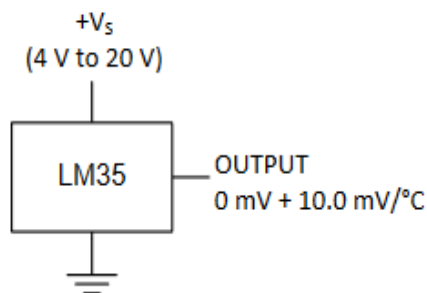
4.2.8 Αισθητήρες Θερμοκρασίας – Υγρασίας

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας χρησιμοποιούνται για να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία ή την υγρασία που επικρατεί στο σημείο όπου είναι εγκατεστημένοι. Έχουν εφαρμογή είτε αυτόνομοι ως μετρητές θερμοκρασίας ή υγρασίας (θερμόμετρα ή υγρόμετρα), είτε αποτελούν τμήμα κάποιου αυτόματου συστήματος μια και τα μεγέθη τόσο της θερμοκρασίας όσο και της υγρασίας αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους για τη λειτουργία ή τον προσδιορισμό της απόδοσης διαφόρων συστημάτων και με τις πληροφορίες που παρέχουν σχετικά με τα φυσικά μεγέθη που παρακολουθούν βοηθούν τα συστήματα που υποστηρίζουν να πραγματοποιούν τις αναγκαίες προσαρμογές προκειμένου να ανταποκρίνονται με ακρίβεια στους σκοπούς τους.

Υπάρχουν πολλών ειδών αισθητήρες θερμοκρασίας. Οι πιο γνωστοί τύποι είναι : Τα θερμοζεύγη, οι RTD αισθητήρες, Τα thermistors, οι αισθητήρες ημιαγωγών, οι υπέρυθροι αισθητήρες, θερμόμετρα υδραργύρου και αρκετοί άλλοι. Στις περισσότερες κατηγορίες μετατρέπεται η θερμοκρασία σε ηλεκτρική τάση ή ρεύμα. Κάθε κατηγορία διαφέρει ως προς το εύρος των θερμοκρασιών που μπορεί να μετρήσει, την ακρίβεια, τη γραμμικότητα μη μεταξύ ηλεκτρικής τάσης ή ρεύματος και θερμοκρασίας, την ταχύτητα απόκρισης σε μεταβολές θερμοκρασίας, και το κόστος. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά αισθητήρες ημιαγωγών. Παρά το γεγονός ότι μετρούν σχετικά μικρό εύρος θερμοκρασιών (από -50 °C έως +150 °C) αυτό όμως κρίνεται ικανοποιητικό μια και χρησιμοποιούνται για μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Επίσης έχουν γραμμική συμπεριφορά, σχετικά καλή ακρίβεια, και χαμηλό κόστος. Προκειμένου να συγκριθούν τα χαρακτηριστικά τους εγκαταστάθηκαν τέσσερις αισθητήρες ημιαγωγών στην ίδια θέση. Οι δύο αισθητήρες τάσης αναλογικοί (LM35z, TMP36) και δύο ψηφιακοί (DS18B20, DHT22). Στο σχήμα Σ9 απεικονίζεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα της διάταξης αισθητήρων θερμοκρασίας – υγρασίας.

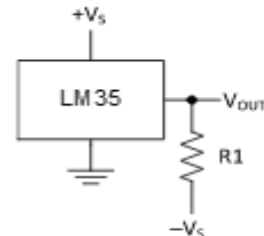
για τον TMP36. Έτσι, πρώτα προσδιορίζεται η αναλογική τάση εξόδου V_o του αισθητήρα που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία και είναι: $V_o = \frac{readValue}{1023} \cdot V_S$. (mV) Στη συνέχεια με τον τύπο $T = \frac{V_o}{10}$ (°C) υπολογίζεται η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.

Basic Centigrade Temperature Sensor (2°C to 150°C)



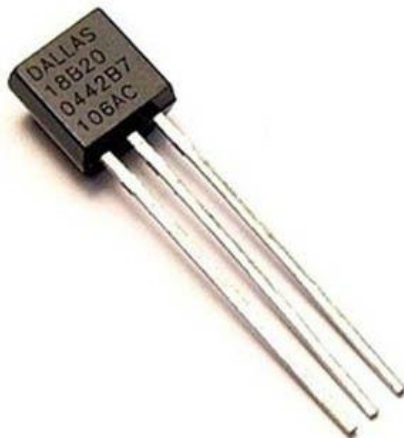
Σχήμα Σ10 (Απλή συνδεσμολογία LM35)

Full-Range Centigrade Temperature Sensor



Choose $R_1 = -V_S / 50 \mu A$
 $V_{OUT} = 1500 \text{ mV at } 150^\circ C$
 $V_{OUT} = 250 \text{ mV at } 25^\circ C$
 $V_{OUT} = -550 \text{ mV at } -55^\circ C$

Σχήμα Σ11 (Ευρεία συνδεσμολογία LM35)

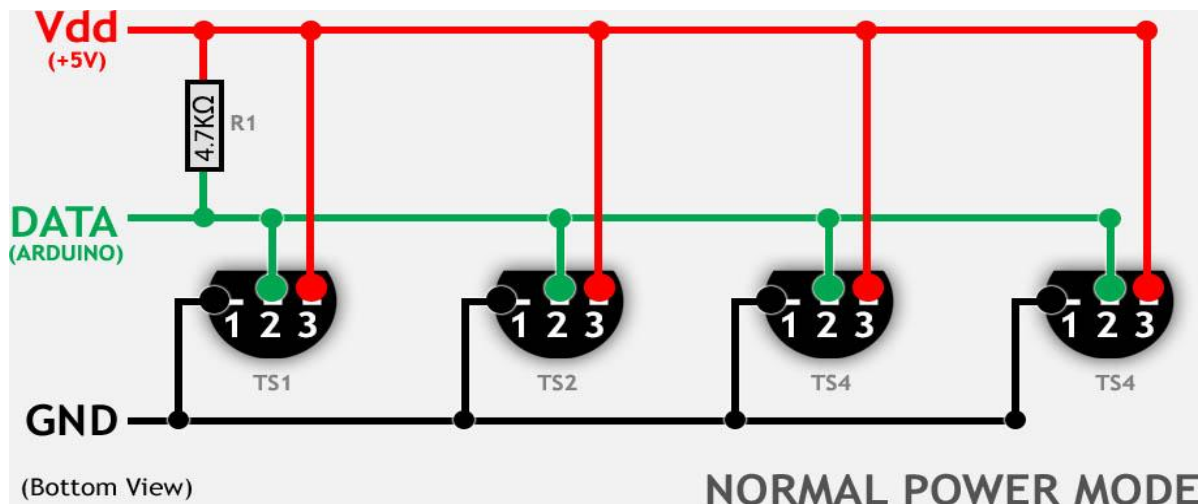


Εικόνα Ε20 (Αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20 TO-92)

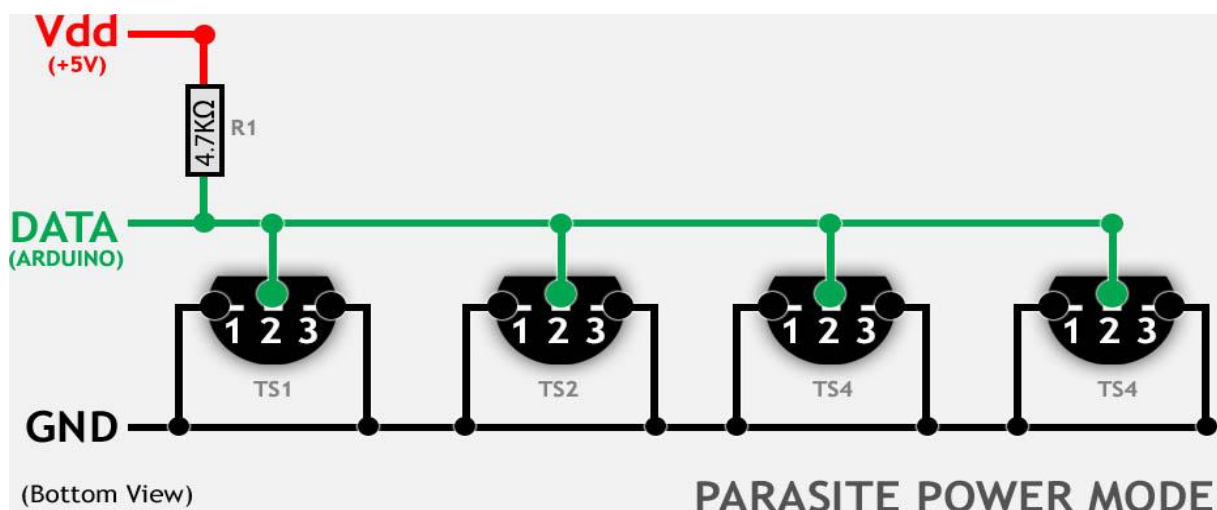
Ο DS18B20 [21] είναι ψηφιακός αισθητήρας θερμοκρασίας σε μορφή ολοκληρωμένου κυκλώματος. Μετράει θερμοκρασία στην κλίμακα Κελσίου αποστέλλοντας πληροφορία 9 έως 12 bits που μεταδίδεται σειριακά μέσω μιας γραμμής μετάδοσης (1-wire bus) για την επικοινωνία του με μικροελεγκτές ή άλλες ηλεκτρονικές συσκευές. Το εύρος των θερμοκρασιών που μπορεί να μετρήσει είναι από -55 °C έως +125. Από τους -10

°C έως τους +85°C παρουσιάζει σφάλμα ± 0.5 °C ενώ για θερμοκρασία -55 °C ή +125 °C παρουσιάζει σφάλμα ± 2 °C.

Μπορεί να τροφοδοτείται εξωτερικά από τάση που κυμαίνεται από 3V έως 5.5V (normal power), έχει όμως τη δυνατότητα να τροφοδοτείται και από τη γραμμή δεδομένων (parasite power) με αποτέλεσμα να χρειάζεται μόνο 2 γραμμές για τη σύνδεσή του (1-wire bus και γείωση) απλοποιώντας τις κατασκευές. Στο σχήμα Σ12 φαίνεται η συνδεσμολογία σε normal power και στο σχήμα Σ13 η συνδεσμολογία για parasite power.



Σχήμα Σ12 (DS18B20 συνδεσμολογία normal power)



Σχήμα Σ13 (DS18B20 συνδεσμολογία parasite power)

Κάθε DS18B20 αισθητήρας διαθέτει ένα μοναδικό σειριακό κωδικό μήκους 64 bits που χρησιμοποιείται για τη διευθυνσιοδότηση των DS18B20, πράγμα που επιτρέπει την λειτουργία πολλών DS18B20 πάνω στην ίδια γραμμή δεδομένων (στο ίδιο 1-wire bus). Έτσι επιτρέπει στο μικροελεγκτή μέσα από την ίδια γραμμή (πρακτικά από μια θύρα) να ελέγχει πολλούς DS18B20 καταναμεμένους σε μία ευρεία περιοχή. Αυτό το χαρακτηριστικό βρίσκει πολύ μεγάλη εφαρμογή σε HVAC έλεγχο περιβάλλοντος, σε συστήματα παρακολούθησης θερμοκρασιών μέσα σε κτίρια και γενικά σε διάφορα συστήματα ελέγχου όπου απαιτείται καταγραφή ή έλεγχος θερμοκρασίας. Μπορεί να συνδεθούν στην ίδια γραμμή (1-wire bus) μέχρι και 127 αισθητήρες DS18B20. Ο χρόνος μετατροπής της θερμοκρασίας σε ψηφιακή λέξη γίνεται από τον αισθητήρα σε 750 msec. Από αυτό προκύπτει, ότι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων

θερμοκρασίας με αυτούς τους αισθητήρες, δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 1 sec. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας DS18B20 με τροφοδοσία σε normal power mode και η επικοινωνία με το μικροελεγκτή πραγματοποιήθηκε μέσω της ψηφιακής θύρας D6 του μικροελεγκτή προγραμματισμένη ως είσοδος.



Εικόνα E21 (DHT22 αισθητήρας θερμοκρασίας – υγρασίας)

ενώ, το εύρος μέτρησης της θερμοκρασίας κυμαίνεται μεταξύ -40°C και 80°C με ακρίβεια επίσης δέκατου (0.1°C) και σφάλμα $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Το ελάχιστο χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων πρέπει να είναι δύο δευτερόλεπτα (2 sec).

Ο DHT22 [22] είναι αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας ψηφιακής εξόδου. Είναι υψηλής ακρίβειας και χαμηλού κόστους. Διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη ROM όπου αποθηκεύεται ο συντελεστής διακρίβωσης (calibration coefficient). Έχει πολύ χαμηλή κατανάλωση ρεύματος αλλά μπορεί να μεταδίδει τις πληροφορίες για τη θερμοκρασία και την υγρασία που μετρά σε μεγάλη απόσταση, έως 20 m. Η τάση τροφοδοσίας του κυμαίνεται μεταξύ 3 και 6V. Το εύρος μέτρησης της σχετικής υγρασίας κυμαίνεται μεταξύ 0% και 100% με ακρίβεια δέκατου (0.1%) και σφάλμα $\pm 2\%$ ενώ, το εύρος μέτρησης της θερμοκρασίας κυμαίνεται μεταξύ -40°C και 80°C με ακρίβεια επίσης δέκατου (0.1°C) και σφάλμα $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Το ελάχιστο χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων πρέπει να είναι δύο δευτερόλεπτα (2 sec).

Για τη μέτρηση της υγρασίας χρησιμοποιεί εσωτερικά ένα στοιχείο ανίχνευσης υγρασίας το οποίο έχει δύο ηλεκτρόδια με υπόστρωμα διατήρησης υγρασίας μεταξύ τους. Έτσι καθώς η υγρασία αλλάζει, η αγωγιμότητα του υποστρώματος αλλάζει ανάλογα ή η αντίσταση μεταξύ αυτών των ηλεκτροδίων αλλάζει επίσης ανάλογα. Αυτή η αλλαγή στην αντίσταση μετράται και μετατρέπεται από κατάλληλες διατάξεις του αισθητήρα στο ψηφιακό σήμα (σειρά bits) που μεταδίδεται ως έξοδος προς τη διάταξη στην οποία συνδέεται ο αισθητήρας ή σε μικροελεγκτή. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται εσωτερικά ένας NTC θερμίστορ. Το θερμίστορ είναι μία μεταβλητή αντίσταση η τιμή της οποίας μεταβάλλεται ανάλογα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται. Είναι κατασκευασμένοι με πυροσυσσωμάτωση ημιαγωγών και υλικών όπως κεραμικά ή πολυμερή προκειμένου να παράγονται μεγαλύτερες μεταβολές της τιμής της αντίστασης για μικρές αλλαγές θερμοκρασίας. Ο όρος NTC αναφέρεται στο προσδιορισμό ενός θερμίστορ με αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας που σημαίνει ότι η αντίσταση που παρουσιάζει μειώνεται με την αύξηση της

θερμοκρασίας. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιείται ένας αισθητήρας θερμοκρασίας – υγρασίας DHT22 και συνδέεται με το μικροελεγκτή μέσω της D5 ψηφιακής θύρας του που προγραμματίζεται ως είσοδος.

4.3. Περιγραφή Λογισμικού (Software)

Το λογισμικό της εφαρμογής συνίσταται σε δύο επιμέρους εφαρμογές λογισμικού που συνεργάζονται σε μεγάλο βαθμό. Η μια εφαρμογή είναι εγκατεστημένη εντός του μικροελεγκτή και ο σκοπός του είναι να συντονίζει τα επιμέρους συστήματα του υλικού, που περιγράφηκε πιο πάνω, διαβάζοντας τις τιμές των διάφορων αισθητήρων που διαθέτει η κατασκευή και τα οποία αποτελούν των κύριο όγκο των δεδομένων. Το λογισμικό του μικροελεγκτή επεξεργάζεται τα δεδομένα δημιουργώντας πληροφορίες που καθορίζουν τη λήψη αποφάσεων σύμφωνα με κανόνες που έχουν ορισθεί. Δεδομένα όμως, εκτός από τις τιμές των αισθητήρων είναι και οι επιθυμίες που εκφράζει ο χρήστης μέσα από τη web εφαρμογή που αποτελεί το δεύτερο συστατικό στοιχείο του λογισμικού της κατασκευής. Επιπλέον ο μικροελεγκτής είναι επιφορτισμένος με τη καταγραφή των τιμών των αισθητήρων και της κατάστασης των συσκευών των υποσυστημάτων που διαθέτει σε μόνιμο μέσο αποθήκευσης (κάρτα μνήμης micro SD στην προκειμένη περίπτωση). Το λογισμικό του μικροελεγκτή διαμορφώνει σε κατάλληλη μορφή τα δεδομένα που έχει καταγράψει και τα μεταδίδει στο χρήστη όταν τα ζητά (on demand) ή περιοδικά προκειμένου ο τελευταίος να ενημερώνεται απομακρυσμένα για την κατάσταση των συστημάτων της οικίας. Επειδή η επικοινωνία με το χρήστη γίνεται μέσω web εφαρμογής τα αιτήματα του χρήστη διατυπώνονται σύμφωνα με το http πρωτόκολλο. Κατά συνέπεια, το λογισμικό του μικροελεγκτή πρέπει να αναγνωρίζει και να διαχειρίζεται αιτήματα του πρωτοκόλλου http (http requests) και να απαντά κατάλληλα (response). Υποστηρίζει δηλαδή και στοιχειώδη λειτουργία web server.

4.3.1 Περιγραφή Λογισμικού μικροελεγκτή

Το πρόγραμμα του μικροελεγκτή είναι γραμμένο σε C++ για την ακρίβεια σε μέρος και επέκταση της C++ μια που δεν υποστηρίζεται στο σύνολό της και παράλληλα διαθέτει πρόσθετα χαρακτηριστικά (συναρτήσεις, εντολές, δομές) που επιτρέπουν εξειδικευμένες λειτουργίες για επικοινωνία με το μικροελεγκτή. Στην πραγματικότητα η γλώσσα του Arduino μικροελεγκτή είναι

ένα σύνολο από C/C++ συναρτήσεις, κλάσεις, δομές που τελικά «περνούν» μέσα από ένα ειδικό C/C++ μεταφραστή για το μικροελεγκτή που λέγεται avr-g++. Αυτός μεταφράζει τις εντολές και συνδέει – ενσωματώνει τις βιβλιοθήκες σε ένα εκτελέσιμο (hex) πρόγραμμα το οποίο τελικά μεταφορτώνεται μέσω του περιβάλλοντος ανάπτυξης (Arduino IDE) στο μικροελεγκτή.

Όπως κάθε πρόγραμμα για τον Arduino μικροελεγκτή έτσι το πρόγραμμα του μικροελεγκτή της παρούσας εργασίας δομείται σε δύο τμήματα τα οποία περιλαμβάνονται σε δύο δομικές συναρτήσεις της γλώσσας. Η μια είναι η setup() συνάρτηση και η άλλη είναι η loop() συνάρτηση. Πριν όμως από τη χρήση των παραπάνω συναρτήσεων δηλώνονται, οι απαραίτητες για τη λειτουργία της εφαρμογής, βιβλιοθήκες ως εξής:

```
...  
#include <Math.h>  
#include <DallasTemperature.h>  
#include <OneWire.h>  
#include <Wire.h>  
#include <SPI.h>  
#include <Ethernet2.h>  
#include <SD.h>  
#include <string.h>  
#include <DHT.h>  
#include <Servo.h>  
#include <Time.h>  
#include "RTCLib.h"  
...
```

Είναι συνήθεις πρακτική αμέσως μετά να δηλώνονται σταθερές και μεταβλητές γενικής εμβέλειας. Οι σταθερές στην πραγματικότητα αντιστοιχίζουν ένα αριθμό συνήθως με μία λέξη για (μνημονικό) που περιγράφει την ποσότητα με την οποία αντιστοιχίζεται. Για παράδειγμα η εντολή `const byte buzzer Pin=33;` δηλώνει ότι το buzzer της εφαρμογής συνδέεται με τη θύρα 33 του μικροελεγκτή. Τμήμα τέτοιων δηλώσεων σταθερών και μεταβλητών του προγράμματος ακολουθεί:

```
...  
const byte LDR = A1;  
const byte TMP36 = A5;  
const byte LM35 = A2;  
const byte LEDpin = 3;  
const byte inLEDpin = 2;  
const byte fanPin=40; // ανεμιστηρας
```

```

const byte redLED = A0;
const byte servoPin = 7;
const byte trigPin = 8;
const byte echoPin = 9;
const byte homeLDR = A13;//A3
const byte gasPin = A4;
const byte buzzerPin = 33;

const byte redSign = 30;
const byte greenSign = 31;
const byte autoLightValue = 5;
byte redStatus=0;
byte L1Value=0, L2Value=0, barValue=0, fanValue=0;
byte L1Status=0, L2Status=0,LDRRegulatorStatus=0, fanStatus=0, barStatus=0,
barChangeCounter=0;
byte L1LevelValue=255; // external light value
byte L2LevelValue=255; // internal light value
byte gasStatus=0; //gasStatus: (0=no gas sensor, 1=gas sensor initialize, 2=gas sensor ready)
String request, bodyString;
// Enter a MAC address and IP address for your controller below.
// The IP address will be dependent on your local network:
byte mac[] = {
  0x90, 0xA2, 0xDA, 0x10, 0xAC, 0xA4
};
IPAddress ip(192, 168, 1, 177);
// Initialize the Ethernet server library
// with the IP address and port you want to use
// (port 80 is default for HTTP):
EthernetServer server(80);

DHT dht(DHTPIN,DHTTYPE);

OneWire oneWire(6);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

Servo srv;

File myFile, settingsFile;
RTC_DS3231 rtc;
const int oneSec=1000;
unsigned int counter=0, openDoorCounter=0, homeLightCounter=0, rglValue=0, diff=10000,
luminOff=700, luminOn=500;
int mainHomeLightValue=-1, gasValue=0, incLuminCounter=0;
unsigned long indx=0, timeVar=0,timeVarSec=0,timeVarInLumin=0, ledOnCounter=0,
openDoorTime=0, nowTimestamp=0, homeLightSum=0;
double tmp36Sum, lm35Sum;
float dht22t, humidity, ds18b20, voltage, tempTMP36C, tempLM35C;
long maxDistance=0, sumMaxDistance=0, prevCm=0;
String nowDate="0000-00-00 00:00:00";

```

```

byte onOff=0, autoLightExCounterOn=0, autoLightInCounterOn=0, autoLightExCounterOff=0,
autoLightInCounterOff=0;

struct settings {
    uint16_t luminOff=700; // σε ποιά τιμη φωτεινότητας σβήνουν τα φώτα: 700
    uint16_t luminOn=500; // σε ποιά τιμη φωτεινότητας ανάβουν τα φώτα: 500
    uint32_t sensorsReadFreq=10000; // συχνότητα καταγραφής τιμών αισθητήρων (msec) : 10000
-- 10 sec
};

struct settings dataSettings;
...

```

Ακολουθεί η κλίση των συναρτήσεων `setup()` και `loop()` με αυτή τη σειρά αυστηρά. Πρόκειται για δύο συναρτήσεις μέσα στις οποίες υλοποιείται το πρόγραμμα του μικροελεγκτή. Τα ονόματά των συναρτήσεων αυτών, αποτελούν δηλωτικά στοιχεία του σκοπού τους. Έτσι η συνάρτηση `setup()` η οποία εκτελείται μόνο μια φορά κατά την έναρξη λειτουργίας του μικροελεγκτή, έχει σαν μοναδικό σκοπό να αρχικοποιήσει όλες τις παραμέτρους του προγράμματος που αφορούν τις διάφορες διατάξεις που περιγράφτηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Αναλυτικότερα η συνάρτηση `setup()` στην παρούσα εφαρμογή υλοποιεί τις παρακάτω λειτουργίες:

Ορίζεται ο ρυθμός μετάδοσης της σειριακής θύρας που διαθέτει για σειριακή επικοινωνία , κατόπιν ελέγχεται η παρουσία και τη διάταξης χρονισμού πραγματικού χρόνου (real time clock) προκειμένου να λαμβάνεται η τρέχουσα ημερομηνία και ώρα κατά τη διάρκεια που εκτελείται το πρόγραμμα. Αρχικοποιείται η Ethernet βιβλιοθήκη καθώς και οι ρυθμίσεις δικτύου (ip, mac, gateway, subnet, κλπ) προετοιμάζοντας τη σύνδεση του μικροελεγκτή με το διαδίκτυο και ενεργοποιεί το server έτσι ώστε να παρακολουθεί ενδεχόμενη ύπαρξη αιτημάτων από clients. Στη συνέχεια προγραμματίζεται ο τρόπος λειτουργίας των θυρών του μικροελεγκτή ως είσοδοι ή έξοδοι, και αρχικοποιούνται οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται λαμβάνοντας μια προκαθορισμένη τιμή. Οι μεταβλητές μπορούν να διακριθούν σε πέντε κατηγορίες ως προς τη σημασία που έχουν στο πρόγραμμα. Έτσι υπάρχουν μεταβλητές κλάσεων που είναι οι πιο σύνθετες, διαθέτουν μια σειρά ιδιοτήτων και μεθόδων που χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο συσκευών όπως για παράδειγμα η κλάση Servo για τον έλεγχο του κινητήρα της αύλειας θύρας της κατασκευής ή η κλάση RTC για το χρόνο (ημερομηνία ώρα). Οι κλάσεις αυτές συχνά παρέχονται από τρίτες βιβλιοθήκες και λειτουργούν περίπου όπως οι drivers των διάφορων περιφερειακών συσκευών ενός υπολογιστή. Δεύτερη κατηγορία μεταβλητών, ως προς τη

σημασία της παρουσίας τους στο πρόγραμμα, είναι οι μεταβλητές που οι τιμές τους αφορούν τιμές φυσικών μεγεθών, για παράδειγμα τιμές που έχουν συλλέξει οι αισθητήρες. Ως προς τον τύπο τους είναι κατά βάση αριθμητικές μεταβλητές ακέραιες ή πραγματικές γενικής εμβέλειας. Η τρίτη κατηγορία μεταβλητών είναι οι μεταβλητές κατάστασης. Οι τιμές τους αντιπροσωπεύουν την κατάσταση μίας συσκευής ή μιας διάταξης. Για παράδειγμα μια μεταβλητή κρατά τιμή που δηλώνει αν ο φωτισμός θα λειτουργεί αυτόματα σε σχέση με τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος ή θα είναι μόνιμα σε λειτουργία ή μόνιμα εκτός. Ο τύπος αυτών των μεταβλητών είναι ακέραιος ή λογικός (true/false) και είναι γενικής εμβέλειας. Η τέταρτη κατηγορία μεταβλητών αφορά τις μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν χρονικά διαστήματα που είναι απαραίτητα. Για παράδειγμα κάθε δέκα δευτερόλεπτα πρέπει να καταγράφονται οι τιμές των αισθητήρων, οι καταστάσεις των συσκευών και διατάξεων της εφαρμογής καθώς και η τρέχουσα ημερομηνία και ώρα στην κάρτα μνήμης. Οι μεταβλητές αυτές είναι κατά κανόνα ακέραιοι μεγάλου μήκους (long). Ως προς την εμβέλειά του μπορεί να είναι είτε τοπικές μεταβλητές είτε γενικές, εξαρτάται από τη σημασία του χρονικού διαστήματος που αντιπροσωπεύουν. Πέμπτη κατηγορία μεταβλητών είναι μεταβλητές γενικής χρήσης που χρησιμοποιούνται ως μετρητές, βοηθητικές μεταβλητές σε υπολογισμούς, για εξαγωγή μηνυμάτων κλπ. Μπορεί να είναι διαφόρων τύπων απλών ή πιο σύνθετων (δομές struct - κλάσεις class) και είναι τοπικής εμβέλειας. Στη συνέχεια γίνονται κάποιες λειτουργίες ελέγχου και αρχικοποίησης των συστημάτων της εφαρμογής όπως: Αρχικά σβήνουν όλα τα φωτιστικά στοιχεία, η εξωτερική θύρα ανοίγει πλήρως και μετά κλείνει, ο μικροελεγκτής αποκαθιστά την επικοινωνία του με την εξωτερική κάρτα μνήμης και διαβάζει τα περιεχόμενα του αρχείου «settings.cnf» όπου περιέχονται πληροφορίες σχετικά με τις προκαθορισμένες ρυθμίσεις που επιθυμεί ο χρήστης για την αρχική κατάσταση των διατάξεων της οικίας και στη συνέχεια ο μικροελεγκτής θέτει στις ανάλογες μεταβλητές, τις τιμές που διάβασε από το αρχείο διαμόρφωσης settings.cnf. Κατόπιν ο αισθητήρας μέτρησης απόστασης προσδιορίζει τη μέγιστη απόσταση (από τη θέση που βρίσκεται μέχρι τον απέναντι τοίχο της οικίας). Σε αυτό το σημείο τερματίζει η λειτουργία της συνάρτησης `setup()` που αρχικοποιεί τις παραμέτρους του προγράμματος του μικροελεγκτή. Ακολουθεί απόσπασμα παράθεσης κώδικα από τη συνάρτηση `setup()`

```
void setup() {  
  long maxCm=0, minCm=5000, sumCm=0;  
  int angle=0;
```

```
// Open serial communications and wait for port to open:
```

```

Serial.begin(115200);
// Serial.begin(9600);
if (! rtc.begin()) {
  Serial.println("Couldn't find RTC");
  while (1);
}

if (rtc.lostPower()){
  Serial.println("RTC is NOT running!");
}
//rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));

// start the Ethernet connection and the server:
Ethernet.begin(mac, ip);
server.begin();
Serial.print("server is at ");
Serial.println(Ethernet.localIP());

pinMode(servoPin, OUTPUT);

pinMode(LEDpin, OUTPUT);
analogWrite(LEDpin, 0);
pinMode(inLEDpin, OUTPUT);
digitalWrite(inLEDpin, LOW);
pinMode(redLED, OUTPUT);
digitalWrite(redLED, LOW);

pinMode(fanPin, OUTPUT);
digitalWrite(fanPin, LOW);

pinMode(homeLDR, INPUT);

redStatus=0;

pinMode(redSign, OUTPUT);
pinMode(greenSign, OUTPUT);
digitalWrite(redSign, LOW);
digitalWrite(greenSign, LOW);

pinMode(gasPin, INPUT);
L1Status=2, L2Value=0,L2Status=2, fanStatus=2 gasStatus=1;
fanValue=0, L1Value=0;

indx=0;
counter=0;
...
...

```

```

sensors.begin();
dht.begin();

digitalWrite(redSign, HIGH);
digitalWrite(greenSign, HIGH);
srv.attach(servoPin);
angle=srv.read();
Serial.print("init door ... start angle:");
Serial.println(angle);

srv.detach();
delay(3000);
int i=0;
srv.attach(servoPin);
angle=srv.read();
for(i=angle;i>3;i--){
  srv.write(i);
  delay(30);
}
srv.detach();
barStatus=2;
barValue=0;
digitalWrite(greenSign, LOW);
digitalWrite(redSign, LOW);
pinMode(10, OUTPUT);
digitalWrite(10, HIGH);
pinMode(53, OUTPUT);

if (!SD.begin(4)){
  Serial.println("ERROR - SD card failed!...");
}else{
  Serial.println("SUCCESS - SD card initialized...");
  if(!SD.exists("settings.cnf")){
    Serial.println("configuration file does not exists...");
    settingsFile = SD.open("settings.cnf",FILE_WRITE);
    settingsFile.write((const uint8_t *)&dataSettings, sizeof(dataSettings));
    settingsFile.flush();
    settingsFile.close();
  }
  settingsFile = SD.open("settings.cnf",FILE_READ);
  settingsFile.read((uint8_t *)&dataSettings, sizeof(dataSettings));
  settingsFile.close();
  luminOn=dataSettings.luminOn;
  luminOff=dataSettings.luminOff;
  diff=dataSettings.sensorsReadFreq;
  Serial.println((String) "configuration file : "+ luminOff +", "+ luminOn +", "+ diff);
}

```



```

// compute max distance
long duration, cm;

for(i=0;i<102;i++){
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  pinMode(echoPin, INPUT);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  cm=((duration / 29) / 2);
  sumMaxDistanse += cm;
  if(cm < minCm)
    minCm=cm;
  if(cm > maxCm)
    maxCm=cm;
  delay(5);
}
sumMaxDistanse-=(maxCm+minCm);
maxDistanse=sumMaxDistanse/100;
digitalWrite(redSign, HIGH);
pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
digitalWrite(buzzerPin, LOW);

} // end setup

```

Η συνάρτηση loop() αφορά το σύνολο της λειτουργίας του προγράμματος εκτός της αρχικοποίησης. Όπως δηλώνει και το όνομά της (loop) πρόκειται για μια συνάρτηση η οποία εκτελείται διαρκώς. Όταν τερματιστεί η λειτουργία της ξαναρχίζει η εκτέλεσή της. Πρόκειται δηλαδή, για έναν ατέρμονα βρόχο κάθε εκτέλεση του οποίου ονομάζεται κύκλος. Σε κάθε κύκλο ο μικροελεγκτής ελέγχει όλες τις διατάξεις της οικίας και ανταποκρίνεται στα αιτήματα του χρήστη απαντώντας στα αιτήματα που αυτός υποβάλει προς το μικροελεγκτή μέσω της web εφαρμογής. Σε κάθε κύκλο εκτέλεσης εκτελούνται οι παρακάτω λειτουργίες:

Διαβάζει την τρέχουσα ημερομηνία και ώρα σε μορφή ISO(YYYY-MM-DD HH:MM:SS) καθώς και το αντίστοιχο Unix Timestamp. Κατόπιν διαβάζει την τιμή συγκέντρωσης καπνού αερίου από τον αντίστοιχο αισθητήρα ανάλογα προχωρά στις εξής ενέργειες: Αν το επίπεδο συγκέντρωσης

καπνού – αερίου είναι μεγαλύτερο από 60% τότε υπάρχει κατάσταση υψηλού κινδύνου ενεργοποιείται ο ανεμιστήρας, ένα κόκκινο flash Led που δηλώνει οπτικά την κατάσταση συναγερμού και ο buzzer παράγει ένα διακοπτόμενο οξύ ηχητικό σήμα δίνοντας ακουστική πληροφορία για την κατάσταση κινδύνου. Αν το επίπεδο συγκέντρωσης καπνού - αερίου κυμαίνεται μεταξύ 30% και 60% τότε υπάρχει πάλι η κατάσταση συναγερμού με τη διαφορά ότι δεν ενεργοποιείται το ηχητικό σήμα του buzzer. Αν το επίπεδο συγκέντρωσης καπνού – αερίου είναι μικρότερο από 23% τότε, θεωρείτε κανονική κατάσταση που δεν εμπνέει ανησυχία οπότε απενεργοποιούνται ο ανεμιστήρας, το flash led και ο buzzer. Όλα αυτά συμβαίνουν με την προϋπόθεση ότι από την έναρξη λειτουργίας της εφαρμογής έχει παρέλθει 3 min (180000 ms) (σύμφωνα με τον κατασκευαστή), χρόνος που απαιτείται για να φθάσει ο MQ2 αισθητήρας καπνού – αερίου στην θερμοκρασία λειτουργίας του για να είναι αξιόπιστες οι τιμές που λαμβάνονται . Παρατίθεται ο σχετικός κώδικας:

```
DateTime now = rtc.now();
delay(20);
gasValue=analogRead(gasPin);
if(gasStatus==2){
  if(gasValue >=615){
    digitalWrite(fanPin,HIGH);
    fanValue=1;
    if(millis()%2000 <= 1200){
      //tone(buzzerPin, 300, 1200);
      tone(buzzerPin, 300);
    }else{
      noTone(buzzerPin);
    }
  }else if(gasValue >=310){
    digitalWrite(fanPin,HIGH);
    fanValue=1;
    noTone(buzzerPin);

  }else if(gasValue <= 235 && fanStatus!=1){
    digitalWrite(fanPin,LOW);
    fanValue=0;
    noTone(buzzerPin);
  }
}
```

Ακολουθεί ο έλεγχος της αύλειας θύρας της οικίας, εφόσον έχει ορισθεί από το χρήστη μέσω της web εφαρμογής να λειτουργεί αυτόματα δηλαδή να ανοίγει αν υπάρχει φυσική παρουσία μπροστά της και να κλείνει όταν δεν υπάρχει αντίστοιχα. Αυτή η λειτουργία υλοποιείται, ενεργοποιώντας τον αισθητήρα υπερήχων απόστασης στέλνοντας ένα ηχητικό σήμα και

λαμβάνοντας το χρονικό διάστημα (σε msec) που μεσολαβεί από την αποστολή του μέχρι την επιστροφή του ύστερα από την ανάκλασή του σε πιθανό φυσικό εμπόδιο. Το χρονικό αυτό διάστημα μπορεί να μετατραπεί σε μήκος αν διαιρεθεί με 29 και κατόπιν με 2. Γιατί, η ταχύτητα ήχου είναι 340 m /sec οπότε απόσταση 1 cm καλύπτεται σε 0.01/340 περίπου 29 msec. Όμως χρονικό διάστημα που λαμβάνεται κατά τη λήψη αντιστοιχεί στη διπλάσια απόσταση αφού το ηχητικό σήμα αποστέλλεται και επιστρέφει. Αν η απόσταση αυτή είναι μεταξύ 10 έως 15 cm από τον αισθητήρα υπερήχων, τότε η θύρα πρέπει να ανοίξει (αν είναι κλειστή) και αυτό γίνεται ενεργοποιώντας το σερβοκινητήρα με εντολή να κινηθεί το βραχίονά του κατά 90°. Αντίστοιχα για να κλείσει η θύρα δεν πρέπει να ανιχνευθεί φυσικό εμπόδιο στην απόσταση 10 έως 15 cm από τον αισθητήρα υπερήχων. Προκειμένου να αντιμετωπισθούν ενδεχόμενα σφάλματα στην ανάγνωση της απόστασης που λαμβάνεται από τον αισθητήρα υπερήχων, για να δοθεί από το μικροελεγκτή εντολή στο σερβοκινητήρα να ανοίξει τη θύρα, θα πρέπει να επιβεβαιωθεί η ίδια τιμή απόστασης πέντε (5) φορές διαδοχικά. Αντίστοιχα για να κλείσει η θύρα θα πρέπει να μην υπάρξει ανίχνευση φυσικού εμποδίου (στην προκαθορισμένη απόσταση μεταξύ 5 έως 10 cm από τον αισθητήρα υπερήχων), για συνεχόμενο χρονικό διάστημα πέντε (5) δευτερολέπτων. Ακολουθεί ο σχετικός κώδικας προγράμματος ελέγχου της αύλειας θύρας:

```
if(barStatus==2){
  delay(2);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  pinMode(echoPin, INPUT);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  cm = ((duration / 29) / 2);

  if((cm < (maxDistanse - 5)) && (cm > maxDistanse - 5 -15) && (barValue==0)){
    if(openDoorCounter==0){
      prevCm=cm;
      openDoorCounter++;
    }else{
      if(abs(cm - prevCm) > 1){
        openDoorCounter=0;
      }else{
        prevCm=cm;
        openDoorCounter++;
      }
    }
  }
}
```

```

    if(openDoorCounter > 5){
        openDoorCounter=0;
        barValue=barOpenClose(1);
    }
}
}

}else if(((cm > (maxDistanse - 5)) || (cm < (maxDistanse - 5 -15))) && (barValue==1) ){
    if(openDoorTime==0)
        openDoorTime=millis();

    if((millis() - openDoorTime) > 5000){
        barValue=barOpenClose(0);
        openDoorTime=0;
    }
}else{
    openDoorCounter=0;
    openDoorTime=0;
}
delayVal=15;

}

```

Ακολούθως διαβάζονται οι τιμές των αισθητήρων θερμοκρασίας, υγρασίας καθώς και τα επίπεδα φωτεινότητας τόσο του περιβάλλοντος όσο και εντός της οικίας. Οι τιμές των αισθητήρων καθώς και η κατάσταση των υποσυστημάτων της οικίας καταγράφονται σε κάρτα μνήμης κάθε δέκα δευτερόλεπτα και αποτελούν τα δεδομένα που αποστέλλονται στο χρήστη μέσω της web εφαρμογής. Για να μετριάσουν τα σφάλματα από τους αναλογικούς αισθητήρες θερμοκρασίας οι τιμές που συλλέγονται σε κάθε κύκλο (της συνάρτησης loop()) συναθροίζονται σε μία μεταβλητή (αθροιστή) και κάθε δέκα δευτερόλεπτα διαιρείται το συνολικό άθροισμα των τιμών των μετρήσεων με το πλήθος των μετρήσεων που έλαβαν χώρα στο διάστημα δέκα δευτερολέπτων υπολογίζοντας έτσι τη μέση τιμή η οποία θεωρείται ως τιμή της θερμοκρασίας που μέτρησε ο αισθητήρας στο τέλος της χρονικής διάρκειας των δέκα δευτερολέπτων η οποία και καταγράφεται. Κατόπιν μηδενίζεται τόσο η τιμή του αθροιστή όσο και του μετρητή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τα επόμενα δέκα δευτερόλεπτα. Κάτι ανάλογο γίνεται με την ανάγνωση της τιμής της φωτεινότητας εντός του χώρου της οικίας με τη διαφορά ότι το χρονικό διάστημα υπολογισμού δεν είναι δέκα δευτερόλεπτα αλλά ένα δευτερόλεπτο. Ο σχετικός κώδικας είναι:

```
//----- read from sensors -----
delay(delayVal);
int lightValue = analogRead(LDR);

delay(20);
int homeLightValue = analogRead(homeLDR);
homeLightCounter++;
homeLightSum+=homeLightValue;
delay(20);
int analogValue=analogRead(TMP36);
tmp36Sum+=analogValue;
delay(20);
analogValue=analogRead(LM35);
lm35Sum+=analogValue;
counter++;
```

Με κάθε συμπλήρωση δέκα δευτερολέπτων διαβάζονται και οι υπόλοιποι αισθητήρες όπως οι ψηφιακοί αισθητήρες θερμοκρασίας, ο αισθητήρας υγρασίας και υπολογίζονται οι μέσες τιμές των αναλογικών αισθητήρων θερμοκρασίας και της φωτεινότητας εντός του χώρου της οικίας. Πριν γίνει εγγραφή στην κάρτα μνήμης υλοποιείται μια προεπεξεργασία δεδομένων (pre-processing) προκειμένου να διορθωθούν ή να απορριφθούν μη αποδεκτές τιμές. Σε περίπτωση εσφαλμένων τιμών στο αρχείο της κάρτας ως τιμή τίθεται ο χαρακτήρας (E) [Error]. Κατά τη διαχείριση των δεδομένων από την κάρτα μνήμης οι εγγραφές με τιμές (E) πρέπει να απορριφθούν. Ο κώδικας ελέγχου και καταγραφής είναι:

```
...
if( abs(millis() - timeVar) >= diff || indx==0){ // read every 10 sec, if diff=10000

    timeVar=millis();

    voltage=(((int)(tmp36Sum/counter))/1023.0)*5000;//4800
    tempTMP36C= (voltage - 500)*0.1;
    voltage=(((int)(lm35Sum/counter))/1023.0)*5000;//4800
    tempLM35C=(voltage/10);
    dht22t=dht.readTemperature();
    humidity=dht.readHumidity() + calibration;
    sensors.requestTemperatures();
    ds18b20 = sensors.getTempCByIndex(0);
    delay(20);
    lightValue = analogRead(LDR);
    if(mainHomeLightValue>=0){
        homeLightValue=mainHomeLightValue;
```

```

}
indx++;
counter=0;
tmp36Sum=0;
lm35Sum=0;
if(now.month()>12 || now.day() > 31 || now.hour() >23 || now.minute() > 59 || now.second()
> 59){
    nowDate="E";
    nowTimestamp=0;
}else{
    nowDate=String(now.year(),DEC) + '-' + String(now.month(),DEC) + '-' + String(now.day(), DEC) +
    '-' + String(now.hour(),DEC) + ':' + String(now.minute(),DEC) + ':' + String(now.second(),DEC);
    nowTimestamp=now.unixtime();
}

myFile = SD.open("data.dat",FILE_WRITE);
myFile.print(indx);
myFile.print("\t");

myFile.print(nowDate);
myFile.print("\t");
//myFile.print(now.unixtime());
myFile.print(nowTimestamp);
myFile.print("\t");
myFile.print(lightValue);
myFile.print("\t");
myFile.print(homeLightValue);
myFile.print("\t");
if(isnan(humidity)){
    myFile.print("E");
}else{
    myFile.print(humidity);
}
myFile.print("\t");
myFile.print(tempTMP36C);
myFile.print("\t");
myFile.print(tempLM35C);
myFile.print("\t");
if(isnan(dht22t)){
    myFile.print("E");
}else{
    myFile.print(dht22t);
}
myFile.print("\t");
if(ds18b20 < -100)
    myFile.print("E");
else
    myFile.print(ds18b20);
myFile.print("\t");

```

```

myFile.print(L1Value);
myFile.print("\t");
myFile.print(L2Value);
myFile.print("\t");
myFile.print(fanValue);
myFile.print("\t");
myFile.print(barChangeCounter);
myFile.print("\t");
myFile.print(barValue);
myFile.print("\t");
myFile.print(gasStatus);
myFile.print("\t");
myFile.print(gasValue);
myFile.print("\n");
myFile.flush();
myFile.close();
barChangeCounter=0;
}
...

```

Στη συνέχεια υλοποιείται ο έλεγχος του συστήματος φωτισμού. Το σύστημα φωτισμού απαρτίζεται από δύο υποσυστήματα . Το υποσύστημα για το φωτισμό εξωτερικά της οικίας (εξωτερικός φωτισμός) και το υποσύστημα για το φωτισμό εντός της οικίας (εσωτερικός φωτισμός). Τα δύο υποσυστήματα μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα. Κάθε υποσύστημα μπορεί να βρεθεί σε τέσσερις καταστάσεις. Σε θέση On αναμμένα φώτα, σε θέση Off σβηστά φώτα σε θέση auto, που το άναμμα ή σβήσιμο καθορίζεται από τα επίπεδα της φωτεινότητας του περιβάλλοντος που λαμβάνεται από τον αντίστοιχο αισθητήρα φωτεινότητας. Τα ελάχιστα επίπεδα φωτεινότητας πέρα από τα οποία θα ανάβουν ή θα σβήνουν τα φωτιστικά στοιχεία μπορούν να καθορίζονται από το χρήστη και καταγράφονται από το μικροελεγκτή στο αρχείο settings.cnf της κάρτας μνήμης. Η ένταση του φωτός που εκπέμπεται από τα φωτιστικά στοιχεία μπορεί να ορίζεται από το χρήστη μια και υποστηρίζεται λειτουργία dimming. Η ένταση αυτή ορίζεται σε ποσοστιαίες μονάδες επί τοις εκατό. Η τέταρτη κατάσταση είναι η κατάσταση διατήρησης φωτεινότητας (luminosity preserve). Σε αυτή την κατάσταση τα δύο υποσυστήματα λαμβάνουν μέρος ταυτόχρονα (δεν λειτουργούν ανεξάρτητα) και ρυθμίζουν την ένταση των φωτιστικών τους στοιχείων έτσι ώστε να διατηρείται ένα σταθερό επίπεδο φωτεινότητας που διαβάζεται από τον αισθητήρα φωτεινότητας που βρίσκεται εντός της οικίας. Η τιμή του επιθυμητού επιπέδου διατήρησης φωτεινότητας καθορίζεται από το χρήστη σε μονάδες lux. Ακολουθεί απόσπασμα κώδικα που υλοποιεί την παραπάνω περιγραφή:

```

...
if(LDRRegulatorStatus==1){           //regulator LDR value==1

    if(homeLightValue>=rglValue+5){
        int valueDiff=L1Value-L2Value;
        if( valueDiff >0){
            L1Value=L2Value;
        }else if(valueDiff <0){
            L2Value=L1Value;
        }else{ // levelDiff==0
            if(L1Value > 0){
                //if( abs(millis() - timeVarInLumin) >= inLuminDelay){ // read internal lighting every 0.5 sec
                L1Value--;
                L2Value--;
                incLuminCounter++;
                //timeVarInLumin=millis();
                Serial.println(L1Value);
            }
        }
    }
    analogWrite(LEDpin,L1Value);
    analogWrite(inLEDpin,L2Value);
}else if(homeLightValue<=rglValue-5){
    int valueDiff=L1Value-L2Value;
    if( valueDiff >0){
        L2Value=L1Value;
    }else if(valueDiff <0){
        L1Value=L2Value;
    }else{ // levelDiff==0
        if(L1Value < 255){
            L1Value++;
            L2Value++;
            incLuminCounter++;
            // timeVarInLumin=millis();
            Serial.println(L1Value);
        }
    }
    analogWrite(LEDpin,L1Value);
    analogWrite(inLEDpin,L2Value);
}

}else{ //----- regulator LDR value==0
    if(L1Status==2){ //auto
        if(lightValue < luminOn && L1Value==0){
            autoLightExCounterOn++;
            autoLightExCounterOff=0;
            if(autoLightExCounterOn >= autoLightValue){
                L1Value=L1LevelValue;
            }
        }
    }
}

```



```

    analogWrite(LEDpin,L1Value);
    //L1Value=1;
    onOff=1;
    autoLightExCounterOff=0;
}
}else if(lightValue > luminOff && L1Value>0){
    //digitalWrite(LEDpin,LOW);
    autoLightExCounterOff++;
    autoLightExCounterOn=0;
    if(autoLightExCounterOff >= autoLightValue){
        L1Value=0;
        analogWrite(LEDpin,L1Value);
        onOff=0;
        autoLightExCounterOn=0;
    }

}
}
...

```

Η επικοινωνία του χρήστη με το μικροελεγκτή βασίζεται στο πρωτόκολλο επικοινωνίας HTTP. Ο χρήστης μέσω της web εφαρμογής αποστέλλει αιτήματα (http request) προς το μικροελεγκτή και αυτός, χάρη στην Ethernet επέκταση που διαθέτει, λαμβάνει τα αιτήματα και επιστρέφει απαντήσεις (http response) . Για την υλοποίηση της επικοινωνίας χρήστη – μικροελεγκτή , έχει υλοποιηθεί web server πρόγραμμα, από την πλευρά του μικροελεγκτή, προκειμένου να διαχειρίζεται τα αιτήματα του χρήστη. Για την επικοινωνία χρησιμοποιείται η αρχιτεκτονική των REST web services όπου ο χρήστης στέλνει http αιτήματα και λαμβάνει απάντηση, στην προκειμένη περίπτωση σε μορφή JSON. Ο web server που έχει υλοποιηθεί στο μικροελεγκτή υποστηρίζει μεθόδους POST και GET συνοδευόμενο από μια σειρά καθορισμένων παραμέτρων της μορφής key=value κατά το HTTP πρότυπο. Τα αιτήματα που αναγνωρίζει ο web server του μικροελεγκτή είναι:

http://192.168.1.177/ μέθοδος POST,GET: Με το αίτημα αυτό ο μικροελεγκτής επιστρέφει μια δομή JSON που περιλαμβάνει δείκτη μέτρησης (id), ημερομηνία –ώρα, όλες τις τιμές των αισθητήρων καθώς και την κατάσταση των συσκευών ή διατάξεων τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ακολουθεί μια απάντηση σε αίτημα GET στο http://192.168.1.177/ (ip μικροελεγκτή):

```
{
  "sensors": [
    {
      "lumin": 983,
      "inlumin": 140,
      "L1": 88,
      "L2": 88,
      "tmp36": 29.18,
      "lm35": 32.26,
      "dht22t": "29.50",
      "dht22h": "46.30",
      "ds18b20": 29.94,
      "bar": 0,
      "barchange": 0,
      "fan": 0,
      "gas": 131,
      "L1s": 2,
      "L2s": 2,
      "bars": 2,
      "fans": 2,
      "gass": 2
    }
  ],
  "index": 117630,
  "currentTime": "2018-6-10 16:12:33",
  "currentTimestamp": 1528647153
}
```

Στον πίνακα Π2 που ακολουθεί περιγράφεται η σημασία των πεδίων της JSON δομής που επιστρέφει ο μικροελεγκτής σε πολλά αιτήματα του χρήστη μια και περιλαμβάνει σχεδόν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την κατάσταση της οικίας. Η παραπάνω πληροφορία υπόκειται σε επεξεργασία από τη web εφαρμογή και παρουσιάζεται με φιλικότερο τρόπο στο χρήστη.

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	Σημασία
Lumin	Το επίπεδο φωτεινότητας του περιβάλλοντος
Inlumin	Το επίπεδο φωτεινότητας εντός της οικίας
L1	Η ένταση των φωτιστικών στοιχείων εξωτερικού φωτισμού
L2	Η ένταση των φωτιστικών στοιχείων εσωτερικού φωτισμού
tmp36	Η τιμή του αναλογικού αισθητήρα θερμοκρασίας TMP 36 (°C)
lm35	Η τιμή του αναλογικού αισθητήρα θερμοκρασίας LM 35 (°C)
dht22t	Η τιμή του ψηφιακού αισθητήρα θερμοκρασίας DHT 22 (°C)
dht22h	Η τιμή του ψηφιακού αισθητήρα υγρασίας DHT 22 (%)
ds18b20	Η τιμή του ψηφιακού αισθητήρα θερμοκρασίας DS18B20 (°C)
Bar	Η τιμή που δηλώνει τη θέση της αύλειας θύρας 1: ανοιχτή, 0: κλειστή
barchange	Μετρητής που μετρά πόσες φορές άνοιξε ή έκλεισε η αύλεια θύρα μέσα σε χρονικό διάστημα δέκα δευτερολέπτων (χρειάζεται για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος της αύλειας θύρας)
Fan	Δηλώνει αν ο ανεμιστήρας είναι σε λειτουργία: 1 ή εκτός : 0
Gas	Η τιμή του αισθητήρα καπνού – αερίου
L1s	Η κατάσταση λειτουργίας στην οποία βρίσκεται το υποσύστημα εξωτερικού φωτισμού (1: On, 0: Off, 2: auto)
L2s	Η κατάσταση λειτουργίας στην οποία βρίσκεται το υποσύστημα εσωτερικού φωτισμού (1: On, 0: Off, 2: auto)
Bars	Η κατάσταση λειτουργίας στην οποία βρίσκεται το σύστημα της αύλειας θύρας (1: ανοιχτή, 0: κλειστή, 2: αυτόματη λειτουργία)
Fans	- (μελλοντική χρήση)
Gass	- (μελλοντική χρήση)
Index	Αριθμός μετρήσεων που έχει πραγματοποιηθεί από το μικροελεγκτή (αντιστοιχεί σε δεκάδες δευτερολέπτων)
currentTime	Τρέχουσα ημερομηνία και ώρα (του μικροελεγκτή)
currentTimestamp	Unix Timestamp (χρονοσφραγίδα) της παραπάνω ημερομηνίας-ώρας

Πίνακας Π2 (Σημασία πεδίων της βασικής απάντησης στα αιτήματα του χρήστη σε μορφή JSON)

http://192.168.1.177?bar=On, μέθοδος **GET**: Εντολή από το χρήστη για άνοιγμα της αύλειας θύρας, ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177?bar=Off, μέθοδος **GET**: Εντολή από το χρήστη για κλείσιμο της αύλειας θύρας, ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177?bar=auto, μέθοδος **GET**: Εντολή από το χρήστη να λειτουργεί η αύλεια θύρα αυτόματα, ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177?L1=On, μέθοδος **GET**: Εντολή από το χρήστη να ανάψουν τα εξωτερικά φώτα, ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177?L1=Off, μέθοδος **GET**: Εντολή από το χρήστη να σβήσουν τα εξωτερικά φώτα, ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177?L1=auto, μέθοδος **GET**: Εντολή από το χρήστη να λειτουργεί το υποσύστημα του εξωτερικού φωτισμού αυτόματα ανάλογα με τα επίπεδα φωτεινότητας του περιβάλλοντος. Ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177?L2=On, μέθοδος **GET**: Εντολή από το χρήστη να ανάψουν τα εσωτερικά φώτα, ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177?L2=Off, μέθοδος **GET**: Εντολή από το χρήστη να σβήσουν τα εσωτερικά φώτα, ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177?L2=auto, μέθοδος **GET**: Εντολή από το χρήστη να λειτουργεί το υποσύστημα του εσωτερικού φωτισμού αυτόματα ανάλογα με τα επίπεδα φωτεινότητας του περιβάλλοντος. Ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177?rgl= [τιμή 0 έως 1023], μέθοδος **GET**: Αν η τιμή της παραμέτρου rgl είναι μεγαλύτερη από 0 τότε το σύστημα φωτισμού μπαίνει σε κατάσταση λειτουργίας διατήρησης φωτεινότητας με το επιθυμητό επίπεδο να είναι αυτό της τιμής που έχει η παράμετρος rgl. Αν η

τιμή της παραμέτρου `rgl` είναι 0 τότε το σύστημα φωτισμού βγαίνει από την κατάσταση λειτουργίας διατήρησης φωτεινότητας και θα λειτουργεί στην κατάσταση που είχε ορισθεί πριν. (Προκαθορισμένη κατάσταση είναι η αυτόματη με το σύστημα φωτισμού να λειτουργεί ανάλογα με τα επίπεδα φωτεινότητας του περιβάλλοντος. Ως απάντηση, ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177?L1LevelValue=[τιμή 0 έως 255], μέθοδος **GET**: Ο χρήστης καθορίζει την ένταση φωτισμού των εξωτερικών φωτιστικών στοιχείων ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177?L2LevelValue=[τιμή 0 έως 255], μέθοδος **GET**: Ο χρήστης καθορίζει την ένταση φωτισμού των εσωτερικών φωτιστικών στοιχείων ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177 μέθοδος **POST**: με παραμέτρους: **settime=[EEEE-M-H-Ω-Λ-Δ]**, Ο χρήστης θέτει την ημερομηνία και ώρα στο μικροελεγκτή. Η μορφή της ημερομηνίας και ώρας είναι: Τέσσερα ψηφία για το έτος ο αριθμός που αντιστοιχεί στο μήνα (1-12 χωρίς αρχικό μηδενικό) , ο αριθμός που αντιστοιχεί στην ημέρα του μήνα (1-31 χωρίς αρχικό μηδενικό), ο αριθμός που αντιστοιχεί στην ώρα (η ώρα δίνεται σε εικοσιτετράωρη μορφή χωρίς αρχικό μηδενικό) , ο αριθμός που αντιστοιχεί στα λεπτά της ώρας (0-59 χωρίς αρχικό μηδενικό) και ο αριθμός που αντιστοιχεί στα δευτερόλεπτα (0-59 χωρίς αρχικό μηδενικό). Τα στοιχεία της ημερομηνίας-ώρας χωρίζονται μεταξύ τους με παύλα (-). Ο μικροελεγκτής επιστρέφει τη βασική απάντηση σε μορφή JSON.

http://192.168.1.177/?data=[αριθμός bytes]&lines=[αριθμός]&store=[0,1], μέθοδος **GET**: Με αυτό το αίτημα ο χρήστης ζητά από το μικροελεγκτή να μεταδώσει τα δεδομένα που έχει καταγράψει στην κάρτα μνήμης. Επειδή ο όγκος δεδομένων είναι μεγάλος ακολουθείται μια τεχνική επαναληπτικής μετάδοσης και επικοινωνίας μεταξύ web εφαρμογής και μικροελεγκτή. Οι παράμετροι που αποστέλλει ο χρήστης αφορούν τα εξής: Η παράμετρος `data` δηλώνει το σημείο (σε `bytes`) από το οποίο θα αρχίσει η μεταφόρτωση των δεδομένων. Η παράμετρος `lines` καθορίζει πόσες αναγνώσεις των 2048 bytes θα γίνουν σε κάθε αποστολή (αριθμός x 2048). Η παράμετρος `store` καθορίζει αν τα δεδομένα που πρόκειται να ληφθούν θα αποθηκευθούν σε

βάση δεδομένων ή σε αρχείο δεδομένων (κειμένου) (0:αποθήκευση σε βάση δεδομένων, 1: αποθήκευση σε αρχείο κειμένου). Σε απάντηση τέτοιου αιτήματος ο μικροελεγκτής αποστέλλει μια JSON δομή παράδειγμα της οποίας ακολουθεί:

```
{
  "sensors": "1526460356      1000  6      60.80  28.20  28.84  24.80  25.62  0      0      0
              0      0      2      110   77380 2018-5-16    8:46:6",
  ....
  "pos": "152797079", "size": 171764826, "status": "C", "store": 1}
}
```

Όπου το πεδίο **sensors** περιλαμβάνει τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί στην κάρτα μνήμης από το μικροελεγκτή χωρισμένα μεταξύ τους με το χαρακτήρα tab, και κάθε εγγραφή χωρίζεται με το χαρακτήρα αλλαγής γραμμής (\n) , το πεδίο **pos** δείχνει τη θέση του αρχείου που θα ξεκινήσει η επόμενη ανάγνωση, το πεδίο **size** είναι το μέγεθος του αρχείου σε bytes, το πεδίο **status** παίρνει τις τιμές: **N** (No Data) όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, **C** (continue) όταν υπάρχουν και άλλα δεδομένα για αποστολή και **L** (last) όταν διαβάζονται τα τελευταία δεδομένα και δεν υπάρχουν άλλα.

http://192.168.1.177 μέθοδος **POST**: με παραμέτρους:

luminOff=[αριθμός]&luminOn=[αριθμός]& sensorsReadFreq=[αριθμός]

με αυτό το αίτημα ο χρήστης καθορίζει τα επίπεδα φωτεινότητας πέρα από τα οποία θα ανάβουν ή θα σβήνουν τα φωτιστικά στοιχεία όταν έχει επιλεγεί ο αυτόματος τρόπος λειτουργίας του φωτισμού. Οι τιμές που αποστέλλει ο χρήστης αποθηκεύονται από το μικροελεγκτή στο αρχείο settings.cnf. Ως απάντηση ο μικροελεγκτής επιστρέφει μια JSON δομή της μορφής: {"luminOn":500,"luminOff":700,"sensorsReadFreq":10000} που περιέχει τις τιμές που έστειλε ο χρήστης αν όλα έγιναν σωστά αλλιώς μια JSON δομή με μήνυμα λάθους για παράδειγμα: {"error": "μήνυμα λάθους"}

http://192.168.1.177/?cnf=All, μέθοδος **GET**: Με αυτό το αίτημα ο χρήστης ζητά από το μικροελεγκτή όλες τις πληροφορίες διαμόρφωσης του συστήματος που ο μικροελεγκτής έχει αποθηκευμένες στο αρχείο settings.cnf. Ως απάντηση ο μικροελεγκτής αποστέλλει μια JSON δομή με τις πληροφορίες αυτές. Για παράδειγμα :

```
{"luminOn":500,"luminOff":700,"sensorsReadFreq":10000}
```

Ακολουθεί απόσπασμα κώδικα που αφορά την υλοποίηση του web server προγράμματος του μικροελεγκτή:

...

```
EthernetClient client = server.available();
if (client) {

  /*****
  *****/

  Serial.println("new client\n-----");

  //Serial.println(client.localIP());

  // an http request ends with a blank line
  boolean currentLineIsBlank = true;
  int blanklines=0;
  while (client.connected()) {
    if (client.available()) {
      char c = client.read();
      //Serial.write(c);
      request+=c;
      // if you've gotten to the end of the line (received a newline
      // character) and the line is blank, the http request has ended,
      // so you can send a reply
      if (c == '\n' && currentLineIsBlank) {
        // send a standard http response header
        char body;
        while((body = client.read())!=-1){
          bodyString+=body;
        }
        break;
      }

      if (c == '\n') {
        // you're starting a new line
        currentLineIsBlank = true;
      }
      else if (c != '\r') {
        // you've gotten a character on the current line
        currentLineIsBlank = false;
      }
    }
  }
}
```

```

    } // while connected;
...
...
request="";
bodyString="";
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-Type: text/html");
client.println("Access-Control-Allow-Origin: *");
client.println("Connection: close"); // the connection will be closed after completion of the
response
//client.println("Refresh: 5"); // refresh the page automatically every 5 sec
client.println();

if(readData==1){
    //-- if data mode 0 --db
    if(store==0){ // if store to db directly
        int numofBytes=0, sp=0, ep=0,j=0, ic=0;
        unsigned long filePos=0;
        char dataStatus='N'; // N:no data, C:continue, L:last data
        filePos=pos;
        myFile=SD.open("data.dat",FILE_READ);
        if(myFile){
            //Serial.println("***** FILE TEST *****");
            unsigned long fileSize = myFile.size();
            client.print("{\"sensors\":");
            client.print("[");
            if(myFile.seek(filePos)){
                //while(ic < 100 && filePos < myFile.size() && myFile.size() > 0){
                while(ic < lines && filePos < fileSize && fileSize > 0){
                    char mybuff[128]="\0";
                    String mystr, readValue;
                    sp=0;
                    ep=0;
                    dataStatus='C';
                    numofBytes=myFile.readBytesUntil('\n', mybuff, 255);//255
                    filePos=myFile.position();
                    mystr=mybuff;
                    if(ic > 0)
                        client.print(",");
                    client.print("{");

                    for(j=0;j<16;j++){
                        ep=mystr.indexOf('\t', sp);
                        readValue=mystr.substring(sp, ep);
                        sp=ep+1;
                        switch(j){
                            case 0:
                                client.print("\"index\":");
                                client.print(readValue);

```

```
break;
case 1:
  client.print(",\"dateTime\":");
  client.print("\");
  client.print(readValue);
  client.print("\");
break;
```

....

4.3.2 Περιγραφή Web εφαρμογής

Για την απομακρυσμένη επικοινωνία και παρακολούθηση της λειτουργίας της οικίας, αναπτύχθηκε web εφαρμογή που παρέχει στο χρήστη ένα φιλικό, εύχρηστο, γραφικό περιβάλλον (HTML) για επικοινωνία και αλληλεπίδραση με το μικροελεγκτή της οικίας. Η εφαρμογή φιλοξενείται σε υπολογιστή με Apache web server και για την αποθήκευση των δεδομένων και των ρυθμίσεων χρησιμοποιείται σχεσιακή βάση δεδομένων MySQL 5.7. στην προκειμένη περίπτωση, η σύζευξη μεταξύ του μικροελεγκτή της οικίας και του υπολογιστή που φιλοξενεί τη web εφαρμογή πραγματοποιείται μέσω ενός ADSL δρομολογητή. Το server side τμήμα της εφαρμογής είναι γραμμένο σε γλώσσα php 5.5 ενώ το client side τμήμα της εφαρμογής σε javascript. Χρησιμοποιήθηκαν βιβλιοθήκες: jQuery 1.11.1, justgage, canvasjs-2.0 trial version. Για την επικοινωνία της web εφαρμογής με το μικροελεγκτή υλοποιήθηκαν τεχνικές AJAX.

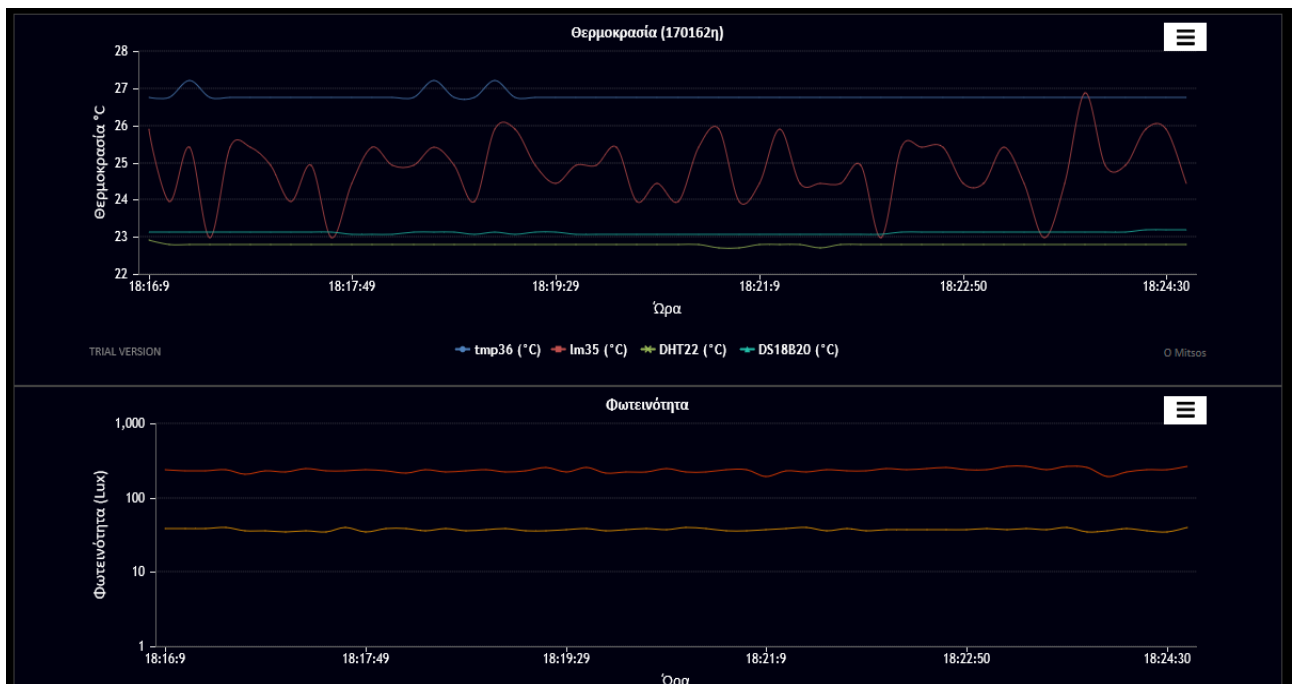
Η εφαρμογή για την επικοινωνία με το μικροελεγκτή της οικίας χρησιμοποιεί τη REST αρχιτεκτονική με http requests (αιτήματα) από την εφαρμογή προς το μικροελεγκτή και ο web server του μικροελεγκτή επιστρέφει http response (απαντήσεις) σε JSON μορφή. Η όλη επεξεργασία της απάντησης γίνεται στο client side της web εφαρμογής. Ως προς το σκοπό λειτουργίας της θα μπορούσε να διακριθεί σε τρία τμήματα: Το πρώτο τμήμα λειτουργεί ως τμήμα παρακολούθησης (monitor), ρυθμίσεων και ελέγχου της οικίας με τη μορφή ενός dashboard. Παρέχονται επίσης η δυνατότητα καταγραφής των δεδομένων (στη βάση δεδομένων) καθώς και γραφική αναπαράσταση των μεγεθών που παρακολουθούνται. Η επικοινωνία της web εφαρμογής με το μικροελεγκτή γίνεται αυτόματα κάθε δέκα δευτερόλεπτα. Ο χρήστης μπορεί να πληροφορείται για την κατάσταση των διατάξεων της οικίας, την κατανάλωση, τα μεγέθη που καταγράφουν οι αισθητήρες της οικίας και απομακρυσμένα να δίνει εντολές ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας διατάξεις της οικίας ή ορίζοντας παραμέτρους λειτουργίας. Το δεύτερο τμήμα της εφαρμογής αφορά τη μετάδοση των δεδομένων (download) που έχει καταγράψει ή κάρτα

μνήμης του μικροελεγκτή στη βάση δεδομένων της εφαρμογής ή σε αρχείο CSV ή κειμένου tab separated. Ο χρήστης πληροφορείται για την εξέλιξη της μεταφοράς (απαιτούμενο χρόνο, μέγεθος σε bytes, ρυθμό μετάδοσης κλπ). Το τρίτο τμήμα της εφαρμογής έχει σκοπό την επεξεργασία των αποθηκευμένων δεδομένων και τη δυνατότητα για οπτική αναπαράστασή τους με μορφή διαγραμμάτων. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη μορφή αναπαράστασης, τα μεγέθη που θα αναπαρασταθούν και το είδος της ομαδοποίησης. (Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5 προέρχονται από αυτό το τμήμα της εφαρμογής).

Ακολουθούν στιγμιότυπα της web εφαρμογής:



Εικόνα E22 (Τμήμα παρακολούθησης και ρυθμίσεων οικίας: Πίνακας ελέγχου)



Εικόνα E23 (Τμήμα παρακολούθησης και ρυθμίσεων οικίας: Γραφική απεικόνιση θερμοκρασίας – φωτεινότητας.

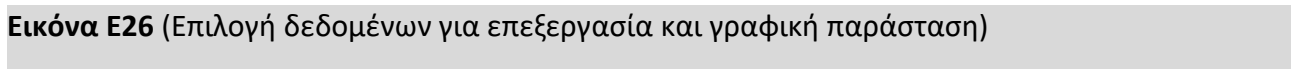
The screenshot shows the "Configuration" interface with three main sections:

- Time Adjust:** Includes a radio button for "auto" (selected) and a timestamp "16-6-2018 18:34:54". There is also a "manual" option.
- Server Settings:** Contains three input fields: "Αυτόματος Φωτισμός OFF" (700), "Αυτόματος Φωτισμός ON" (500), and "Συχνότητα λήψης τιμών" (10000). Below these are "apply" and "Get Configuration" buttons.
- Client Settings:** Includes a "color" slider set to 16, a text input for "Συχνότητα αποστολής αιτημάτων (sec)", and an "apply" button.

A small "arduino-net/#" label is visible in the bottom left corner.

Εικόνα E24 (Τμήμα παρακολούθησης και ρυθμίσεων οικίας: Ρυθμίσεις παραμέτρων)

Εικόνα Ε25 (Λήψη δεδομένων από το μικροελεγκτή)



5. Μελέτη μοτίβων κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος φωτισμού.

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.3 ως μοτίβο κατανάλωσης μπορεί να ορισθεί τρόπος και η συνολική χρήση – κατανάλωση ενέργειας σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα από μία μονάδα. Στην παρούσα εργασία καταβλήθηκε προσπάθεια να προσδιοριστούν στη συνέχεια να αναλυθούν και να αξιολογηθούν μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας που εμφανίζει το σύστημα φωτισμού της οικίας. Για το σκοπό αυτό αντλήθηκαν τα δεδομένα που καταγράφηκαν από το μικροελεγκτή και με τη βοήθεια του εργαλείου ανάλυσης και παρουσίασης δεδομένων της web εφαρμογής αναλύθηκαν. Τα δεδομένα αφορούν χρονική περίοδο επτά μηνών και συγκεκριμένα από το Νοέμβριο 2017 έως και το Μάιο 2018. Προκειμένου να συστηματοποιηθεί και να διευκολυνθεί η διαδικασία προσδιορισμού - μελέτης των μοτίβων κατανάλωσης ενέργειας σε διαφορετικές περιόδους εφαρμόστηκαν συγκεκριμένα «πρότυπα καταναλωτικής συμπεριφοράς». Για παράδειγμα μπορεί να καθοριστεί ένας αυτόματος τρόπος λειτουργίας του συστήματος φωτισμού για καθορισμένο χρονικό διάστημα όπου το άναμμα και το σβήσιμο των φωτιστικών στοιχείων καθορίζεται από τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος και παράλληλα τα φωτιστικά στοιχεία όταν είναι αναμμένα θα λειτουργούν με καθορισμένο ποσοστό ισχύος. Έπειτα μεταβάλλοντας τις παραμέτρους ποσοστού ισχύος των φωτιστικών στοιχείων, μεταβολή των ελάχιστων απαιτούμενων επιπέδων φωτεινότητας του περιβάλλοντος κλπ, ή αυτόματη λειτουργία του συστήματος φωτεινότητας με διατήρηση συγκεκριμένου επιπέδου φωτεινότητας εντός της οικίας, διαμορφώνεται μια άλλη καταναλωτική συμπεριφορά που και αυτή με τη σειρά της εφαρμόζεται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Έτσι στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκαν τέσσερις διαφορετικές συμπεριφορές όπου στις τρεις από αυτές ορίζεται αυτόματος τρόπος λειτουργίας ανάλογα με τα επίπεδα φωτεινότητας (του περιβάλλοντος και διαφορετικά ποσοστά ισχύος των φωτιστικών στοιχείων, ενώ στην τέταρτη καταναλωτική συμπεριφορά ορίζεται αυτόματος τρόπος λειτουργίας με διατήρηση συγκεκριμένου επιπέδου φωτεινότητας εντός της οικίας που ορίσθηκε στα 35 Lux (περίπου το μισό από το μέγιστο επίπεδο που μπορεί να δώσει το σύστημα φωτισμού της οικίας. Κατά τον τρόπο λειτουργίας με βάση τα επίπεδα φωτεινότητας του περιβάλλοντος ως ελάχιστο επίπεδο για να ανάψουν τα φωτιστικά στοιχεία ορίζεται το επίπεδο των 30 Lux που αντιστοιχεί στη φωτεινότητα του περιβάλλοντος κατά τη δύση του ήλιου ενώ αντίστοιχα για το σβήσιμο ορίζεται το επίπεδο των 60 Lux που αντιστοιχεί στη ώρα της ανατολής. Στον παρακάτω πίνακα Π3 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των καταναλωτικών συμπεριφορών που εφαρμόστηκαν και θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

Πρότυπα καταναλωτικών συμπεριφορών

α/α	Διάρκεια	Λειτουργία συστήματος	Ισχύς φωτιστικών στοιχείων
1	10-20 /1/2018	Αυτόματα, ανάλογα με τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος	Εσωτερικά 50% Εξωτερικά 25%
2	21-28 /2/2018	Αυτόματα, διατήρηση επιπέδου εσωτερικής φωτεινότητας σε 35 lux	-
3	11 – 20 /4/2018	Αυτόματα, ανάλογα με τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος	Εσωτερικά 50% Εξωτερικά 50%
4	2-3 /5/2018	Αυτόματα, ανάλογα με τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος	Εσωτερικά 100% Εξωτερικά 100%

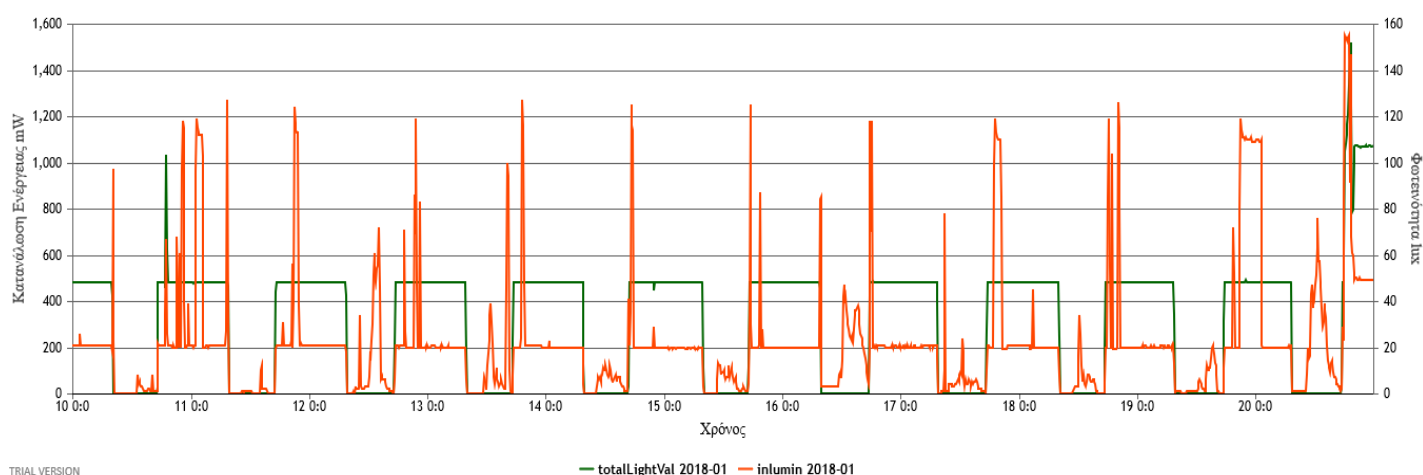
Πίνακας Π3 (Πρότυπα καταναλωτικών συμπεριφορών που εφαρμόστηκαν)

Κατά τη διάρκεια της μελέτης των μοτίβων κατανάλωσης ενέργειας που προκύπτουν από την εφαρμογή των καταναλωτικών συμπεριφορών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο είναι χρήσιμο να λαμβάνονται υπόψη κάποια χαρακτηριστικά της οικίας: Η μέγιστη κατανάλωση που μπορεί να έχει το σύστημα φωτισμού είναι: Για το υποσύστημα εξωτερικού φωτισμού, $14 \text{ LED} \times 16\text{mA} \times 5\text{V} = 1120 \text{ mW}$. Για το υποσύστημα εσωτερικού φωτισμού, $5 \text{ LED} \times 16\text{mA} \times 5\text{V} = 400 \text{ mW}$, κατά συνέπεια η μέγιστη συνολική κατανάλωση είναι $1120 + 400 = 1520 \text{ mW}$. Η μέγιστη φωτεινότητα που μπορεί να δώσει το σύστημα φωτισμού της οικίας λειτουργώντας τα φωτιστικά στοιχεία σε πλήρη ισχύ και με τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος σε 0 Lux (σκοτάδι) κυμαίνεται μεταξύ **70** έως **100** Lux. (Προέκυψε από μετρήσεις). Η διακύμανση σχετίζεται κυρίως με το χρόνο λειτουργίας των LED. Με την πάροδο του χρόνου τα LED χάνουν, ανάλογα με την ποιότητά τους, έως 20% της αρχικής τους φωτεινότητας.

Για την αποτίμηση των μοτίβων κατανάλωσης, προσδιορίζεται το πλήθος των δεκάλεπτων που αντιστοιχεί σε διάφορα επίπεδα κατανάλωσης, και διάφορα επίπεδα φωτεινότητας. Επειδή όπως αναφέρθηκε πριν η μέγιστη δυνατή κατανάλωση από το σύστημα του φωτισμού είναι 1520 mW, και η μέγιστη φωτεινότητα που μπορεί να δώσουν τα φωτιστικά στοιχεία της οικίας κυμαίνεται μεταξύ 70 έως 100 Lux, διακρίθηκαν 4 επίπεδα κατανάλωσης και 4 επίπεδα

φωτεινότητας. Τα επίπεδα κατανάλωσης είναι: α) 0 mW (σβηστά φώτα), β) πάνω από 0 έως 350 mW (χαμηλή κατανάλωση έως 30%), γ) από 350 mW έως 700 mW (μεσαία κατανάλωση έως 60%), δ) πάνω από 700 mW (υψηλή κατανάλωση). Τα επίπεδα φωτεινότητας είναι: α) μικρότερο από 25 Lux, β) από 25 έως 50 Lux, γ) από 50 έως 100 Lux, δ) πάνω από 100 Lux. Όταν εμφανίζονται τιμές στην περιοχή φωτεινότητας πάνω από 100 Lux σημαίνει ότι η φωτεινότητα αυτή δεν προέρχεται μόνο από τα φωτιστικά στοιχεία της οικίας (αν είναι αναμμένα), αλλά από τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος.

5.1 Μελέτη περίπτωσης καταναλωτικής συμπεριφοράς 1.



Σχήμα Σ14 (Συνολική κατανάλωση ενέργειας & εσωτερική φωτεινότητα από 10 έως 20/1/2018)

Στο διάγραμμα του σχήματος Σ14 απεικονίζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας του συστήματος φωτισμού (με πράσινο χρώμα) και η φωτεινότητα εντός της οικίας (με πορτοκαλί χρώμα) στο διάστημα από 10 έως και 20 Ιανουαρίου 2018. (1^η πρότυπο καταναλωτικής συμπεριφοράς πίνακα Π3) Εφαρμόστηκε μια καταναλωτική συμπεριφορά βασισμένη στον αυτόματο τρόπο λειτουργίας του συστήματος φωτισμού όπου η λειτουργία των φωτιστικών στοιχείων καθορίζεται από το επίπεδο φωτεινότητας του περιβάλλοντος. Έχει επίσης ρυθμιστεί η ισχύς των εξωτερικών φωτιστικών στοιχείων της οικίας να είναι στο 25% ενώ η ισχύς των φωτιστικών στοιχείων εντός της οικίας σε 50% με ανάλογη βέβαια επίπτωση στην ένταση της φωτεινότητας των φωτιστικών στοιχείων. Οι μετρήσεις τόσο της εσωτερικής φωτεινότητας όσο και της κατανάλωσης αφορούν το μέσο όρο των μετρήσεων ανά δεκάλεπτο. Μπορεί να παρατηρηθεί πως η κατανάλωση σε όλο το διάστημα εμφανίζει μια περιοδικότητα τόσο ως προς τη μορφή όσο και ως προς το επίπεδο τιμών. Περιοδικότητα παρατηρείται και στα επίπεδα φωτεινότητας με περισσότερες όμως διαταραχές που οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην

επίδραση των μεταβολών φωτεινότητας του περιβάλλοντος φυσικών και τεχνητών. Οι τεχνητές μεταβολές της φωτεινότητας εξηγούνται επειδή η κατασκευή είναι στην πραγματικότητα μια μακέτα που φιλοξενείται σε ένα δωμάτιο όπου, κατά τις περιόδους χαμηλής φωτεινότητας (νύχτα), ένα άναμμα φωτός εντός του δωματίου θα επηρεάσει σημαντικά, όπως είναι φυσικό και τη φωτεινότητα στην περιοχή της μακέτας δεδομένου ότι το ηλεκτρικό φώς ενός δωματίου είναι πολύ ισχυρότερο σε φωτεινότητα από τη διάταξη φωτισμού της μακέτας. Αυτές οι διαταραχές παρατηρούνται κυρίως τις ώρες τις απογευματινές ώρες 17:00 – 20:00 και πρωινές 7:00-8:00 περίοδο δηλαδή που υπάρχει δραστηριότητα στο χώρο , ενώ διαταραχές στη φωτεινότητα απουσιάζουν κατά τις μεταμεσονύχτιες ώρες. Αυτή η περιοδική συμπεριφορά της κατανάλωσης μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα μοτίβο κατανάλωσης ενέργειας.

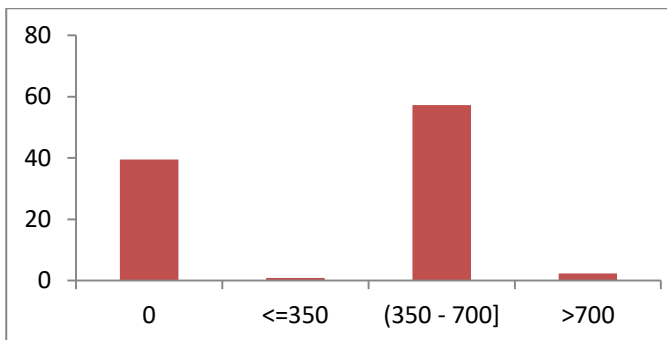
Στην περίπτωση που εξετάζεται, το υποσύστημα εξωτερικού φωτισμού λειτουργεί στο 25% της ισχύος του και αυτό του εσωτερικού φωτισμού στο 50% , αναμένεται κατανάλωση $400 \times 0.5 + 1120 \times 0.25$ το οποίο δίνει τελικά κατανάλωση ισχύος 480 mW. Από την ανάλυση των δεδομένων για την ενεργειακή κατανάλωση σε συνάρτηση με τα επίπεδα εσωτερικής φωτεινότητας για το διάστημα από 10 έως 20 Ιανουαρίου 2018 συγκεντρώθηκαν 1584 μετρήσεις που αφορούν στις μέσες τιμές δεκαλέπτου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στους πίνακες Π4 και Π5 που ακολουθούν:

Επίπεδο Κατανάλωσης (mW)	Πλήθος (δεκάλεπτα)	Ποσοστό (%)	Πραγματική Κατανάλωση (W)
0	626	39,5	0
<=350	14	0,9	2394
(350 - 700]	908	57,3	437533
>700	36	2,3	39367
ΣΥΝΟΛΟ	1584	100	479294

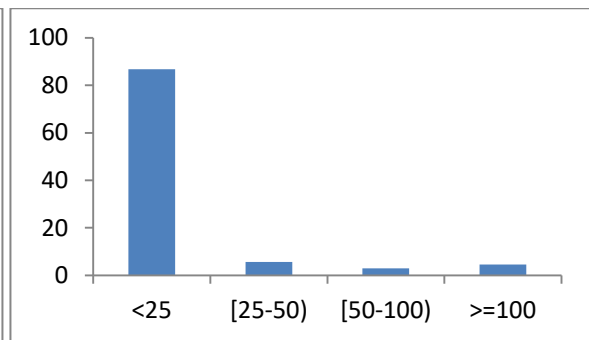
Πίνακας Π4 (Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας %)

Φωτεινότητα (Lux)	Πλήθος (δεκάλεπτα)	Ποσοστό (%)
<25	1375	86,8
[25-50)	88	5,6
[50-100)	48	3
>=100	73	4,6
ΣΥΝΟΛΟ	1584	100

Πίνακας Π5 Επίπεδα φωτεινότητας %



Σχήμα Σ15 (Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας %)

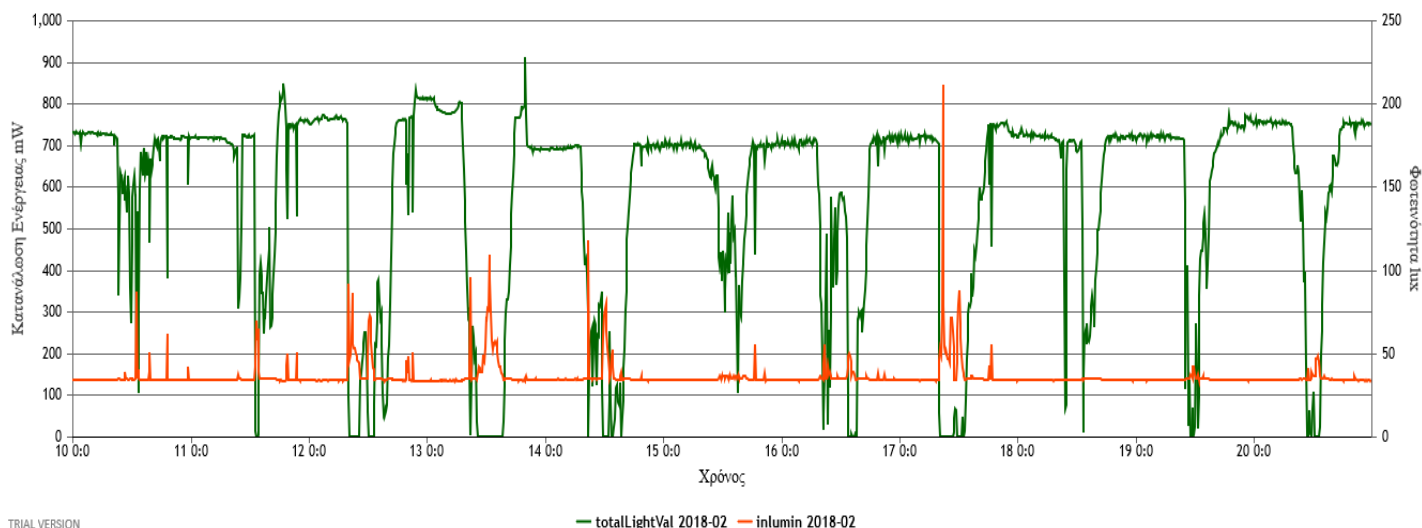


Σχήμα Σ16 (Επίπεδα φωτεινότητας %)

Τα 1584 δεκάλεπτα αντιστοιχούν σε 264 ώρες . Τα 479294 mW αντιστοιχούν σε συνολική κατανάλωση 79.9 W. Συνεπώς σε διάστημα 11 ημερών η ημερήσια κατανάλωση για φωτισμό με αυτή την καταναλωτική συμπεριφορά ανέρχεται σε 7,3 W. Από τους Πίνακες Π4 , Π5 και τα διαγράμματα των σχημάτων Σ15, Σ16 φαίνεται ότι η κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται γενικά σε χαμηλά επίπεδα. Το ίδιο όμως συμβαίνει και με τη φωτεινότητα που το μεγαλύτερο ποσοστό 86.8% του χρόνου καταγράφεται ελάχιστη φωτεινότητα (λιγότερο από 25 Lux).

5.2 Μελέτη περίπτωσης καταναλωτικής συμπεριφοράς 2.

Η δεύτερη περίπτωση προτύπου καταναλωτικής συμπεριφοράς που εφαρμόστηκε, ορίζει το σύστημα φωτισμού σε αυτόματη λειτουργία εξαρτώμενη όχι από τα επίπεδα φωτεινότητας του περιβάλλοντος, αλλά από την επιθυμία για διατήρηση ενός ελάχιστου επιπέδου φωτεινότητας. Αυτό σημαίνει ότι τα φωτιστικά στοιχεία θα μεταβάλουν την ένταση της φωτεινότητάς τους προκειμένου να διατηρούν το καθορισμένο επίπεδο φωτεινότητας το οποίο στην προκειμένη περίπτωση ορίστηκε στα 35 Lux. Το διάστημα χρονικό εφαρμογής του προτύπου αυτού ήταν έντεκα ημέρες και συγκεκριμένα από 10 έως και 20 Φεβρουαρίου 2018. Στο διάγραμμα του σχήματος Σ17 που ακολουθεί απεικονίζεται η κατανάλωση και τα επίπεδα φωτεινότητας που καταγράφηκαν κατά την εφαρμογή αυτού του προτύπου.



Σχήμα Σ17 (Κατανάλωση και φωτεινότητα από 10/02/2018 έως 20/02/2018)

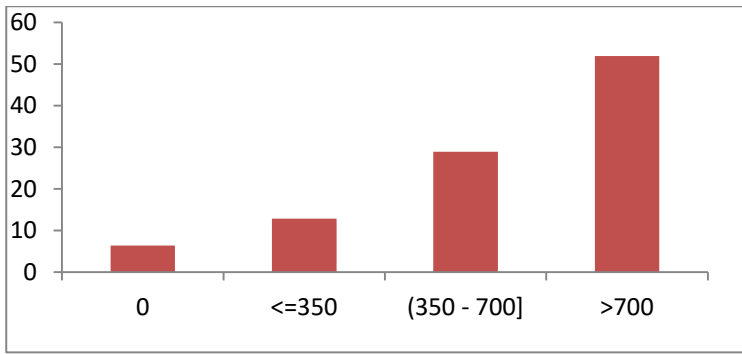
Σε αντίθεση με το προηγούμενο πρότυπο, εδώ παρατηρείται ότι δεν υπάρχει κανένα χρονικό διάστημα που η φωτεινότητα να έχει χαμηλότερη από 33 Lux. Ενώ υπάρχει μία αυξημένη κατανάλωση που κυμαίνεται στο 50% της μέγιστης για τα 2/3 της ημέρας, ενώ χαμηλή κατανάλωση παρατηρείται κατά το 1/3 της ημέρας (κάτω από 30% της μέγιστης δυνατής). Παρά το γεγονός ότι είχε ορισθεί σαν ελάχιστο επίπεδο τα 35 Lux, υπάρχει μία αναμενόμενη αποδεκτή απόκλιση ± 5 Lux που οφείλεται σε καθαρά πρακτικούς λόγους. Συγκεντρώθηκαν συνολικά 1585 εγγραφές κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε μέση κατανάλωση, και μέσο επίπεδο φωτεινότητας ανά δεκάλεπτο. Τα 1585 δεκάλεπτα αντιστοιχούν σε 264.16 ώρες ή σε 11 ημέρες. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν τα παρακάτω:

Επίπεδο Κατανάλωσης (mW)	Πλήθος (δεκάλεπτα)	Ποσοστό (%)	Πραγματική Κατανάλωση (mW)
0	102	6,4	0
<=350	202	12,8	36824
(350 - 700]	458	28,9	275975
>700	822	51,9	604840
ΣΥΝΟΛΟ	1584	100	917639

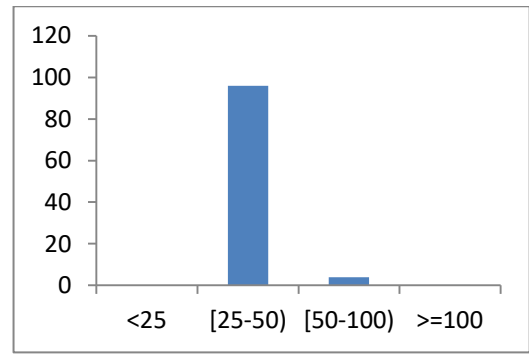
Πίνακας Π6 Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας %

Φωτεινότητα (Lux)	Πλήθος (δεκάλεπτα)	Ποσοστό (%)
<25	0	0
[25-50)	1519	95,9
[50-100)	62	3,9
>=100	3	0,2
ΣΥΝΟΛΟ	1584	100

Πίνακας Π7 Επίπεδα φωτεινότητας %



Σχήμα Σ18 (Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας %)

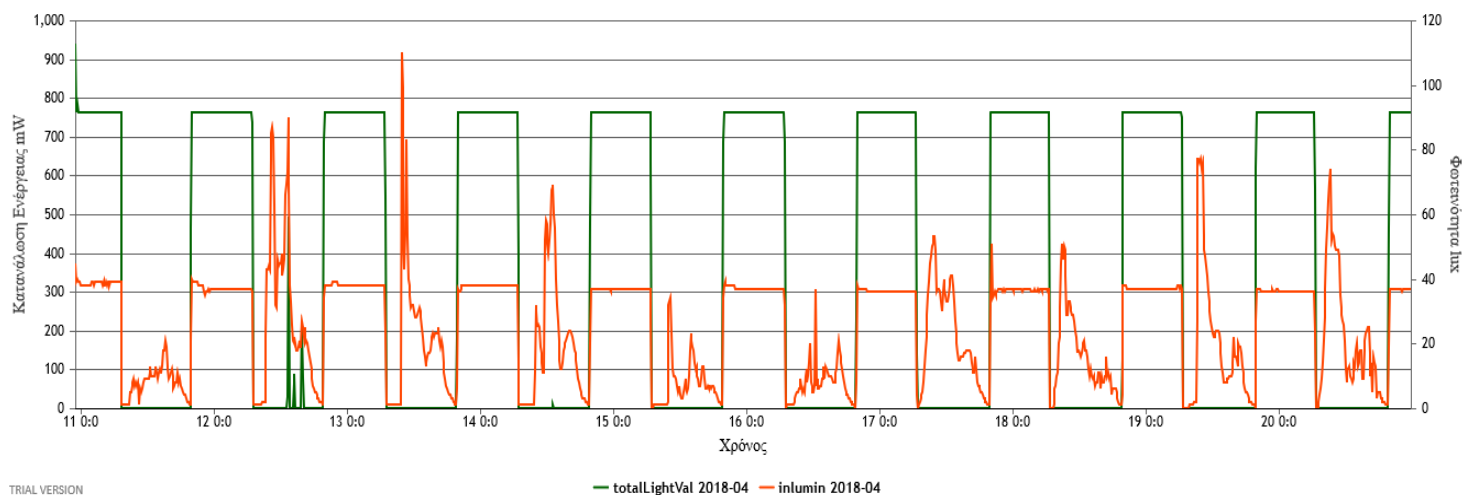


Σχήμα Σ19 (Επίπεδα φωτεινότητας %)

Από τους πίνακες Π6 , Π7 και τα διαγράμματα των σχημάτων Σ18, Σ19 είναι εμφανές ότι δεν υπάρχει επίπεδο φωτεινότητας σε καμία χρονική στιγμή κάτω από τα όρια που τέθηκαν και το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα 95.6% η φωτεινότητα κυμαίνεται γύρω από την περιοχή που ορίσθηκε ως η κατώτερη τιμή φωτεινότητας (35 Lux). Αυτό σημαίνει πως το μεγαλύτερο μέρος της φωτεινότητας της οικίας οφείλεται στο σύστημα φωτισμού με μικρή συμβολή της φωτεινότητας του περιβάλλοντος πράγμα που δηλώνει πως η οικία βρίσκεται σε σχετικά σκοτεινό χώρο. Αυτό άλλωστε δικαιολογεί την αυξημένη κατανάλωση που παρατηρείται με το 51,9% του συνολικού χρονικού διαστήματος που εφαρμόστηκε αυτό το πρότυπο να παρατηρείται κατανάλωση περίπου στο μέσο της μέγιστης δυνατής. Η κατανάλωση ενέργειας είναι ανάλογη του ελάχιστου επιπέδου φωτεινότητας που καθορίζεται. Μια τέτοια καταναλωτική συμπεριφορά εγγυάται τα επίπεδα φωτεινότητας σε βάρος όμως της κατανάλωσης.

5.3 Μελέτη περίπτωσης καταναλωτικής συμπεριφοράς 3.

Η εφαρμογή αυτού του προτύπου ομοιάζει με αυτή της περίπτωσης 1. Το σύστημα φωτισμού ορίζεται να λειτουργεί αυτόματα, ανάλογα με τα επίπεδα φωτεινότητας του περιβάλλοντος. Στην περίπτωση που ανάβουν τα φωτιστικά στοιχεία θα χρησιμοποιούν το 50% της ισχύος που μπορούν να καταναλώσουν εξοικονομώντας ενέργεια με αντίκτυπο στο επίπεδο φωτεινότητας που παρέχουν. Το πρότυπο αυτό εφαρμόστηκε για χρονικό διάστημα 10 ημερών από 11 έως 20 Απριλίου 2018. Στο διάγραμμα του σχήματος Σ20 που ακολουθεί απεικονίζεται η κατανάλωση και τα επίπεδα φωτεινότητας που καταγράφηκαν κατά την εφαρμογή αυτού του προτύπου.

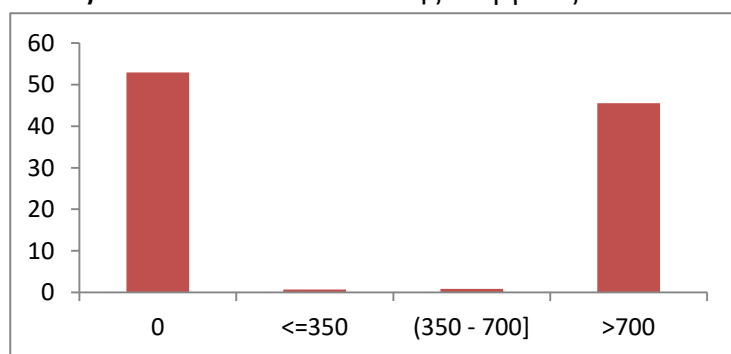


Σχήμα Σ20 (Κατανάλωση και φωτεινότητα από 11/04/2018 έως 20/04/2018)

Όσο τα φωτιστικά στοιχεία λειτουργούν (είναι αναμμένα) παρατηρείται η αναμενόμενη κατανάλωση στο επίπεδο των 760 mW, με την παρεχόμενη φωτεινότητα να κυμαίνεται από 36 έως 40 Lux (περίπου στο 50% της μέγιστης φωτεινότητας που μπορεί να δώσει το σύστημα φωτισμού της οικίας). Συγκεντρώθηκαν συνολικά 1446 καταγραφές που αντιστοιχούν σε μέση κατανάλωση, και μέσο επίπεδο φωτεινότητας ανά δεκάλεπτο. Έτσι, 1446 δεκάλεπτα αντιστοιχούν σε 241 ώρες ή σε 10 περίπου ημέρες. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν τα παρακάτω:

Επίπεδο Κατανάλωσης (mW)	Πλήθος (δεκάλεπτα)	Ποσοστό (%)	Πραγματική Κατανάλωση (mW)
0	765	52,9	0
<=350	10	0,7	1156
(350 - 700]	13	0,9	7209
>700	658	45,5	502213
ΣΥΝΟΛΟ	1446	100	510578

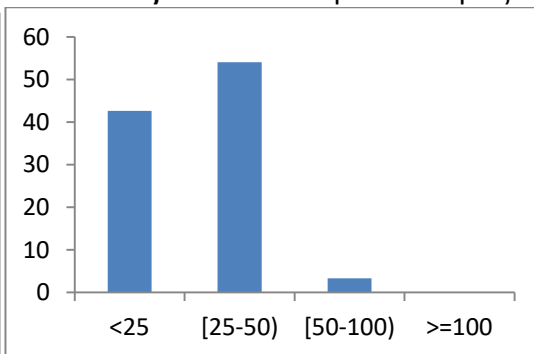
Πίνακας Π8 Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας %



Σχήμα Σ21 (Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας %)

Φωτεινότητα (Lux)	Πλήθος (δεκάλεπτα)	Ποσοστό (%)
<25	616	42,6
[25-50)	781	54
[50-100)	48	3,3
>=100	1	0,1
ΣΥΝΟΛΟ	1446	100

Πίνακας Π9 Επίπεδα φωτεινότητας %

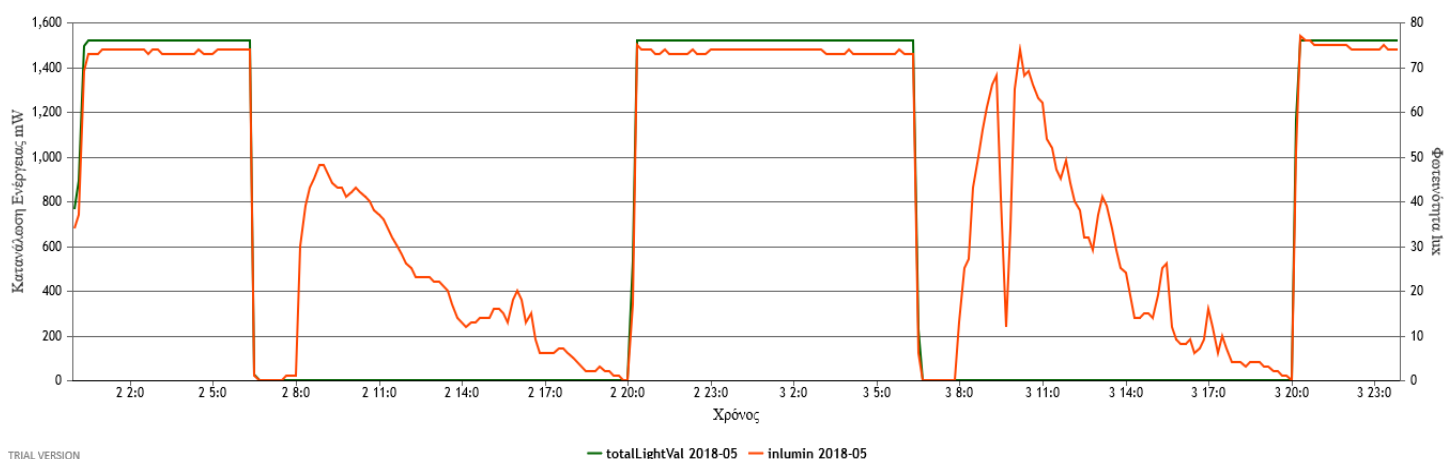


Σχήμα Σ22 (Επίπεδα φωτεινότητας %)

Από τους πίνακες Π8, Π9 και τα διαγράμματα των σχημάτων Σ21, Σ22 φαίνεται ότι η κατανάλωση είναι στο 50% (περίπου 760 mW) της μέγιστης δυνατής όσο είναι αναμμένα τα φωτιστικά στοιχεία. Τις ώρες που δεν υπάρχει φυσικό φως (45,5%) του συνολικού χρόνου. Τα διαστήματα που καταγράφεται χαμηλή και μεσαία κατανάλωση είναι ελάχιστα, αντιπροσωπεύοντας το 0.7% και 0.9% του συνολικού χρονικού διαστήματος εφαρμογής του προτύπου κατανάλωσης. Αντιπροσωπεύει δε, τα χρονικά διαστήματα (δεκάλεπτα) που λαμβάνει χώρα η ανατολή ή η δύση του ήλιου. Ο καθορισμός της ισχύος των φωτιστικών στοιχείων του συστήματος φωτισμού στο 50% σε (σχέση με την περίπτωση 1) δίνει καλύτερα επίπεδα φωτεινότητας με το 42,6% του χρονικού διαστήματος να είναι κάτω από το όριο των 25 Lux σε σχέση με το 86,8% της περίπτωσης 1. Στο επίπεδο κατανάλωσης όμως το 45.5% του χρονικού διαστήματος, παρουσιάζεται αυξημένη κατανάλωση

5.4 Μελέτη περίπτωσης καταναλωτικής συμπεριφοράς 4.

Η εφαρμογή του συγκεκριμένου προτύπου κατανάλωσης διαφέρει από την περίπτωση 3 μόνο στο ότι τα φωτιστικά στοιχεία του συστήματος θα λειτουργούν σε πλήρη ισχύ. (100%). Εδώ, επίσης ορίζεται αυτόματος τρόπος λειτουργίας του συστήματος φωτισμού ανάλογα με τα επίπεδα φωτεινότητας του περιβάλλοντος. Το πρότυπο αυτό εφαρμόστηκε για χρονικό διάστημα δύο ημερών 2 και 3 Μαΐου 2018. Στο διάγραμμα του σχήματος Σ23 που ακολουθεί απεικονίζεται η κατανάλωση και τα επίπεδα φωτεινότητας που καταγράφηκαν κατά την εφαρμογή αυτού του προτύπου.



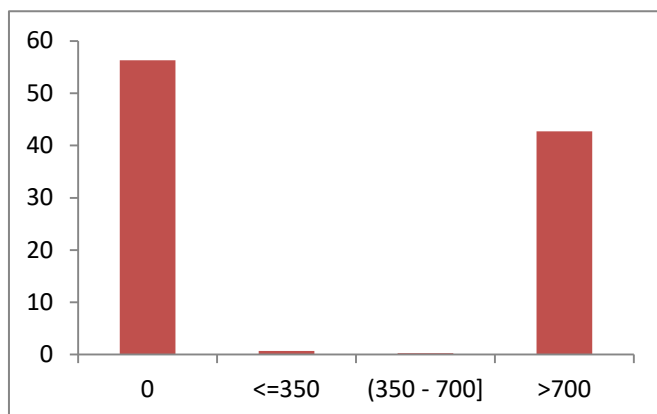
Σχήμα Σ23 (Κατανάλωση και φωτεινότητα 02/05/2018 και 03/05/2018)

Όπως ήταν αναμενόμενο, όταν τα στοιχεία φωτισμού είναι αναμμένα η κατανάλωση είναι η μέγιστη δυνατή 1520 mW. Η φωτεινότητα από την άλλη βρίσκεται στις μέγιστες τιμές της. Όταν

τα στοιχεία φωτισμού είναι σβηστά παρατηρείται η ίδια συμπεριφορά με τις περιπτώσεις 1 και 3. Συγκεντρώθηκαν συνολικά 288 καταγραφές που αντιστοιχούν σε μέση κατανάλωση, και μέσο επίπεδο φωτεινότητας ανά δεκάλεπτο. Έτσι, 288 δεκάλεπτα αντιστοιχούν σε 48 ώρες ή σε 2 ημέρες. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν τα παρακάτω:

Επίπεδο Κατανάλωσης (mW)	Πλήθος (δεκάλεπτα)	Ποσοστό (%)	Πραγματική Κατανάλωση (mW)
0	162	56,3	0
<=350	2	0,7	254
(350 - 700]	1	0,3	532
>700	123	42,7	185194
ΣΥΝΟΛΟ	288	100	185980

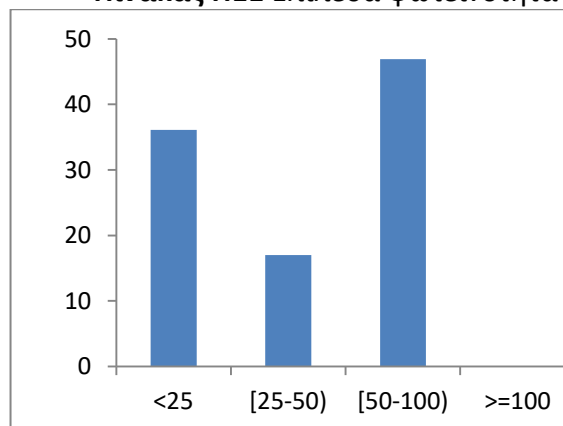
Πίνακας Π10 Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας %



Σχήμα Σ24 (Επίπεδα κατανάλωσης Ενέργειας %)

Φωτεινότητα (Lux)	Πλήθος (δεκάλεπτα)	Ποσοστό (%)
<25	104	36,1
[25-50)	49	17
[50-100)	135	46,9
>=100	0	0
ΣΥΝΟΛΟ	288	100

Πίνακας Π11 Επίπεδα φωτεινότητας %



Σχήμα Σ25 (Επίπεδα φωτεινότητας %)

Τα χαρακτηριστικά της περίπτωσης αυτής μοιάζουν πολύ με αυτά της περίπτωσης 3. Η διαφορά είναι στην στα επίπεδα τιμών κατανάλωσης. Στην περίπτωση 3 η κατανάλωση ανά ημέρα ανέρχεται σε 50846 mW περίπου. Ενώ στην περίπτωση 4 ανέρχεται σε 92990 mW. Ως προς τη φωτεινότητα στην περίπτωση 4 το 46,9% του συνολικού χρονικού διαστήματος κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα (50 έως 100 Lux) ενώ στην περίπτωση 3 το 54% του συνολικού χρονικού διαστήματος κυμάνθηκε στα μεσαία επίπεδα φωτεινότητας. (25 έως 50 Lux). Η επιλογή υιοθέτησης της μίας ή της άλλης περίπτωσης εξαρτάται από τα επιθυμητά επίπεδα φωτεινότητας σε συνδυασμό με τη διαθέσιμη προς κατανάλωση ενέργεια.

6. Συμπεράσματα – προτάσεις.

Με την εκπόνηση της παρούσας εργασίας έγινε μια απόπειρα εξερεύνησης μοτίβων κατανάλωσης ενέργειας στο πλαίσιο της έννοιας της έξυπνης κατοικίας. Προς αυτή την κατεύθυνση επιχειρήθηκε η υλοποίηση ενός μοντέλου σύγχρονης κατοικίας υπό κλίμακα, εφοδιασμένη με στοιχειώδεις διατάξεις τόσο σε επίπεδο αυτοματισμών όσο και σε επίπεδο επικοινωνίας. Η χρήση του διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things IoT) και οι δυνατότητες που προσφέρει ως πλατφόρμα επικοινωνίας μεταξύ συσκευών, εφαρμογών και ανθρώπων αποτέλεσε ένα πολύτιμο «εργαλείο» για την επίτευξη του στόχου. Η συστηματική καταγραφή δεδομένων που αφορούν τις επικρατούσες στην οικία ενεργειακές συνθήκες και η ανάλυσή τους που ακολούθησε, κατέδειξαν, ότι είναι δυνατή η αποτύπωση μιας σαφούς απεικόνισης της ενεργειακής συμπεριφοράς. Αυτό, είναι σημαντικό βήμα γιατί, γνωρίζοντας την ενεργειακή συμπεριφορά του στόχου, τους προσδιοριστικούς παράγοντες, αλλά και το βαθμό επίδρασης που έχουν στη διαμόρφωσή της, δημιουργούνται συνθήκες και δυνατότητες παρέμβασης με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης, την εξοικονόμηση ενέργειας κλπ.

Στην συγκεκριμένη εργασία το ενδιαφέρον εστιάστηκε στο ενεργειακό αποτύπωμα που μπορεί να αφήσει ένα σύγχρονο σύστημα φωτισμού έξυπνης κατοικίας. Ο τρόπος ανίχνευσης μοτίβων κατανάλωσης ενέργειας που εφαρμόστηκε βασίστηκε σε λειτουργία με προκαθορισμένες ρυθμίσεις παραμέτρων του συστήματος φωτισμού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα με καταγραφή τόσο της επίδοσης από άποψη φωτεινότητας όσο και από κατανάλωσης ενέργειας. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα των καταγραφών κατηγοριοποιήθηκαν κατά μέγεθος (για παράδειγμα κατανάλωση και ένταση παρεχόμενης φωτεινότητας) και κατά ποσότητα. Κατόπιν, με μεταβολή των ρυθμίσεων λειτουργίας του συστήματος φωτισμού παρατηρήθηκε ένα διαφοροποιημένο ή ένα άλλο μοτίβο. Καθένα έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του και η αξιολόγησή του ως επιτυχημένο ή όχι εξαρτάται από το σύνολο των παραμέτρων που θα πρέπει να ικανοποιεί.

Από τη μελέτη των μοτίβων, παρατηρήθηκε ότι αυτά θα μπορούσαν να διαιρεθούν σε επιμέρους τμήματα που συνδυαζόμενα μεταξύ τους θα μπορούσαν να δημιουργηθούν νέα με αυξημένα πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται υπό συγκεκριμένες συνθήκες ή αντίστοιχα να αποφεύγονται

μειονεκτήματα. Σε μια τέτοια προσέγγιση, η εφαρμογή τεχνικών μηχανικής μάθησης προκρίνεται ως μια ενδεδειγμένη λύση.

Βιβλιογραφία

- [1] Η ΕΕ και (ενεργειακή ένωση και κλιματική αλλαγή
<http://publications.europa.eu/webpub/com/factsheets/energy/el/>
- [2] Οδηγία 2006/32/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 5ης Απριλίου 2006 , για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex%3A32012L0027>
- [3] Facility Power Usage Modeling and Short Term Prediction with Artificial Neural Networks
<https://pdfs.semanticscholar.org/5089/1a17d5cf31260f6cbfde48467772030d1d2b.pdf>
- [4] Estimated electric power consumption by means of artificial neural networks and autoregressive models with exogenous input methods
<http://www.academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text-pdf/282136D17774>
- [5] Intelligent Energy Forecasting based on the Correlation between Solar Radiation and Consumption patterns
<https://www.semanticscholar.org/paper/Intelligent-energy-forecasting-based-on-the-between-Vinagre-Paz/77a25efa2a84a9ab66ea8989f364cb525361fdfa>
- [6] Electricity Consumption Pattern Detection
<https://www.researchgate.net/publication/310813240>
- [7] Power Consumption Pattern Analysis of Home Appliances for DC-based Green Smart Home
https://www.researchgate.net/publication/277820741_Power_Consumption_Pattern_Analysis_of_Home_Appliances_for_DC-based_Green_Smart_Home
- [8] A Review of Smart Homes – Past, Present, and Future
https://www.researchgate.net/publication/262687986_A_Review_of_Smart_Homes_-_Past_Present_and_Future
- [9] “Internet of Things A to Z”, Qusay F. Hassan, ISBN-13: 978-1119456742
- [10] The Internet of Things (IoT): An Overview Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World
<https://cdn.prod.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC-IoT-Overview-20151221-en.pdf>

- [11] "Climate Change as a Driving Force on Urban Energy Consumption Patterns" ,Mostafa Jafari, Pete Smith , DOI: 10.4018/978-1-5225-2255-3.ch680
- [12] Arduino Mega 2560
<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/65602/F2-BP-2016-Lexmann-Robert-priloha-4-ArduinoMega2560.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [13] Arduino PWM
<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>
- [14] W5500 Datasheet Version1.0.6 (DEC 2014)
http://wizwiki.net/wiki/lib/exe/fetch.php?media=products:w5500:w5500_ds_v106e_141230.pdf
- [15] RTC DS3231 Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- [16] MQ-2 Gas sensor
<https://datasheet.octopart.com/27930-Parallax-datasheet-13536831.pdf>
- [17] HCSR04 Ultrasonic Sensor Elijah J. Morgan Nov. 16 2014
http://centmesh.csc.ncsu.edu/ff_drone_f14_finals/Sensor1/files/hcsr04.pdf
- [18] ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ – ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΧΩΡΙΚΗ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗ – ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ (Ηλιοπούλου, Πολυξένη)
https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2064/3/02_chapter_05-iliopoulou_ANAΘΕΩΡΗΣΗ.pdf
- [19] TMP35/TMP36/TMP37: Low Voltage Temperature Sensors Data Sheet (Rev. H)
http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/TMP35_36_37.pdf
- [20] LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors datasheet (Rev. H), Texas Instruments, SNIS159H–AUGUST199 –REVISED DECEMBER 2017
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- [21] DS18B20 "1-Wire Digital Thermometer" Maxim Integrated Products 2015
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [22] DHT22/AM2303 Digital Output relative – humidity & temperature sensor/module AM2303.
<https://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2015/02/DHT22-datasheet.pdf>