



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ – ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Πληροφορική»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Springboot Rest API Application για τη Διαχείριση Ηλιακού Πάρκου Springboot Rest API Application for Solar Park Management
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Κωνσταντίνος-Ραφαήλ Σιγαλός
Πατρώνυμο	Δημήτριος
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΠΛ 20072
Επιβλέπων	Ευθύμιος Αλέπης, Αναπλ. Καθηγητής

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Ευθύμιος Αλέπης
Αναπλ. Καθηγητής

Μαρία Βίβου
Καθηγήτρια

Ευάγγελος Σακκόπουλος
Αναπλ. Καθηγητής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Πειραιώς, στο τμήμα Πληροφορικής και η ολοκλήρωσή της θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη του καθηγητή μου, Αναπλ. Καθηγητού του ΠΑ.ΠΕΙ., Κου Ευθυμίου Αλέπη. Τον ευχαριστώ θερμά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε όταν ανέλαβε την επίβλεψή μου, την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της εργασίας, αλλά κυρίως για το γεγονός ότι με έκανε να αγαπήσω τον προγραμματισμό μέσα από τα μαθήματά του. Χρωστάω, επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον αδελφικό μου φίλο, Δημήτριο Σελαμαζίδη, ο οποίος με μύησε στον κόσμο της πληροφορικής αποτελώντας ανεκτίμητο στήριγμα στο δύσκολο εγχείρημα της αλλαγής καριέρας. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω πολύ τους γονείς μου και τις γιαγιάδες μου, στους οποίους οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου μέχρι σήμερα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	6
Abstract	7
1. Εισαγωγή	8
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Εφαρμογών Διαχείρισης Ηλιακών Πάρκων	11
2.1. Παρακολούθηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων μέσω WEB Εφαρμογών	11
2.2. Έξυπνη Παρακολούθηση Ηλιακών Συλλεκτών με Amazon Web Services	14
2.2.1. Υπηρεσίες Διαδικτύου Amazon - IoT	16
2.2.2. Λειτουργία του Συστήματος Solar Monitor	17
2.2.3. Επιτήρηση του Συστήματος	17
2.2.4. Αποτελέσματα του Συστήματος	18
2.3. Αυτοματοποιημένο Σύστημα Ελέγχου Ηλιακού Πάνελ μέσω WEB	19
2.4. Έλεγχος Φωτοβολταϊκών Συστημάτων με IoT	20
2.5. Smart Home Εφαρμογές για τον Έλεγχο Ηλιακού Πάνελ	24
2.6. Έξυπνο Φωτοβολταϊκό Απομακρυσμένου Ελέγχου βάσει IoT	29
2.7. Web-Based Service Backend για Έλεγχο Ηλιακών Πάρκων	32
2.8. Διαχείριση Ηλιακών Σταθμών με Χρήση Drone	37
3. Παρουσίαση και χρήση της εφαρμογής - User's manual	39
3.1. Προετοιμασία Περιβάλλοντος	39
3.2. Run Application	39
3.3. Database	39
3.4. Folders	40
3.5. Packages	40
3.6. Endpoints	40
3.6.1. Δημιουργία ηλιακής εγκατάστασης (create Facility)	40
3.6.2. Δημιουργία μονάδας σε ηλιακή εγκατάσταση (create Solar Panel)	41
3.6.3. Εμφάνιση ηλιακών εγκαταστάσεων (get all Solar Facilities)	41
3.6.4. Εμφάνιση ηλιακής εγκατάστασης (get Solar Facility by id)	42
3.6.5. Εμφάνιση ηλιακής μονάδας εγκατάστασης (get Solar Panel by id)	42
3.6.6. Εμφάνιση ηλιακών μονάδων εγκατάστασης (get all Solar Panels)	43
3.6.7. Ενημέρωση ηλιακής εγκατάστασης (update Solar Facility)	44
3.6.8. Ενημέρωση ηλιακής μονάδας (update Solar Panel)	44
3.6.9. Διαγραφή ηλιακής μονάδας (delete Solar Panel)	45
3.6.10. Διαγραφή ηλιακής εγκατάστασης (delete Solar Facility)	45
3.6.11. Εισαγωγή δεδομένων σε ηλιακή μονάδα (insert performance data for Solar Panel)	45

3.6.12.	Εμφάνιση ημερήσιων στατιστικών ανά ηλιακή εγκατάσταση (get Solar Facility daily average performance).....	46
4.	Αρχιτεκτονική Συστήματος	47
5.	Συμπεράσματα και μελλοντικές προεκτάσεις	48
Παράρτημα		50
Βιβλιογραφία		51

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ολοένα και πληθαίνουν στην Ελλάδα ως αποτέλεσμα του στρατηγικού στόχου που έχει θέσει για την απεξάρτησή της από τον λιγνίτη και την εστίαση στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Ως εκ τούτου αυξάνει η ανάγκη για την εξ αποστάσεως διαχείριση τέτοιου είδους μονάδων, μέσω ειδικών εφαρμογών. Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε μία web εφαρμογή για τη διαχείριση και παρακολούθηση ηλιακών εγκαταστάσεων.

Η συγκεκριμένη εφαρμογή σχεδιάστηκε με τέτοιον τρόπο ώστε να μπορεί να εξυπηρετεί από τις ανάγκες μιας εταιρείας, η οποία διαχειρίζεται ηλιακές εγκαταστάσεις μέχρι τις ανάγκες ενός ιδιώτη που έχει προσαρμόσει στο σπίτι του ή σε κάποια ιδιόκτητη περιοχή μία εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης των δεδομένων της εγκατάστασης σε πραγματικό χρόνο. Μερικές από τις δυνατότητες της εφαρμογής, μέσω των οποίων μπορεί να πληροφορηθεί ο χρήστης, είναι η απόδοση του ηλιακού πάνελ στη διάρκεια της ημέρας, πληροφορίες σχετικά με το μέγεθός του, για το ρεύμα που μπορεί να παράξει, καθώς και για την χωρητικότητα της ηλιακής εγκατάστασης σε πάνελ.

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε σε περιβάλλον javaβ, ενώ η βάση δεδομένων αποτελεί μία σχεσιακή βάση, η οποία αποτελείται από τρεις πίνακες όπου αποθηκεύονται οι πληροφορίες για τα solar facilities, τα solar panels και το κάθε solar panel. Μέσω της web εφαρμογής ο χρήστης μπορεί μέσω μια κλήσης να δημιουργήσει μία νέα ηλιακή εγκατάσταση στο σύστημα ή μία νέα μονάδα στην ηλιακή εγκατάσταση. Ανά πάσα στιγμή μπορεί να εμφανίζει τα δεδομένα των ηλιακών εγκαταστάσεων ή ακόμα και αναλυτικότερων πληροφοριών για κάποια ηλιακή εγκατάσταση όπως τη λίστα ηλιακών μονάδων της εγκατάστασης ή ακόμα και την εμφάνιση πληροφοριών που σχετίζονται με μία μεμονωμένη ηλιακή μονάδα εγκατάστασης. Η εφαρμογή παρέχει τη δυνατότητα ενημέρωσης των δεδομένων της ηλιακής εγκατάστασης ή μίας μεμονωμένης ηλιακής μονάδας, τη διαγραφή τους καθώς και τη λήψη των δεδομένων από κάθε ηλιακή μονάδα, τα οποία αφορούν το παραγόμενο ηλεκτρικό της φορτίο και την εμφάνιση στατιστικών στοιχείων ανά ηλιακή εγκατάσταση σε δεδομένες ημερομηνίες.

Λέξεις Κλειδιά: Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Web Εφαρμογές, Διαχείριση

Abstract

In recent years, photovoltaic installations for the production of electricity have been increasing in Greece as a result of the strategic goal it has set for its independence from lignite and the focus on Renewable Energy Sources. Therefore, the need for remote management of such units through special applications is increasing. In this work, a web application was developed for the management and monitoring of solar installations.

This specific application is designed in such a way that it can serve from the needs of a company that manages solar installations to the needs of a private individual who has adapted a photovoltaic system installation to his home or some privately owned area. The application enables monitoring of the installation data in real time. Some of the features of the application, through which the user can be informed, are the performance of the solar panel during the day, information about its size, about the current it can produce, as well as about the capacity of the solar installation in panel.

The application was developed in a java8 environment, while the database is a relational database, which consists of three tables where information about solar facilities, solar panels and each solar panel is stored. Through the web application, the user can create a new solar installation in the system or a new unit in the solar installation with a single call. At any time it can display the data of the solar installations or even more detailed information about a solar installation such as the list of solar modules of the installation or even the display of information related to an individual solar module of the installation. The application provides the possibility of updating the data of the solar installation or of an individual solar module, deleting them as well as downloading the data from each solar module concerning its generated electric load and displaying statistics per solar installation on given dates.

Keywords: Photovoltaic Systems, Web Applications, Management

1. Εισαγωγή

Η ηλιακή ενέργεια, το ακτινοβόλο φως και η θερμότητα από τον ήλιο, έχουν αξιοποιηθεί από τους ανθρώπους από την αρχαιότητα χρησιμοποιώντας μία σειρά από συνεχώς εξελισσόμενες τεχνολογίες. Η ηλιακή ακτινοβολία, μαζί με τους δευτερεύοντες πόρους ηλιακής ενέργειας, όπως η αιολική και η κυματική ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η βιομάζα, αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος της διαθέσιμης ανανεώσιμης ενέργειας στη γη. Είναι χαρακτηριστικό ότι χρησιμοποιείται μόνο ένα μικρό κλάσμα της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας¹, ενώ οι χρήσεις της ηλιακής ενέργειας περιορίζονται μόνο από την ανθρώπινη εφευρετικότητα. Ένας μερικός κατάλογος ηλιακών εφαρμογών περιλαμβάνει θέρμανση και ψύξη χώρων μέσω ηλιακής αρχιτεκτονικής, πόσιμο νερό μέσω απόσταξης και απολύμανσης, φωτισμό ημέρας, ηλιακό ζεστό νερό, ηλιακό μαγείρεμα και θερμότητα διεργασίας υψηλής θερμοκρασίας για βιομηχανικούς σκοπούς. Για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας, ο πιο συνηθισμένος τρόπος είναι η χρήση ηλιακών συλλεκτών. Η ηλιακή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται σε θερμικές μηχανές και σε φωτοβολταϊκά.

Οι ηλιακές τεχνολογίες χαρακτηρίζονται ευρέως είτε ως παθητική ηλιακή είτε ως ενεργή ηλιακή ανάλογα με τον τρόπο που δεσμεύουν, μετατρέπουν και διανέμουν την ηλιακή ενέργεια. Οι ενεργές ηλιακές τεχνικές περιλαμβάνουν τη χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων και ηλιακών θερμικών συλλεκτών για την αξιοποίηση της ενέργειας. Οι παθητικές ηλιακές τεχνικές περιλαμβάνουν τον προσανατολισμό ενός κτιρίου προς τον ήλιο, την επιλογή υλικών με ευνοϊκές ιδιότητες διασποράς θερμικής μάζας ή φωτός και τον σχεδιασμό χώρων που κυκλοφορούν φυσικά τον αέρα.

Είναι πολύ σημαντική η εγκατάσταση και αξιοποίηση αυτών των τεχνολογιών αλλά και η παρακολούθηση και ο έλεγχος λειτουργίας αυτών των συστημάτων. Μια μελέτη από ειδικούς στον τομέα της ηλιακής ενέργειας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι περίπου τα μισά από όλα τα συστήματα ηλιακής ενέργειας δεν λειτουργούν όπως θα έπρεπε, και αυτό οδηγεί σε απώλεια περίπου 20% της ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η έλλειψη ορυκτών πηγών ενέργειας έχει προωθήσει διάφορες εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, η ρύπανση και η υπερθέρμανση του πλανήτη που προκύπτουν από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων γίνονται σημαντικά παγκόσμια ζητήματα. Η ηλιακή ενέργεια, άφθονη και ευρέως διαθέσιμη, είναι μία από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με τις μεγαλύτερες δυνατότητες ανάπτυξης.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι σε θέση να μετατρέψουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια λόγω των φωτοβολταϊκών φαινομένων, κάτι που έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους ενεργειακούς πόρους, για το λόγο αυτό η φωτοβολταϊκή ενέργεια έχει λάβει παγκόσμια προσοχή (Tyagi et al., 2013). Οι μεγάλες βιομηχανικές χώρες όπως η Γερμανία, η Ιταλία, η Ιαπωνία, η Ισπανία, οι ΗΠΑ και η Κίνα έχουν προτείνει πολλές πολιτικές κινήτρων για την ενίσχυση της ταχείας ανάπτυξης της αγοράς φωτοβολταϊκών την

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy

τελευταία δεκαετία. Κατά συνέπεια, η παγκόσμια αγορά φωτοβολταϊκών σημειώνει αξιοσημείωτη ανάπτυξη από 4 Giga watts το 2004, σε 70 Giga watts το 2011 και σε 849 Giga watts το 2021² με μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης άνω του 50%, ενώ στην Ευρώπη η ηλεκτρική ενέργεια που παρήχθη από φωτοβολταϊκά το 2021 ήταν 173 Giga watts.³ (Zhang et al., 2014). Ιδανικά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα εγκαθίστανται σε εξωτερικούς χώρους σε έναν ευρύχωρο χώρο χωρίς καμία επίδραση σκίασης. Ωστόσο, η μερική σκίαση είναι πολύ συχνή το πρωί και το βράδυ, όπως η παρατεταμένη σκίαση κτιρίων και φωτοβολταϊκών μονάδων (Soriptan et al., 2001). Οι απρόβλεπτοι φυσικοί παράγοντες, όπως οι άνεμοι, τα σύννεφα, οι αμμοθύελλες και άλλοι ρύποι μπορούν επίσης να προκαλέσουν κάποια δυσλειτουργία στο φωτοβολταϊκό σύστημα (Prieto et al., 2014), γεγονός που μειώνει δραστικά την ισχύ εξόδου (El Fathi et al., 2014).

Η ανάπτυξη τεχνολογιών διαχείρισης λειτουργίας, παρακολούθησης και διάγνωσης βλαβών για τα φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος όχι μόνο βελτιώνει την απόδοση συντήρησης και την αξιοπιστία του συστήματος αλλά και μειώνει το κόστος λειτουργίας (Rosell & Ibanez, 2006). Η λειτουργία και η συντήρηση (operation and maintenance, O&M) των φωτοβολταϊκών σταθμών απαιτεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης που εφαρμόζεται σε όλο τον κύκλο ζωής. Η διαχείριση της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής εξακολουθεί να αναδύεται και να εξελίσσεται προκειμένου να παρέχει μία κριτική εικόνα για τους πραγματικούς κινδύνους και τις ευκαιρίες. Την τελευταία δεκαετία, η πλειονότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων ισχύος χρησιμοποιεί ακριβούς σταθμούς εποπτείας και ελέγχου σε επίπεδο εγκατάστασης και συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (decision support systems, DSS) στον κεντρικό σταθμό ελέγχου (Koutroulis & Kalaitzakis, 2003). Τα συστήματα συλλέγουν on-line δεδομένα με βασικές τεχνολογίες απόκτησης δεδομένων και τα μεταδίδουν στο σύστημα ελέγχου μέσω κάποιας αρτηρίας επί του πεδίου (field-bus) προκειμένου να παρακολουθούν και να ελέγχουν το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας ή να αποθηκεύουν και να αναφέρουν τις πληροφορίες της on-line λειτουργίας.

Επίσης, έχουν προταθεί και προηγμένες μέθοδοι, όπως π.χ. το σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης και ελέγχου το οποίο εφαρμόζεται για μικρής κλίμακας φωτοβολταϊκή και κατανεμημένη γεννήτρια (PV-DG), συγκεκριμένα μία εφαρμογή μικροδικτύου, με βάση ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και ένα σύστημα εποπτείας (Peng et al., 2015). Ένα γενικό πλαίσιο πλατφορμών απομακρυσμένης παρακολούθησης και ανάλυσης προτείνεται για πολλαπλές κλίμακες φωτοβολταϊκών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με την έννοια των παγκόσμιων εφαρμογών. Τα δίκτυα αισθητήρων έχουν αναπτυχθεί στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις για τη συλλογή πληροφοριών, για περιβαλλοντικές μεταβλητές και ηλεκτρικές μεταβλητές στο φωτοβολταϊκό σύστημα. Αυτά τα δεδομένα μεταδίδονται στο Διαδίκτυο ή στο intranet, διαθέσιμα για τους παγκόσμιους χρήστες του Ιστού, ενώ οι αντίστοιχες λειτουργίες διαχείρισης και παρακολούθησης λειτουργίας υλοποιούνται σε μια διαδικτυακή εφαρμογή.

² https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_by_country

³ https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_in_the_European_Union

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να σχεδιασθεί μία web εφαρμογή για τη διαχείριση και την παρακολούθηση ηλιακών εγκαταστάσεων. Η συγκεκριμένη εφαρμογή θα μπορούσε να εξυπηρετεί είτε τις ανάγκες μίας εταιρείας, η οποία διαχειρίζεται ηλιακές εγκαταστάσεις, είτε ενός ιδιώτη που έχει προσαρμόσει στο σπίτι ή σε κάποια ιδιοκτησία του μία εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος έχει δομηθεί με τέτοιον τρόπο, ώστε η εφαρμογή να είναι ιδιαίτερα φιλική προς τον χρήστη, παρέχοντάς του τη δυνατότητα να έχει πλήρη εικόνα των ηλιακών εγκαταστάσεων και των πάνελ που αυτές περιλαμβάνουν. Με πολύ απλό τρόπο ο χρήστης μπορεί να λάβει αναλυτικές πληροφορίες για το όνομα, τη διεύθυνση, τη μέγιστη χωρητικότητα, τις ακριβείς συντεταγμένες και τον αριθμό των πάνελ που βρίσκονται στην εγκατάσταση που τον ενδιαφέρει, όπως επίσης και τον τύπο, τον σειριακό αριθμό και το μέγεθος που αυτά έχουν. Μπορεί να παρακολουθεί δεδομένα, όπως η απόδοση της ηλιακής εγκατάστασης στη διάρκεια της ημέρας, ελέγχοντας τον ακριβή αριθμό παραγωγής ρεύματος σε κιλοβατώρες (kwh), ενώ έχει και τη συνολική εικόνα για όλα τα πάρκα, αφού η εφαρμογή του δίνει τον μέσο όρο απόδοσης της κάθε εγκατάστασης.

Σε περίπτωση που δημιουργηθεί νέο ηλιακό πάρκο ή ενισχυθεί κάποιο υπάρχον με την εγκατάσταση πάνελ, η εφαρμογή μπορεί να ενημερωθεί πολύ εύκολα, ενώ εξίσου απλή είναι τόσο η διόρθωση στα στοιχεία των μονάδων όσο και η πλήρης διαγραφή από το σύστημα αν παύσει η λειτουργία οποιασδήποτε εγκατάστασης ή πάνελ.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Εφαρμογών Διαχείρισης Ηλιακών Πάρκων

2.1. Παρακολούθηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων μέσω WEB Εφαρμογών

Στην εργασία του Kumar (2011), ο συγγραφέας παρουσιάζει ένα σύστημα παρακολούθησης ηλιακού συστήματος που βασίζεται στο Διαδίκτυο. Ο συγγραφέας για τη δημιουργία του συστήματος παρακολούθησης χρησιμοποίησε την τεχνολογία των HTML, Java και διακομιστή Ιστού. Για την παρατήρηση και τον έλεγχο του συστήματος κατά την εργασία έχει χρησιμοποιηθεί ένας υπολογιστής που ήδη υπάρχει και η γραμμή LAN είναι συνδεδεμένη στο διαδίκτυο.

- **HTML.** Είναι συντομογραφία των λέξεων Hypertext Markup Language, είναι η κυρίαρχη γλώσσα σήμανσης για ιστοσελίδες. Τα στοιχεία HTML είναι τα βασικά δομικά στοιχεία των ιστοσελίδων. Το HTML είναι γραμμένο με τη μορφή στοιχείων που αποτελούνται από ετικέτες, που περικλείονται σε γωνιακές αγκύλες (όπως `html>`), εντός του περιεχομένου της ιστοσελίδας. Οι ετικέτες HTML συνήθως έρχονται σε ζεύγη όπως `<h1>` και `</h1>`. Η πρώτη ετικέτα σε ένα ζευγάρι είναι η ετικέτα έναρξης, η δεύτερη ετικέτα είναι η ετικέτα τέλους (ονομάζονται επίσης ετικέτες ανοίγματος και ετικέτες κλεισίματος). Ανάμεσα σε αυτές τις ετικέτες, οι σχεδιαστές ιστοσελίδων μπορούν να προσθέσουν κείμενο, πίνακες, εικόνες κ.λπ.
- **Java.** Είναι μια γλώσσα προγραμματισμού που αναπτύχθηκε αρχικά από τον Gosling στη Sun Microsystems (η οποία είναι τώρα θυγατρική της Oracle Corporation) και κυκλοφόρησε το 1995 ως βασικό στοιχείο της πλατφόρμας Java της Sun Microsystems. Η γλώσσα αντλεί μεγάλο μέρος της σύνταξής της από τις γλώσσες C και C++, αλλά έχει απλούστερο μοντέλο αντικειμένου και λιγότερες εγκαταστάσεις χαμηλού επιπέδου. Οι εφαρμογές Java συνήθως μεταγλωττίζονται σε κώδικα byte (αρχείο κλάσης) που μπορεί να εκτελεστεί σε οποιαδήποτε Java Virtual Machine (JVM) ανεξάρτητα από την αρχιτεκτονική του υπολογιστή.
- **Java Server Pages (JSP).** Η τεχνολογία JSP επιτρέπει στους προγραμματιστές και τους σχεδιαστές ιστού να αναπτύσσουν γρήγορα και να συντηρούν εύκολα, πλούσιες σε πληροφορίες, δυναμικές ιστοσελίδες που αξιοποιούν τα υπάρχοντα επιχειρηματικά συστήματα.
- **Διακομιστής Ιστού (Web server).** Είναι ο συνδυασμός του υλικού (hardware) και του κατάλληλου λογισμικού που βοηθά στην παράδοση περιεχομένου στο οποίο είναι προσβάσιμο μέσω του Διαδικτύου, αλλά επίσης μπορεί να αναφέρεται χωριστά είτε στον υπολογιστή είτε στο λογισμικό. Η πιο κοινή χρήση των διακομιστών Ιστού είναι η φιλοξενία ιστοσελίδων, αλλά υπάρχουν και άλλες χρήσεις όπως η αποθήκευση δεδομένων ή η εκτέλεση εταιρικών εφαρμογών. Η κύρια λειτουργία ενός διακομιστή ιστού είναι να παρέχει ιστοσελίδες κατόπιν αιτήματος σε προγράμματα περιήγησης

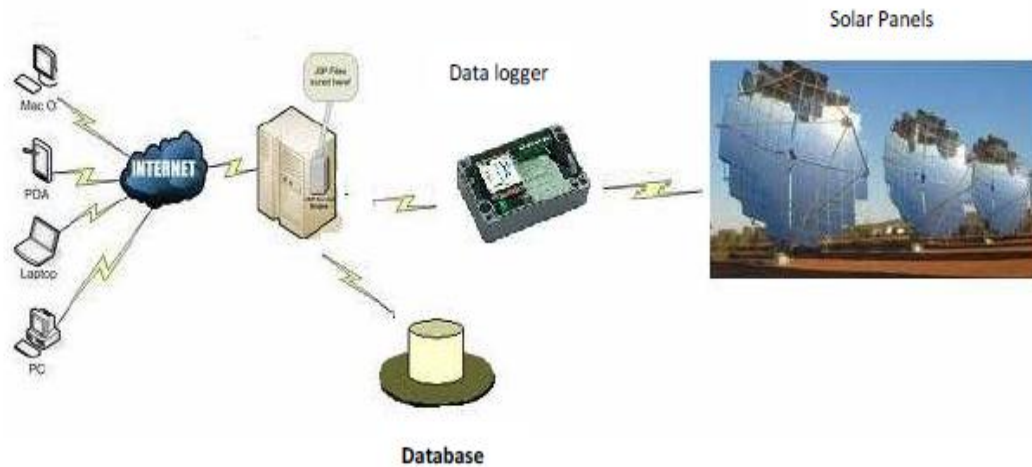
ιστού (browser). Αυτό σημαίνει παράδοση εγγράφων HTML και οποιουδήποτε πρόσθετου περιεχομένου που μπορεί να περιλαμβάνεται σε ένα έγγραφο, όπως εικόνες, φύλλα στυλ και σενάρια.

- **Καταγραφικό Δεδομένων (Data Logger).** Είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που καταγράφει δεδομένα σε βάθος χρόνου ή σε σχέση με την τοποθεσία είτε με ενσωματωμένο όργανο ή αισθητήρα είτε μέσω εξωτερικών οργάνων και αισθητήρων. Όλο και περισσότερο, αλλά όχι εξ ολοκλήρου, βασίζονται σε ψηφιακό μικροεπεξεργαστή. Γενικά πρόκειται για συσκευές μικρού όγκου και βάρους, τροφοδοτούνται με μπαταρία, είναι φορητά και εξοπλισμένα με μικροεπεξεργαστή, εσωτερική μνήμη για αποθήκευση δεδομένων και αισθητήρες. Ορισμένα καταγραφικά δεδομένων διασυνδέονται με υπολογιστή ο οποίος χρησιμοποιεί λογισμικό για να ενεργοποιήσει το καταγραφικό δεδομένων και να προβάλει και να αναλύσει τα δεδομένα που συλλέγονται.
- **Βάση Δεδομένων (Database).** Είναι μια οργανωμένη συλλογή δεδομένων για έναν ή περισσότερους σκοπούς, όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται σε ψηφιακή μορφή σε αρχεία ενός ή περισσότερων καταναμημένων διακομιστών. Τα δεδομένα συνήθως οργανώνονται για να μοντελοποιήσουν σχετικές πτυχές της πραγματικότητας (για παράδειγμα, τη διαθεσιμότητα δωματίων σε ξενοδοχεία), με τρόπο που να υποστηρίζει διαδικασίες που απαιτούν αυτές τις πληροφορίες (για παράδειγμα, εύρεση ξενοδοχείου με κενές θέσεις). Ο όρος βάση δεδομένων αναφέρεται τόσο στον τρόπο με τον οποίο την βλέπουν οι χρήστες της όσο και στη λογική και φυσική υλοποίηση των δεδομένων, του περιεχομένου της, σε αρχεία, μνήμη υπολογιστή και αποθήκευση δεδομένων .

Το Σχ. 1 δίνει τη βασική δομή των συστημάτων παρακολούθησης που βασίζονται στο διαδίκτυο. Το καταγραφικό δεδομένων διαβάζει δεδομένα από ηλιακούς συλλέκτες και αποθηκεύει πληροφορίες στη συσκευή αποθήκευσης. Ο διακομιστής web διαβάζει τα δεδομένα από τη συσκευή αποθήκευσης και οι πελάτες μπορούν να έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες των ηλιακών συλλεκτών χρησιμοποιώντας το Διαδίκτυο.

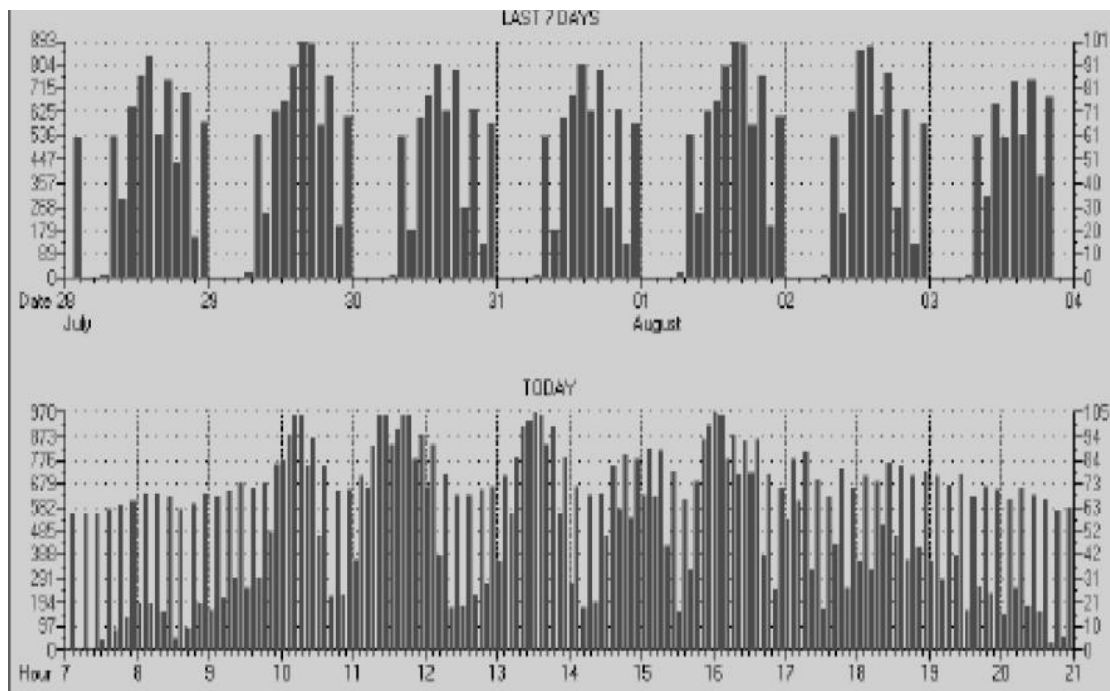
Τα οφέλη των συστημάτων παρακολούθησης που βασίζονται στο διαδίκτυο περιλαμβάνουν:

1. Η συντήρηση και η επισκευή θα γίνουν πολύ πιο εύκολα μέσω της χρήσης της υποδομής του Διαδικτύου.
2. Η γλώσσα προγραμματισμού Java είναι αποδεκτή σε πολλές πλατφόρμες, επομένως δεν χρειάζεται να επιλεγεί πλατφόρμα για εγκατάσταση.
3. Οι συνδέσεις μεγάλης εμβέλειας μπορούν να λειτουργήσουν με την παρούσα δομή χωρίς να απαιτείται επιπλέον υλικό και λογισμικό.
4. Η συντήρηση και η επισκευή του θα είναι εύκολη λόγω του περιορισμένου αριθμού συνδέσεων του.



Σχ. 1. Γενική Δομή Συστημάτων Παρακολούθησης ηλιακής ενέργειας μέσω Διαδικτύου.

Για την παρακολούθηση της ενεργειακής απόδοσης των ηλιακών συστημάτων, χρησιμοποιείται ένα πρόγραμμα γραφικών το οποίο είναι εγκατεστημένο στον διακομιστή ιστού και μπορεί να αναζητά δεδομένα από τη βάση δεδομένων και να υπολογίζει τα επιθυμητά γραφήματα ενέργειας, τα οποία στη συνέχεια παρέχονται στους απομακρυσμένους χρήστες. Ένα δείγμα των γραφημάτων δίνεται στο Σχ. 2.



Σχ. 2. Γράφημα ενεργειακής απόδοσης ηλιακών συστημάτων.

2.2. Έξυπνη Παρακολούθηση Ηλιακών Συλλεκτών με Amazon Web Services

Κατά τους αρχαίους χρόνους πριν από την ανακάλυψη των ορυκτών καυσίμων ως πηγών ενέργειας, η βιομάζα χρησιμοποιήθηκε ως καύσιμο για να τροφοδοτήσει τη φωτιά. Αργότερα, ο άνεμος και το νερό χρησιμοποιήθηκαν για την κίνηση μηχανών που χρησιμοποιούνταν σε μύλους. Οι πρωταρχικές πηγές ανανεώσιμης ενέργεια περιελάμβαναν την ανθρώπινη εργασία, την εργασία των ζώων, το νερό, τον άνεμο και τα καυσόξυλα. Ακόμη και η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε με τη μορφή θερμών πηγών. Μετά την εισαγωγή των ορυκτών καυσίμων ως πηγών ενέργειας, υπήρχαν φόβοι ότι σύντομα θα εξαντλούνταν και γι' αυτό υπήρχε ανάγκη για εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Από το 2018 ως το 2020, παρήχθησαν 26.700 TWh ηλεκτρικής ενέργειας, εκ των οποίων σχεδόν το 64% προέρχεται από άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Εντωμεταξύ, μόνο το 26% προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές όπως ηλιακή, νερό, άνεμος κ.λπ. και το υπόλοιπο 10% είναι από πυρηνικές πηγές. Υπάρχουν πολλές πηγές ανανεώσιμης ενέργειας. Αυτές περιλαμβάνουν την αιολική ενέργεια στην οποία η ροή του αέρα χρησιμοποιείται για να κινήσει τις ανεμογεννήτριες, την υδροηλεκτρική ενέργεια όπου τα φράγματα χρησιμοποιούν τη δύναμη των ποταμών και άλλων υδάτινων όγκων για να λειτουργήσουν τουρμπίνες, η γεωθερμική ενέργεια που χρησιμοποιεί τη θερμική ενέργεια που παράγεται και αποθηκεύεται στη γη και η ηλιακή ενέργεια που χρησιμοποιεί ηλιακά πάνελ για να μετατρέψει το ηλιακό φως σε χρησιμοποιήσιμη ενέργεια.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) αφορά ένα σχήμα στο οποίο πολλά αντικείμενα που βρίσκονται το ένα κοντά στο άλλο συνδέονται μέσω ενσύρματων και ασύρματων δικτύων χωρίς την παρέμβαση του χρήστη. Στον τομέα του IoT, τα αντικείμενα επικοινωνούν και ανταλλάσσουν πληροφορίες για να παρέχουν προηγμένες ευφυείς υπηρεσίες στους χρήστες. Δεδομένου ότι οι κινητές συσκευές αυτές τις μέρες είναι εξοπλισμένες με διάφορους αισθητήρες και μονάδες επικοινωνίας, μαζί με τεχνολογίες δικτύου επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας όπως το Wi-Fi και το LTE μαζί με τις επερχόμενες τεχνολογίες όπως το 5G, το IoT έχει κερδίσει σημαντικά ακαδημαϊκά και βιομηχανικά ενδιαφέροντα. Επί του παρόντος, το IoT χρησιμοποιείται για την ανίχνευση, την ενεργοποίηση, τη συλλογή δεδομένων, την αποθήκευση δεδομένων και την επεξεργασία τους μέσω της σύνδεσης συσκευών στο Διαδίκτυο. Μία ποικιλία ερευνών για υπηρεσίες IoT περιλαμβάνει την παρακολούθηση ορισμένων αντικειμένων (Kibria et al., 2016), την παρακολούθηση του περιβάλλοντος (Assante & Fornaro, 2019), την υγειονομική περίθαλψη (Durga et al., 2019), τη διαχείριση της κυκλοφορίας (Rani et al., 2017), την έξυπνη ασφάλεια (Maduru & Karthikeyan, 2018), το έξυπνο σπίτι (Mtshali & Khubisa, 2019), καθώς και τεχνολογίες που αφορούν σε έξυπνες πόλεις (Brincat et al., 2019).

Στην εργασία των Kodali & Jeswin (2020), οι συγγραφείς παρουσιάζουν την εφαρμογή ενός συστήματος βασισμένου στο IoT που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων ενός ηλιακού πάνελ, συμπεριλαμβανομένων της τάσης εξόδου, του ρεύματος εξόδου και της θερμοκρασίας. Αυτό υλοποιείται χρησιμοποιώντας μία μονάδα μικροελεγκτή

ESP8266 NodeMCU, συνδεδεμένη με έναν αισθητήρα θερμοκρασίας (LM35) για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας, έναν αισθητήρα ρεύματος (ACS712) για την παρακολούθηση του ρεύματος εξόδου, ένα κύκλωμα διαιρέτη τάσης για την παρακολούθηση της τάσης εξόδου και έναν βασικό διακόπτη κλίσης SW520D για τη μέτρηση της γωνία κλίσης του ηλιακού πάνελ. Αυτό το σύστημα του μικροελεγκτή με τους αισθητήρες, παρακολουθεί τις παραπάνω παραμέτρους για κάθε μεμονωμένο ηλιακό πάνελ και κοινοποιεί αυτές τις πληροφορίες στον χρήστη μέσω των Υπηρεσιών Ιστού της Amazon (Amazon Web Services, AWS). Το σύστημα μικροελεγκτή και αισθητήρων, εντοπίζει επίσης εάν κάποιο ηλιακό πάνελ παρουσιάζει κάποια δυσλειτουργία και ειδοποιεί τον χρήστη.

Δεδομένου του τρέχοντος σεναρίου για το πώς οι πηγές ενέργειας από ορυκτά καύσιμα εξαντλούνται γρήγορα και την ανάγκη να χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με σύνεση, τα έξυπνα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητα (Song et al., 2015). Εδώ οι συσκευές που χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο των πραγμάτων βοηθούν στην παρακολούθηση του τρόπου διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας και του τρόπου βελτίωσης της χρήσης της σε πολλά κτίρια με βάση τις απαιτήσεις. Το διαδίκτυο των πραγμάτων μπορεί επίσης να επεκταθεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην εργασία των Shapsough & Zualkernan (2019), εξηγείται η δομή ενός ενδιάμεσου λογισμικού που βασίζεται στο IoT σε ένα ηλιακό αγρόκτημα μεγάλης κλίμακας και γίνεται αναφορά στις λειτουργικές απαιτήσεις του ενδιάμεσου λογισμικού, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης πόρων, των δεδομένων, των συμβάντων και του λογισμικού, την επίγνωση του περιβάλλοντος, την αυτονομία κ.λπ. καθώς και για τις μη λειτουργικές απαιτήσεις, όπως είναι η επεκτασιμότητα, η επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, η ασφάλεια, η ευκολία ανάπτυξης, η συντήρηση, η χρήση, η προσαρμοστικότητα κ.λπ.

Μία μελέτη περίπτωσης διεξήχθη στο έξυπνο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Maejo και αναφέρεται στο σύστημα ηλιακής ενέργειας που εφαρμόστηκε στο IoT για την τροφοδοσία των συστημάτων άρδευσης του αγροκτήματος (Chieochan et al., 2017). Στην παραπάνω εργασία, χρησιμοποίησαν το IoT για να παρακολουθούν τα επίπεδα τάσης και ρεύματος που παράγονται από τους ηλιακούς συλλέκτες και χρησιμοποίησαν το Blynk ως υπηρεσία cloud IoT. Άλλες έξυπνες συσκευές παρακολούθησης έχουν επίσης εφαρμοστεί, όπως στο Πολιτειακό Πανεπιστήμιο της Αριζόνα (Spanias, 2017), όπου το σύστημα ηλιακής ενέργειας με δυνατότητα IoT παρέχει αναλυτικές πληροφορίες εν κινήσει, απομακρυσμένο έλεγχο του αγροκτήματος, ανίχνευση σφαλμάτων, βελτιστοποιημένη ισχύ και άλλα χρησιμοποιώντας το δικό τους προσαρμοσμένο πλαίσιο. Το IoT έχει επίσης χρησιμοποιηθεί στην παρακολούθηση του ήλιου για τη βελτίωση της ποσότητας φωτός που προσπίπτει στο ηλιακό πάνελ (Sritoklin et al., 2018). Χρησιμοποιώντας αλγόριθμους παρακολούθησης GPS, ο κινητήρας που είναι συνδεδεμένος στο διαδίκτυο μέσω IoT μετακινεί τους ηλιακούς συλλέκτες σύμφωνα με τη θέση του ήλιου ώστε να μεγιστοποιεί την απόδοσή τους.

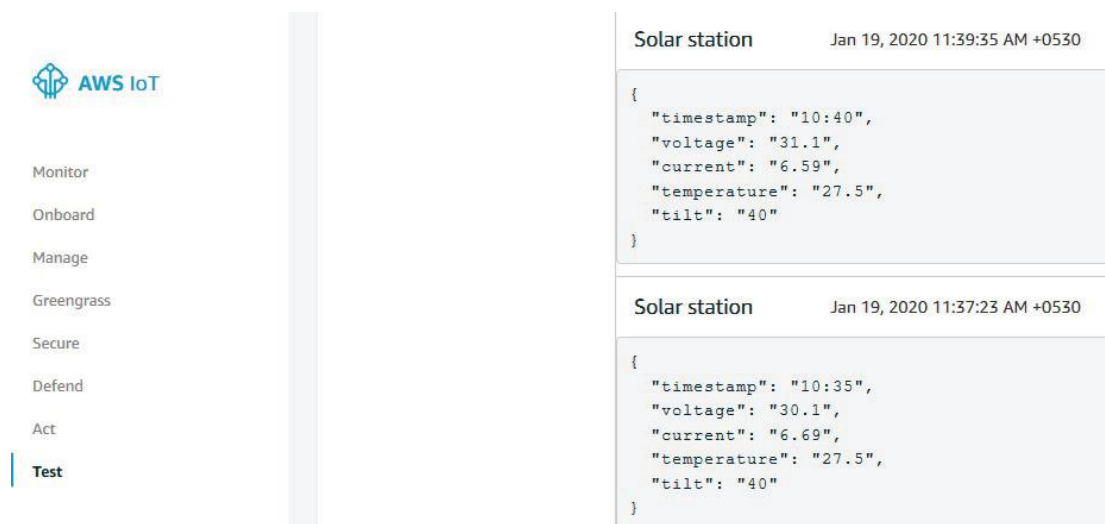
2.2.1. Υπηρεσίες Διαδικτύου Amazon - IoT

Το Amazon Web Services (AWS) είναι μια πλατφόρμα υπολογιστικού νέφους που υλοποιεί τεχνική υποδομή, υπολογιστικά μπλοκ και άλλα εργαλεία και παρέχεται κατά παραγγελία (on demand). Παρέχει ένα εικονικό σύμπλεγμα υπολογιστών που περιλαμβάνει CPU, αποθήκευση HDD/SDD, μνήμη RAM, GPU για επεξεργασία, δικτύωση, επιλογή λειτουργικών συστημάτων και άλλο λογισμικό εφαρμογών όπως μεταγλωττιστές, βάσεις δεδομένων, διακομιστές ιστού κ.λπ. και είναι διαθέσιμο συνεχώς χωρίς διακοπή μέσω του Διαδικτύου. Το AWS IoT παρέχει υπηρεσίες για την υλοποίηση συσκευών IoT και παρέχει επίσης υπηρεσίες από την άκρη μέχρι το νέφος. Ορισμένες από τις υπηρεσίες που παρέχονται από το AWS IoT περιλαμβάνουν το AWS IoT Core που επιτρέπει να συνδέονται συσκευές χρησιμοποιώντας αντικείμενα και το καθιστά ασφαλές επισυνάπτοντας πιστοποιητικά σε αυτά, ενώ επίσης παρέχει τρόπους αλληλεπίδρασης με άλλες συσκευές και άλλες υπηρεσίες AWS. Το AWS IoT Greengrass επιτρέπει να υπολογίζονται, να εκτελούνται, να αποθηκεύονται προσωρινά δεδομένα, να συγχρονίζονται, να στέλνονται μηνύματα, να εκτελείται μηχανική μάθηση σε συνδεδεμένες συσκευές και πολλά άλλα. Το Amazon FreeRTOS είναι ένα λειτουργικό σύστημα για μικροελεγκτές που διευκολύνει τον προγραμματισμό, τη διαχείριση, τη σύνδεση, την ανάπτυξη και την ασφάλεια των μικρών συσκευών αιχμής χαμηλής κατανάλωσης. Το AWS IoT Analytics διευκολύνει την εκτέλεση πολύπλοκων αναλυτικών διεργασιών σε μεγάλες ποσότητες δεδομένων IoT που λαμβάνονται από συσκευές συνδεδεμένες με το AWS IoT Core. Το AWS IoT Events βοηθά να ανιχνεύονται συμβάντα που περιγράφονται κατά τη συλλογή δεδομένων από πολλούς αισθητήρες και εφαρμογές IoT και να υπάρχει η ανταπόκριση σε αυτά με τον τρόπο που έχει καθοριστεί. Το AWS IoT υποστηρίζει τόσο το πρωτόκολλο MQTT όσο και το πρωτόκολλο HTTP για μεταφορά δεδομένων, καθιστώντας το έτσι πολύ ευέλικτο. Επίσης, μπορεί να αλληλεπιδράσει με άλλες υπηρεσίες AWS όπως το Amazon SageMaker, το AWS S3, το AWS Lambda κ.λπ. προκειμένου να δημιουργήσει ολοκληρωμένες και πολύπλοκες λύσεις. Παρέχει ακόμα πρωτόκολλα υψηλής ασφαλείας ώστε να προστατεύονται τα δεδομένα που λαμβάνονται, γεγονός που καθιστά δύσκολο τον κακόβουλο χειρισμό τους.

Η εργασία των Jaya & Hossain (2018) δείχνει τη χρήση του AWS IoT Core για τον έλεγχο της ροής του αέρα στον οικιακό αυτοματισμό χρησιμοποιώντας MQTT. Για τη διασύνδεση του ESP8266 με τις Υπηρεσίες Ιστού της Amazon, το Mongoose OS εκτελείται στο NodeMCU. Το Mongoose OS είναι ένα ασφαλές λειτουργικό σύστημα για συσκευές IoT όπως το ESP8266 και το ESP32, είναι γρήγορο και εύκολο στη ρύθμισή του και μπορεί ακόμη και να παρέχει αυτόματα AWS. Επίσης παρέχει ενημερώσεις Over-The-Air και απομακρυσμένη διαχείριση, είναι εξοπλισμένο με ενσωματωμένη κρυπτογράφηση flash και βελτιστοποιημένο TLS για μικρό αποτύπωμα μνήμης, και άλλα χαρακτηριστικά, κάνοντας το έτσι ιδανικό για την παρακολούθηση απομακρυσμένων συσκευών, αισθητήρων και καταγραφών δεδομένων. Υπάρχουν αξιοσημείωτες εφαρμογές στα συστήματα επιτήρησης που λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο, που χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο των πραγμάτων για μεταφορά δεδομένων και βασίζονται στο Mongoose RTOS (Kodali & Yadavilli, 2018).

2.2.2. Λειτουργία του Συστήματος Solar Monitor

Στην εργασία των Kodali & Jeswin (2020), οι συγγραφείς παρουσιάζουν τη λειτουργία του συστήματος επιτήρησης ηλιακών συλλεκτών, το οποίο αναφέρεται ως έξυπνο σύστημα παρακολούθησης και ονομάζεται Solar Monitor. Συγκεκριμένα οι συγγραφείς αναφέρουν ότι οι αισθητήρες που συνδέονται στο ESP8266 περιλαμβάνουν κύκλωμα διαιρέτη τάσης, αισθητήρα ρεύματος, αισθητήρα θερμοκρασίας και αισθητήρα κλίσης συλλεκτών. Οι τιμές από αυτούς τους αισθητήρες συλλέγονται από τον μικροελεγκτή ESP8266 και αποστέλλονται στην πλατφόρμα cloud του Amazon Web Services μέσω μηνυμάτων MQTT (MQ Telemetry Transport). Το MQTT επιλέγεται λόγω των ελαφριών και αξιόπιστων χαρακτηριστικών του που το καθιστούν ικανό να στέλνει μηνύματα ακόμη και σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η συνδεσιμότητα στο Διαδίκτυο μπορεί να είναι αδύναμη. Αυτό είναι ιδανικό για μεγάλης κλίμακας ηλιακά πάρκα, καθώς αυτά συνήθως βρίσκονται σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Το Σχ. 3 δείχνει τις μετρήσεις που λαμβάνονται από το ESP8266 στο AWS.



Σχ. 3. Αναγνώσεις στον AWS IoT core.

2.2.3. Επιτήρηση του Συστήματος

Η υπηρεσία AWS που χρησιμοποιείται είναι το AWS IoT που αποτελείται από το AWS IoT core που σχηματίζει μια σύνδεση μεταξύ του ESP8266 και του AWS και συγκεντρώνει τα δεδομένα που αποστέλλονται από το ESP8266 σε μορφή JSON. Στη συνέχεια τα δεδομένα αποστέλλονται στο AWS IoT analytics και αποθηκεύονται σε μορφή βάσης δεδομένων. Χρησιμοποιώντας το Amazon Quicksight, αυτά τα δεδομένα μπορούν να οπτικοποιηθούν με τη μορφή γραφημάτων, δίνοντάς έτσι στο χρήστη μια προβολή σε πραγματικό χρόνο της απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών.

2.2.3.1. Θερμοκρασία

Για την αποφυγή υπερθέρμανσης των ηλιακών συλλεκτών, η θερμοκρασία των ηλιακών κυψελών ανιχνεύεται από τον αισθητήρα θερμοκρασίας LM35, δίνεται στο ESP8266 και

αποστέλλεται στην υπηρεσία AWS cloud. Εάν η θερμοκρασία λειτουργίας του πίνακα υπερβαίνει τους 70 βαθμούς, η απόδοσή του μειώνεται δραστικά. Έτσι ενεργοποιείται ένα σύστημα ψύξης για μείωση της θερμοκρασίας.

2.2.3.2. Αποτελεσματικότητα

Η παρουσία σωματιδίων σκόνης, βροχής και χιονιού μπορεί να εμποδίσει την ικανότητα των ηλιακών κυψελών να αξιοποιούν την ενέργεια του ήλιου. Ως εκ τούτου, οι τιμές τάσης και ρεύματος που ανιχνεύονται από το ESP8266 παρακολουθούνται στο AWS cloud και εάν διαπιστωθεί ότι αυτές οι τιμές έχουν μειωθεί σημαντικά παρά την πρόβλεψη καθαρού ουρανού, γίνεται κατανοητό ότι το πιο πιθανό σενάριο θα είναι η παρουσία σκόνης ή άλλων σωματιδίων στην επιφάνεια του συλλέκτη.

2.2.3.3. Ανίχνευση σφαλμάτων

Εάν κάποιος από τα ηλιακά πάνελ αποτύχει, η ισχύς εξόδου θα γίνει μηδενική. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν στη συνέχεια να δοθούν στον χρήστη μέσω της Υπηρεσίας Απλής Ειδοποίησης (Simple Notification Service, SNS) της Amazon, έτσι ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα επισκευής του ηλιακού συλλέκτη, της καλωδίων ή της αντικατάστασης τους.

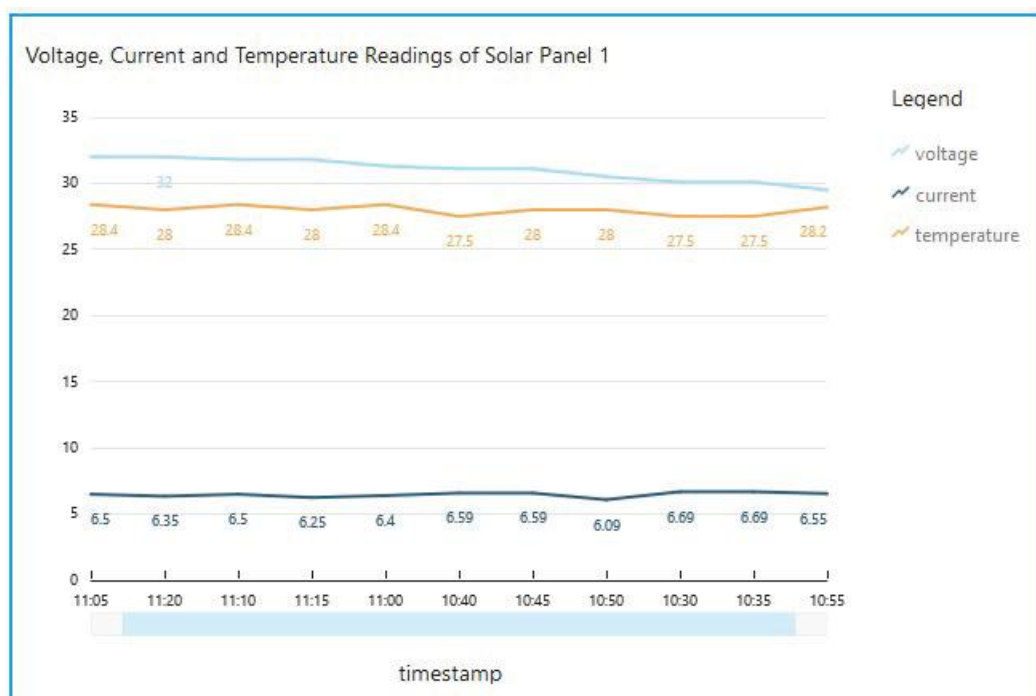
2.2.3.4. Γωνία Κλίσης Συλλέκτη

Ο βασικός αισθητήρας κλίσης SW-520D χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της γωνίας κλίσης του ηλιακού πάνελ. Αυτό βοηθά να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα του συλλέκτη. Για παράδειγμα εάν λόγω του ανέμου, το ηλιακό πάνελ γέρνει έτσι ώστε να μην λαμβάνει το βέλτιστο ηλιακό φως, ο αισθητήρας κλίσης μαζί με το AWS μπορούν να καθορίσουν ποια πρέπει να είναι η ιδανική γωνία κλίσης εκείνη την ώρα της ημέρας και να αντιστοιχίσουν αυτές τις πληροφορίες σε έναν κινητήριο σύστημα που μπορεί να ρυθμίσει ανάλογα τα πάνελ.

2.2.4. Αποτελέσματα του Συστήματος

Οι τιμές της τάσης και του ρεύματος εξόδου μαζί με τη θερμοκρασία και τη γωνία κλίσης του ηλιακού πάνελ που υπάρχει σε ένα ηλιακό πάρκο κοινοποιούνται στον χρήστη μέσω AWS σε γραφήματα χρησιμοποιώντας το Amazon Quicksight.

Το Σχ. 4 δείχνει το γράφημα που δημιουργήθηκε για να δείξει τις ενδείξεις τάσης, ρεύματος και θερμοκρασίας ενός ηλιακού πάνελ. Το Solar Monitor λαμβάνει επίσης μέτρα για να εξασφαλίσει ότι τα πάνελ έχουν κλίση προς τη σωστή κατεύθυνση, η θερμοκρασία λειτουργίας των πάνελ είναι στα σωστά επίπεδα, καθαρίζει τα πάνελ όταν ανιχνεύει σωματίδια σκόνης στο πάνελ και ειδοποιεί τον χρήστη σε περίπτωση βλάβης.



Σχ. 4. Γράφημα που ελήφθη από την Amazon Quicksight.

2.3. Αυτοματοποιημένο Σύστημα Ελέγχου Ηλιακού Πάνελ μέσω WEB

Στην εργασία του Banerjee (2015) περιγράφεται ένα σύστημα ηλιακής παρακολούθησης, η κίνηση ελέγχεται από βηματικό κινητήρα, αλλά η κίνηση του σερβοκινητήρα είναι πιο ακριβής από το stepper και απαιτεί επίσης λιγότερη ισχύ για να κινηθεί. Επίσης, οι συγγραφείς αναφέρονται σε ένα ηλιακό πάνελ ενός άξονα και δύο αξόνων που κινούνταν με βάση ένα χρονικό πλαίσιο.

Στην εργασία των Deb & Roy (2012), αναφέρεται ότι με τη χρήση του προτεινόμενου συστήματος και των κυκλωμάτων που το αποτελούν, η ηλιακή συστοιχία μπορεί να περιστραφεί προς την απαιτούμενη κατεύθυνση ακολουθώντας τη διαδρομή του ήλιου για να ληφθεί η μέγιστη ενέργεια από τον ήλιο. Επίσης, οι συγγραφείς χρησιμοποιούν το πρόγραμμα Labview, η χρήση των προτεινόμενων τεχνικών βοηθά στη συλλογή μεγάλης ποσότητας ηλιακής ενέργειας και στην αύξηση της απόδοσης του ηλιακού πάνελ. Για αυτούς τους λόγους η χρήση της ανανεώσιμης ενέργειας θα αυξηθεί, κάτι που είναι πολύ ελπιδοφόρο για το μελλοντικό τομέα ηλεκτρικής ενέργειας.

Το σύστημα που παρουσιάζει η εργασία των Juang & Radharamanan (2014), έχει σχεδιαστεί για να ανταποκρίνεται στο περιβάλλον του στο συντομότερο χρονικό διάστημα. Οποιαδήποτε πηγή σφάλματος τόσο σε επίπεδο λογισμικού όσο και σε επίπεδο υλικού εξαλείφεται ή τουλάχιστον ελέγχεται. Το σύστημα ελέγχεται για απόκριση σε πραγματικό χρόνο, αξιοπιστία, σταθερότητα και ασφάλεια, ενώ έχει σχεδιαστεί για να είναι σταθερό ενώ λειτουργεί. Είναι επίσης σχεδιασμένο για να είναι ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες, τη θερμοκρασία και μικρές μηχανικές καταπονήσεις. Επιπλέον, το σύστημα είναι ασφαλές έναντι αστοχιών, μπορεί να ανακάμψει από βλάβες ή τουλάχιστον να υποδεικνύει ότι βρίσκεται σε αυτήν την κατάσταση.

Η εργασία των Huang et al. (2015) μελετά τους διαφορετικούς τύπους φωτοβολταϊκών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των σταθερών πάνελ, των φωτοβολταϊκών αγροκτημάτων εξοπλισμένα με συστήματα παρακολούθησης μονού άξονα και διπλού άξονα και τις επιπτώσεις τους στην απόδοση των ηλιακών σταθμών παραγωγής ενέργειας. Παρόμοια η εργασία (Ferdaus et al., 2014) αναφέρεται στην κατασκευή συστήματος υποστήριξης διπλής παρακολούθησης.

2.4. Έλεγχος Φωτοβολταϊκών Συστημάτων με IoT

Το Internet of Things (IoT) σχετίζεται με την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών σε μια διαθέσιμη υποδομή δικτύου. Η χρήση του αναμένεται να αυξηθεί ραγδαία, συγκεκριμένα για τα επόμενα έτη αναμένονται δεκάδες δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές (Swan, 2012).

Τα έργα IoT μπορούν να καλύψουν πολλούς τομείς, δύο πολύ συχνά χρησιμοποιούμενοι είναι η εξ αποστάσεως παρακολούθηση της παραγωγής και η κατανάλωση ενέργειας του εξοπλισμού. Αυτή η κατηγορία είναι απαραίτητη γιατί είναι αναγκαίο να λαμβάνονται μέτρα για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη διατήρηση του περιβάλλοντος.

Έχει γίνει σημαντική δουλειά για τη δημιουργία εφαρμογών παρακολούθησης λειτουργίας συστημάτων. Στην εργασία των Kelly et al. (2013), σχεδιάστηκε η απομακρυσμένη μέτρηση και έλεγχος οικιακών συσκευών μέσω Διαδικτύου. Η Παρακολούθηση και Διαχείριση Υγείας, συζητήθηκε επίσης στην εργασία Hassanaliheragh et al. (2015). Έχουν πραγματοποιηθεί και άλλες εφαρμογές, στην εργασία (Patchava et al., 2015) παρουσιάστηκε μία Τεχνική Έξυπνου Οικιακού Αυτοματισμού, που βασίζεται στη χρήση του μικροεπεξεργαστή Raspberry Pi χρησιμοποιώντας το IoT ως μονάδα που μπορεί να ξεπεράσει το πρόβλημα της κατανάλωσης αλλά και την υψηλή τιμή ενός υπολογιστή.

Εστιάζοντας στην παρακολούθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υπάρχουν και άλλα έργα στη βιβλιογραφία. Περιγράφηκε μια επιτυχημένη ανάπτυξη ενός καινοτόμου συστήματος για μονάδα κλιματισμού ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας, που βασίστηκε στη χρήση δικτύου GPRS (General Packet Radio Service), ενσωματωμένης πύλης συστήματος και άλλων εξαρτημάτων όπως το Arduino Uno R3 (Shrihariprasath & Rathinasabapathy, 2016). Προτάθηκε επίσης μια άλλη λύση για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των φωτοβολταϊκών πλαισίων (Adhya et al., 2016), όπου το GPRS ενσωματώθηκε ως μέσο επικοινωνίας και μία λύση υλικού που βασίστηκε σε μικροελεγκτή PIC18F46K22. Ένα σύστημα ελέγχου σχεδιάστηκε επίσης στην εργασία (Salhaoui et al., 2018) χρησιμοποιώντας μία έξυπνη πύλη IoT για να δημιουργήσει σύνδεση μεταξύ μιας βιομηχανικής συσκευής επιτήρησης και του cloud. Στόχος της εργασίας ήταν να δώσει λύση για την οπτικοποίηση σε πραγματικό χρόνο των παραμέτρων ενός υπάρχοντος συστήματος αιολικής ενέργειας.

Η εργασία του Spanias (2017) παρουσιάζει ένα σύστημα για τη διαχείριση της ηλιακής ενέργειας, το σύστημα βασίζεται κυρίως στην τεχνητή νοημοσύνη καθώς και σε μία λύση που περιέχει έναν μικροελεγκτή, ένα ραδιοσύστημα επικοινωνίας δικτύου, διακόπτες για επανασύνδεση ή παράκαμψη πάνελ και αισθητήρες.

Στην εργασία των Suzdalenko & Galkin (2013) παρουσιάζεται ένα σύστημα ηλιακής παρακολούθησης, ο σχεδιασμός του οποίου είναι απλός και το συνολικό κόστος ανάπτυξης και υλοποίησής του είναι χαμηλό. Το σύστημα αποτελείται από δύο άξονες και τέσσερις αισθητήρες. Οι άξονες χρησιμοποιούνται για τον προσανατολισμό του συστήματος, ο ένας με γωνία αζιμουθίου και ο άλλος με γωνία υψομέτρου. Παρέχεται επίσης η εμφάνιση του ηλιακού φωτός χρησιμοποιώντας αισθητήρα LDR (Light Dependent Sensor) με την πραγματική διάσταση του συστήματος. Η διαδικασία αποτελείται από ηλιακό πάνελ μαζί με δύο κινητήρες ως δορυφορικό πιάτο και με σφαιρικό σύνδεσμο.

Στην εργασία των Zolkapli et al. (2013) παρουσιάζεται ένα σύστημα για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και για την αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών κυψελών. Το σύστημα περιλαμβάνει δύο βασικά στοιχεία, το ένα είναι αυτό που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση ηλιακών συλλεκτών. Το επόμενο σημαντικό στοιχείο είναι ο μετατροπέας (inverter) ο οποίος υλοποιεί τη διαδικασία μετατροπής συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Για την επεξεργασία της τοποθέτησης, της σύνδεσης, της καλωδίωσης και της μεταγωγής χρησιμοποιούνται μερικά ακόμη δευτερεύοντα εξαρτήματα ανίχνευσης.

Στην εργασία των Mustafa et al. (2018), παρουσιάζεται ένα παρόμοιο σύστημα, το οποίο ενσωματώνει δομοστοιχεία όπως φωτοβολταϊκά πάνελ που έχουν οριστεί για τη συλλογή ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο και κινεί το σύστημα με δύο βαθμούς ευελιξίας γωνίας προκειμένου να ελέγχει την τιμή του αζιμουθίου και το ύψος της συλλέκτη για να βελτιώσει την απόδοση της διαδικασίας. Το σύστημα ελέγχεται με τη συμμετοχή του μηχανισμού της εγγενούς ή της μέσω τηλεχειρισμού κίνησης. Η κύρια επικοινωνία ενισχύεται από πύλη που ελέγχει τα σήματα από τη σειριακή επεξεργασία Modbus στο πρωτόκολλο Modbus TCP.

Στην εργασία των Oo & Hlaing (2010), παρουσιάζεται ένα σύστημα παρακολούθησης θέσης του ήλιου, το οποίο όταν οι συνθήκες δεν είναι καλές, όπως σε συννεφιασμένες ή βροχερές μέρες, όταν επικρατεί έντονη σκόνη κ.λπ., χρησιμοποιεί ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο για αυτοεκτίμηση και καθορισμό της διαφοράς μεταξύ των πραγματικών αποθηκευμένων δεδομένων και των δεδομένων στόχου. Το ηλιακό πάνελ όχι μόνο αυξάνει τη χρήση της ενέργειας, αλλά μειώνει επίσης τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου διατηρώντας αποτελεσματικά την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η χρήση των ηλιακών συλλεκτών δεν θα δημιουργήσει καμία ρύπανση και ο μηχανισμός επεξεργασίας ενέργειας είναι επίσης καθαρός, γεγονός που μειώνει τη χρήση ορυκτών καυσίμων και των παραδοσιακά χρησιμοποιούμενων πηγών ενέργειας.

Οι Saravanan & Lingeshwaran (2019) πρότειναν ένα σύστημα παρακολούθησης ηλιακής ενέργειας που ενσωματώνει τη χρήση του IoT (Internet of Things) και το οποίο υλοποιεί την επεξεργασία του σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα παρακολούθησης ηλιακής ενέργειας υλοποιεί τη συνεχή παρακολούθηση της ακτινοβολίας του ήλιου μαζί με την κατεύθυνση στην οποία βρίσκεται, εξασφαλίζοντας ότι η λαμβανόμενη ισχύς της ακτινοβολίας είναι υψηλή ώστε να επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση ισχύος. Η διαδικασία λειτουργίας της

παρακολούθησης ηλιακής ενέργειας ενισχύεται με διαφορετικό μηχανισμό περιστροφής του ηλιακού πάνελ ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε διαμόρφωση του συστήματος επεξεργάζεται με προγραμματισμό Klein, στον οποίο η καθεμία επεξεργάζεται σε γλώσσα χαμηλού επιπέδου (Zhan et al., 2013). Το σύστημα περιλαμβάνει τον γενικό αισθητήρα όπως το LDR με το κύριο εξάρτημα για την ανάλυση της ακτινοβολίας του ήλιου προς την επιθυμητή κατεύθυνση μαζί με το πιθανό ορόσημο.

Κατά τη διάρκεια του σκοταδιού η αντίσταση του LDR γίνεται υψηλή έως το εύρος Megaohm. Όταν το LDR φωτίζεται από το ηλιακό φως, η αντίσταση του LDR μειώνεται ξαφνικά (κάτω από 10 Kiloohm). Στη συνέχεια το σύστημα περιέχει τον μικροελεγκτή που παίζει τον σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του πανελ και διατηρεί τον συνολικό έλεγχο του συστήματος για την ενίσχυση της ηλιακής παρακολούθησης. Κάθε στοιχείο είναι συνδεδεμένο με τον μικροελεγκτή που ορίζει την περιστροφή του επεξεργασμένου ηλιακού πάνελ. Η περιστροφή του επιτυγχάνεται με την ενεργοποίηση του βηματικού κινητήρα. Η μονάδα οθόνης αποτελείται από την πλακέτα μικροελεγκτή 8051, τους αισθητήρες και την οθόνη LCD. Η μονάδα πομπού αποτελείται από έναν δρομολογητή και τους αισθητήρες

Στην πλειοψηφία των εργασιών, υπάρχουν διαφορετικές διαμορφώσεις επιτήρησης, η διαφορά υπάρχει τόσο σε σκληρούς όσο και σε μαλακούς όρους. Στην πρώτη πτυχή, ορισμένοι συγγραφείς προσπάθησαν να αναπτύξουν κυκλώματα hardware με τις απαραίτητες συσκευές επικοινωνίας, ενώ άλλοι έχουν επενδύσει σε υπάρχουσες πλατφόρμες μικροελεγκτών όπως το Arduino Uno R3. Όσον αφορά στη δεύτερη πτυχή, υπάρχουν λύσεις που βασίζονται στην ανάπτυξη προσαρμοσμένων εφαρμογών λογισμικού, είτε σε υπολογιστή είτε σε κινητό τηλέφωνο, είτε στη χρήση υπάρχουσων εφαρμογών που μπορούν να επικοινωνούν με τον υπό έλεγχο εξοπλισμό και που είναι δωρεάν ή όχι.

Στην εργασία των Oukennou et al. (2019), προτείνεται μία νέα αρχιτεκτονική, η οποία χρησιμοποιεί εξαρτήματα τα οποία χαρακτηρίζονται ως πολύ οικονομικά. Οι συγγραφείς χρησιμοποιούν το Wifi ως λύση επικοινωνίας και την εφαρμογή παρακολούθησης Nod Red ως ένα ισχυρό και δωρεάν εργαλείο για τη δημιουργία εφαρμογών του Internet of Things (IoT). Το όλο σύστημα συνδυάζεται με έναν αισθητήρα ρεύματος, τάσης και ισχύος για την παρακολούθηση της παραγωγής από ένα ηλιακό πάνελ.

Η προτεινόμενη λύση έχει διάφορα πλεονεκτήματα, δηλαδή το χαμηλό κόστος της, που θα την καταστήσει προσβάσιμη σε όποιον επιθυμεί να παρακολουθεί την παραγωγή εξ αποστάσεως, ενώ προσφέρει ευκολία υλοποίησης και ευελιξία. Από τα στοιχεία που παρουσιάζουν οι συγγραφείς φαίνεται πως είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος παρακολούθησης των ηλιακών συλλεκτών που είναι γενικά εγκατεστημένοι σε δυσπρόσιτες τοποθεσίες.

Το σύστημα παρακολούθησης των Oukennou et al. (2019), λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο και είναι χαμηλού κόστους σύστημα επιτήρησης για ηλιακούς συλλέκτες, το οποίο χρησιμοποιεί NodeMCU που είναι συνδεδεμένο στο Node-Red. Αυτό το σύστημα μπορεί να βοηθήσει στη μέτρηση της παραγωγής του φωτοβολταϊκού συστήματος: τάση, ρεύμα και ισχύ.

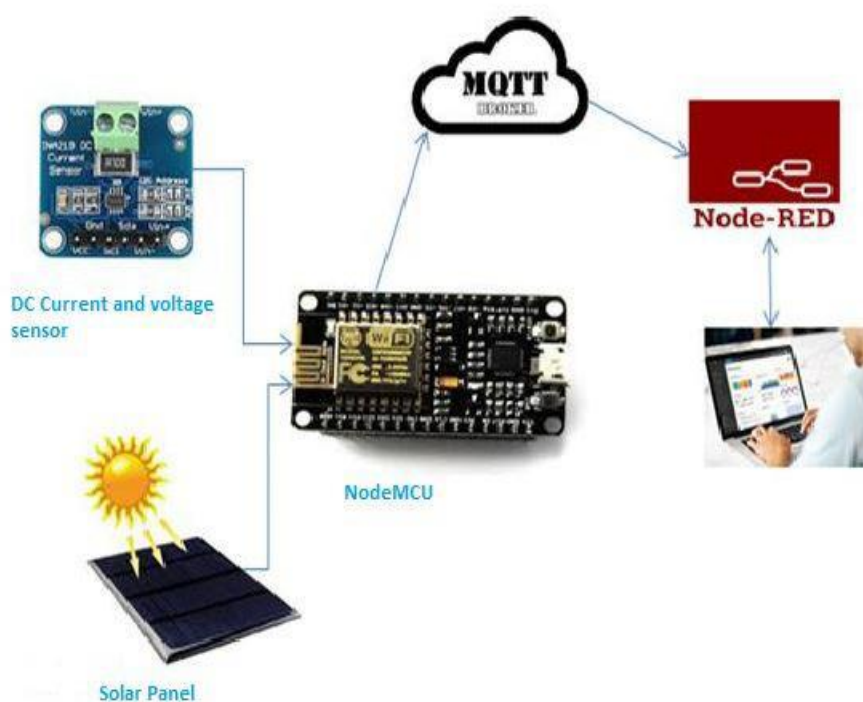
Το Σχ. 5 δείχνει μια επισκόπηση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής συστήματος. Τα απαιτούμενα εξαρτήματα είναι τα παρακάτω:

Υλικό

- Μονάδα Wi-Fi NodeMCU που βασίζεται στο ESP8266,
- INA219.

Λογισμικό

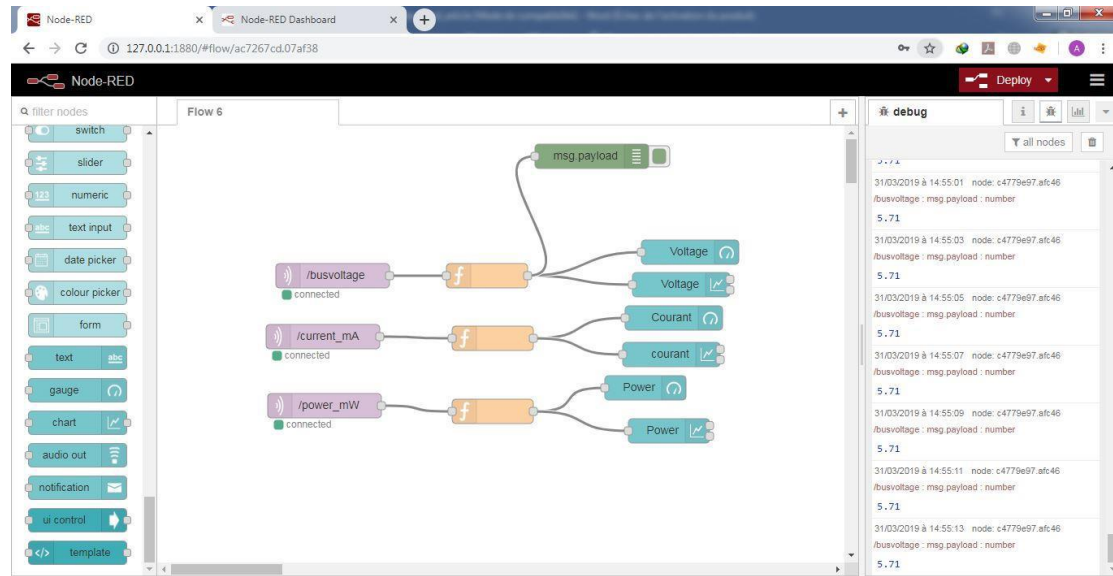
- Node-Red,
- IDE,
- MQTT.



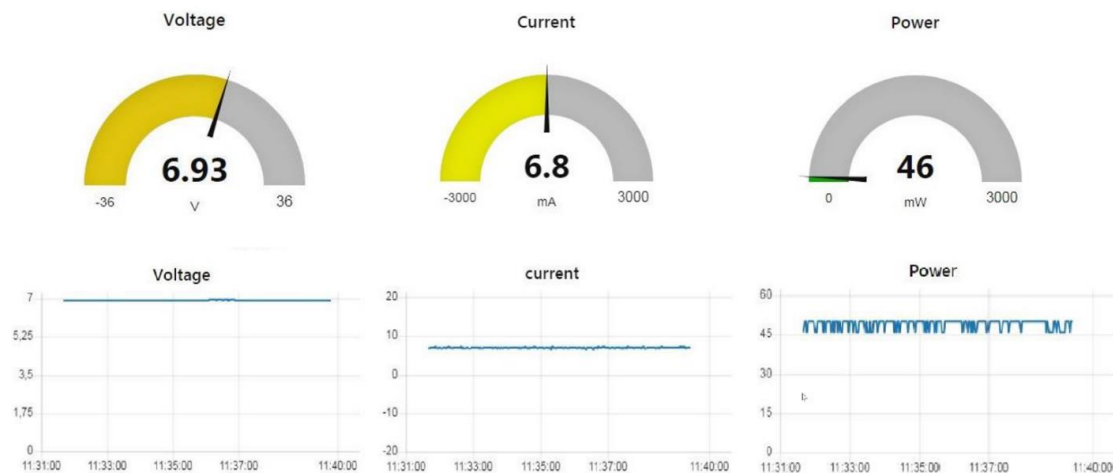
Σχ. 5. Αρχιτεκτονική του συστήματος.

Ο μικροελεγκτής του NodeMCU λαμβάνει την τάση, το ρεύμα και την ισχύ εξόδου από τον αισθητήρα, όπως φαίνεται στο Σχ. 6. Μόλις συνδεθεί το NodeMCU με το MQTT μέσω του Wi-Fi, εκκινείται το Node-Red και χρησιμοποιείται το MQTT για τη λήψη των τιμών εξόδου από το NodeMCU. Για την οπτικοποίηση του αποτελέσματος, πρέπει να εκκινηθεί ο πίνακας εργαλείων Node-Red. Στη συνέχεια τα δεδομένα που μετρήθηκαν από τον αισθητήρα μεταδίδονται στο Node-Red σε πραγματικό χρόνο, ενώ οποιαδήποτε συσκευή είναι συνδεδεμένη στο ίδιο Wi-Fi, μπορεί να οπτικοποιήσει τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας τη διεύθυνση του ίδιου πίνακα ελέγχου, αλλά πρέπει να έχει πρόσβαση σε αυτό μέσω καταγραφής με το όνομα χρήστη και τον κωδικό πρόσβασης. Τα χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πάνελ, που απεικονίζονται στο Σχ. 7 (ρεύμα, τάση, ισχύς) μπορούν να παρουσιαστούν γραφικά ή με χρήση μετρητή. Δύο πολύμετρα έχουν χρησιμοποιηθεί για τη

σύγκριση τόσο του αποτελέσματος όσο και του αποτελέσματος του αισθητήρα, το ένα για τη μέτρηση της τάσης και το άλλο για τη μέτρηση του ρεύματος. Η ισχύς προκύπτει πολλαπλασιάζοντας τις τιμές που αναφέρθηκαν και προέκυψαν παραπάνω.



Σχ. 6. Κόμβος-Κόκκινες Ροές.



Σχ. 7. Πίνακας εργαλείων και γραφήματα δεδομένων αισθητήρα.

2.5. Smart Home Εφαρμογές για τον Έλεγχο Ηλιακού Πάνελ

Με την ανάπτυξη νέων ηλεκτρονικών τεχνολογιών και την ενσωμάτωσή τους με παλαιότερες, παραδοσιακές τεχνολογίες κτιρίων, το έξυπνο σπίτι (smart home) έγινε μια πραγματική δυνατότητα. Στην αρχή ο «οικιακός υπολογιστής» ήταν ένα πειραματικό σύστημα το 1966 και στη συνέχεια στις αρχές της δεκαετίας του 1980 ξεκίνησε το Έργο Έξυπνου Σπιτιού ως έργο του Εθνικού Κέντρου Ερευνών της Εθνικής Ένωσης Κατασκευαστών Οικιών (National Association of Home Builders, NAHB) με τη συνεργασία σειράς μεγάλων βιομηχανικών εταιρών (Haque et al., 2017). Παρόλο που το έξυπνο σπίτι δεν είναι νέος όρος για την επιστημονική κοινότητα, εξακολουθεί να είναι αρκετά μακριά από το όραμα και την ακρόαση

των ανθρώπων. Τα τελευταία έτη δημοσιεύονται διάφορες εργασίες με τον σχεδιασμό και τη γενική επισκόπηση των πιθανών προσεγγίσεων απομακρυσμένης πρόσβασης για τον έλεγχο των συσκευών ή σε περιπτώσεις προσομοίωσης του ίδιου του έξυπνου σπιτιού. Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση μιας εφαρμογής τηλεχειρισμού smart home έχει περιοριστεί μόνο στις εφαρμογές υπολογιστή και σε κάθε περίπτωση ανάπτυξη εφαρμογών για κινητά και web. Η τεχνολογία «έξυπνου σπιτιού» αποτελεί υλοποίηση του οικιακού αυτοματισμού χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο σύνολο τεχνολογιών⁴. Το έξυπνο σπίτι είναι ένα σπίτι που διαθέτει εξαιρετικά προηγμένα αυτόματα συστήματα για φωτισμό, έλεγχο θερμοκρασίας, ασφάλεια, συσκευές και δικό του σύστημα παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιώντας ηλιακό πάνελ παρακολούθησης του ήλιου. Το έξυπνο σπίτι έχει δύο παράλληλες πηγές ενέργειας, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι πιο αξιόπιστο και περισσότερο οικονομικό (Chitode, 2009)

Η μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρισμό είναι γνωστή ως Φωτοβολταϊκή (ΦΒ) μετατροπή. Ένα φωτοβολταϊκό πάνελ αποτελείται από πολυάριθμους κόμβους p-n που τοποθετούνται σε επίπεδη επιφάνεια και χρησιμοποιούνται ηλεκτρικά αγωγίμες ταινίες για τη σύνδεση των κόμβων. Η θέση ενός φωτοβολταϊκού πίνακα και η έξοδος των αισθητήρων επεξεργάζονται με τη βοήθεια μικροεπεξεργαστή. Τα κωδικοποιημένα σήματα αποστέλλονται μέσω της καλωδίωσης του σπιτιού σε διακόπτες και πρίζες που είναι προγραμματισμένες να λειτουργούν συσκευές και ηλεκτρονικές συσκευές σε κάθε μέρος του σπιτιού (Bakos, 2015).

Ένα έξυπνο σπίτι φαίνεται «έξυπνο» επειδή τα συστήματα υπολογιστών και αισθητήρων του μπορούν να παρακολουθούν πολλές παραμέτρους που επικρατούν στον χώρο. Καθώς ο αριθμός των ελεγχόμενων συσκευών στο σπίτι αυξάνεται, η ικανότητα αυτών των συσκευών να διασυνδέονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους ψηφιακά γίνεται χρήσιμο και επιθυμητό χαρακτηριστικό. Η ενοποίηση των σημάτων ελέγχου ή παρακολούθησης από συσκευές, εξαρτήματα ή βασικές υπηρεσίες είναι ένας στόχος του οικιακού αυτοματισμού. Η τεχνολογία έξυπνου σπιτιού μπορεί να διασυνδέεται βασικά χρησιμοποιώντας τη διεπαφή υπολογιστή των πάντων. Το έξυπνο σπίτι μπορεί επίσης να παρέχει απομακρυσμένη διεπαφή με τις οικιακές συσκευές ή το ίδιο το σύστημα αυτοματισμού, μέσω τηλεφωνικής γραμμής, ασύρματης μετάδοσης ή διαδικτύου, για να παρέχει έλεγχο και παρακολούθηση μέσω έξυπνου τηλεφώνου ή προγράμματος περιήγησης ιστού.

Στα περισσότερα ασύρματα συστήματα, ένας σχεδιαστής έχει δύο επιτακτικούς περιορισμούς: πρέπει να λειτουργεί σε μια συγκεκριμένη απόσταση (εύρος) και να μεταφέρει συγκεκριμένη ποσότητα πληροφοριών εντός ενός χρονικού πλαισίου (ρυθμός δεδομένων). Στη συνέχεια, το συνολικό κόστος του συστήματος πρέπει να υπολογιστεί μαζί με την απόκτηση εγκρίσεων κρατικών υπηρεσιών (κανονισμοί και αδειοδότηση). Λαμβάνοντας υπόψη τις υπάρχουσες τεχνολογίες, το πρωτόκολλο ασύρματης δικτύωσης zigbee είναι ένα από τα πιο χρησιμοποιούμενα και θεωρείται ως ανοιχτό τυποποιημένο σύστημα. Το zigbee χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό αρχιτεκτονικής δικτύου όπως δίκτυα από σημείο σε σημείο, αστέρι και πλέγμα σε ένα συγκεκριμένο δομικό στοιχείο με ελάχιστο κόστος ανά κόμβο (Gimenez, 2019). Για τον σχεδιασμό ενός συστήματος οικιακού αυτοματισμού, το zigbee

⁴ <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-3/rectifier-circuits/>

χρησιμοποιείται κυρίως για τη δρομολόγηση Ad Hoc κατά παραγγελία Διάνυσμα Απόστασης (Ad Hoc On-Demand Distance Vector, AODV). Η δυνατότητα αποθήκευσης πληροφοριών και η δρομολόγηση του κόμβου αποτυχίας μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως οδός αντικατάστασης.

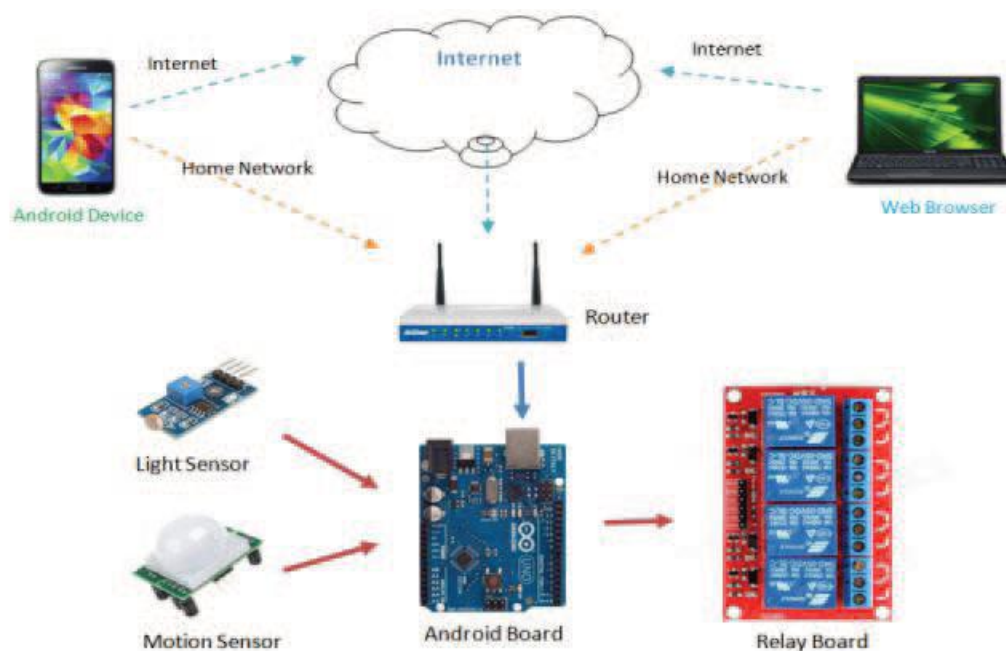
Το Wi-Fi είναι το καλύτερο για μια συγκεκριμένη περιοχή. Χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για να παρέχει internet υψηλής ταχύτητας με ραδιοκύματα ικανότητας επικοινωνίας μέσω των τοίχων τριών δωματίων. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο δε μπορεί να επιτευχθούν μεγάλες εμβέλειες, στην περίπτωση αυτή για να επιτευχθεί σύνδεση για μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιούνται πολλαπλά επικαλυπτόμενα σημεία πρόσβασης. Χρησιμοποιώντας πολλαπλά επικαλυπτόμενα σημεία πρόσβασης, οι χρήστες μπορούν εύκολα να ελέγξουν ένα σύστημα που βασίζεται σε μεγάλη περιοχή. Το πανκατευθυντικό ραδιοκύμα μπορεί να ταξιδέψει μέσα από τοίχους ή μη μεταλλικό φράγμα⁵. Η τεχνολογία Bluetooth είναι η καλύτερη και ευρέως χρησιμοποιούμενη ασύρματη τεχνολογία για αυτόν τον ιδιαίτερο χαρακτήρα. Ο ραδιοπομπός μικρής εμβέλειας είναι κατασκευασμένος για επικοινωνία Bluetooth. Έχει πολλές εφαρμογές για τη ρύθμιση της επικοινωνίας μεταξύ συσκευών. Η νέα βάση στον οικιακό αυτοματισμό είναι ένα έξυπνο τηλέφωνο android. Ο εξοπλισμός οικιακού αυτοματισμού χρησιμοποιεί πρόσφατα υπάρχοντα οικιακά δίκτυα Wi-Fi.

Ωστόσο, πολύ σύντομα θα αρχίσουν να χρησιμοποιούνται και συσκευές gadget όπως το Google Glass. Το Google Glass είναι μια συσκευή που μπορεί να φορεθεί σαν γυαλιά, αλλά παρέχει οθόνη στο δεξί μάτι. Αυτή η οθόνη ελέγχεται με φωνητικές εντολές και αγγίζοντας μία έξυπνη επιφάνεια αφής στη δεξιά πλευρά. Θα συνδεθεί μέσω Bluetooth ή θα συνδεθεί σε Wi-Fi σε μια συσκευή έξυπνου τηλεφώνου και θα αναπαράγει εφαρμογές Google Glass⁶. Υπάρχει ένα άλλο έργο που έρχεται στο τμήμα Οικιακού Αυτοματισμού που ονομάζεται ivsee, το οποίο μοιάζει με ξυπνητήρι. Αυτό το ξυπνητήρι μπορεί να μιλήσει με τον χειριστή, μπορεί να πάρει παραγγελία και μπορεί να ελέγξει κάποια οικιακή συσκευή. Για παράδειγμα, αν κάποιος ρωτήσει για τον καιρό στο ivsee και εάν το ivsee συνδέεται με το Wi-Fi, τότε μπορεί να σας πει και να σας δείξει τη συνολική πρόβλεψη.

Οι Shahin et al. (2017), παρουσίασαν ένα σύστημα smart home, όπου ο συνολικός σχεδιασμός του συστήματος είναι τριπλός. Στην αρχή, χρησιμοποιούν ένα δίκτυο Wi-Fi για να ελέγξουν το συνολικό σύστημα χωρίς κανένα εξωτερικό σύστημα καλωδίωσης. Στη συνέχεια, έχουν εγκατασταθεί συσκευές τεχνολογίας bluetooth για τον έλεγχο του συστήματος χρησιμοποιώντας φορητή συσκευή android. Τέλος, ένα σύστημα παρακολούθησης του ήλιου έχει χρησιμοποιηθεί για να παίξει το ρόλο του μεμονωμένου συστήματος τροφοδοσίας. Το Σχ. 8, δείχνει τον σχεδιασμό του προγραμματισμένου σχεδιασμού στους δύο πρώτους στόχους.

⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

⁶ https://el.wikipedia.org/wiki/Google_Glass



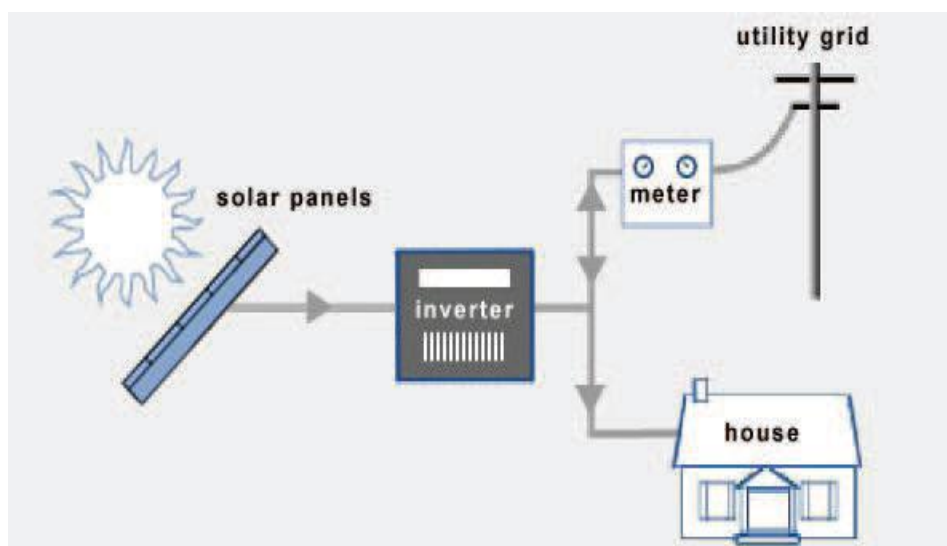
Σχ. 8. Βασικός σχεδιασμός του προτεινόμενου συστήματος.

Οι δύο πρώτοι στόχοι επιτεύχθηκαν με τη χρήση μικροελεγκτή για την απόκτηση τιμών φυσικών συνθηκών με τη χρήση διαφορετικών ειδών αισθητήρων, όπως ο αισθητήρας θερμοκρασίας για την ανάγνωση των τιμών της θερμοκρασίας, ο αισθητήρας πυρανίχνευσης για την ανίχνευση καπνού και για την αποφυγή πυρκαγιάς. Οι αντιστάσεις εξαρτώμενες από φως (light dependent resistor, LDR) λειτουργούν για τον προσδιορισμό της έντασης του φωτός. Επιπλέον, έχει ενσωματωθεί ένας ανιχνευτής κίνησης με τη χρήση παθητικού αισθητήρα υπέρυθρων (passive infrared sensor, PIR) για την ανίχνευση κίνησης στο σπίτι όταν το σύστημα ασφαλείας είναι ενεργοποιημένο. Η αυτόματη ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του φωτός ελέγχεται από την LDR που καθορίζει την ένταση του φωτός ημέρας. Οι Shahin et al. (2017), για να εισάγουν την ασφάλεια στο σχεδιασμό τους, ενσωμάτωσαν έναν ανιχνευτή κίνησης χρησιμοποιώντας PIR για την ανίχνευση κίνησης στο σπίτι όταν το σύστημα ασφαλείας είναι ενεργοποιημένο. Ένας διακόπτης ρελέ χρησιμοποιείται για την αποστολή σημάτων ελέγχου από τον μικροελεγκτή στην ηλεκτρονική συσκευή που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση ενεργοποίησης και απενεργοποίησης. Μία διαδικτυακή πύλη έχει σχεδιαστεί με σύστημα ελέγχου ταυτότητας ενός παράγοντα (όνομα χρήστη και κωδικό πρόσβασης) για τον έλεγχο της γνησιότητας του οικιακού χρήστη. Λειτουργεί ως συσκευή εισόδου για τον έλεγχο των οικιακών συσκευών και ως συσκευή εξόδου για την ανάγνωση των τιμών των φυσικών συνθηκών. Η εφαρμογή για κινητά χρησιμοποιεί επίσης την ίδια διαδικασία για να λειτουργήσει ως συσκευή εισόδου και εξόδου (Stauffer, 1991).

Το έξυπνο ηλιακό σύστημα παρακολούθησης του ηλίου είναι ένα άλλο χαρακτηριστικό που συνδυάζεται με το δίκτυο. Στο Σχ. 9 εμφανίζεται η προκαταρκτική σχεδίαση του. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν 4 LDR για κάθε πάνελ του ηλιακού συστήματος και ο αριθμός των πάνελ εξαρτάται από την ανάγκη παροχής ρεύματος από το σπίτι. Αυτά τα LDR θα βοηθήσουν στην ανίχνευση της κατεύθυνσης του ήλιου και θα βοηθήσουν στην ανάλογη

κίνηση του ηλιακού πάνελ. Το ηλιακό πάνελ παρακολουθήσης ηλίου ελέγχεται από μία πλακέτα μικροεπεξεργαστή Arduino. Το ηλιακό πάνελ συνδέεται μέσω του ελεγκτή φόρτισης με την μπαταρία. Ένας μετατροπέας χρησιμοποιείται για τις συσκευές AC (εναλλασσόμενο ρεύμα). Αυτό το σύστημα ηλιακών πάνελ παρακολουθήσης ήλιου έχει εγκατασταθεί για να μειώσει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

Το σύστημα αποτελείται από μία εφαρμογή που αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα Android και έναν micro web-server που βασίζεται στο Arduino Ethernet. Ο μικροελεγκτής Arduino είναι ο κύριος ελεγκτής που φιλοξενεί τον micro web-server και εκτελεί τις απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να γίνουν. Οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές/διακόπτες συνδέονται απευθείας με τον κύριο ελεγκτή (Khan et al., 2016). Το περιβάλλον του έξυπνου σπιτιού μπορεί να ελεγχθεί και να παρακολουθηθεί από απομακρυσμένη τοποθεσία χρησιμοποιώντας την εφαρμογή smart home, η οποία θα επικοινωνεί με τον micro web-server μέσω του διαδικτύου. Οποιαδήποτε σύνδεση στο Διαδίκτυο μέσω δικτύου Wi-Fi ή 3G/4G μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συσκευή χρήστη.

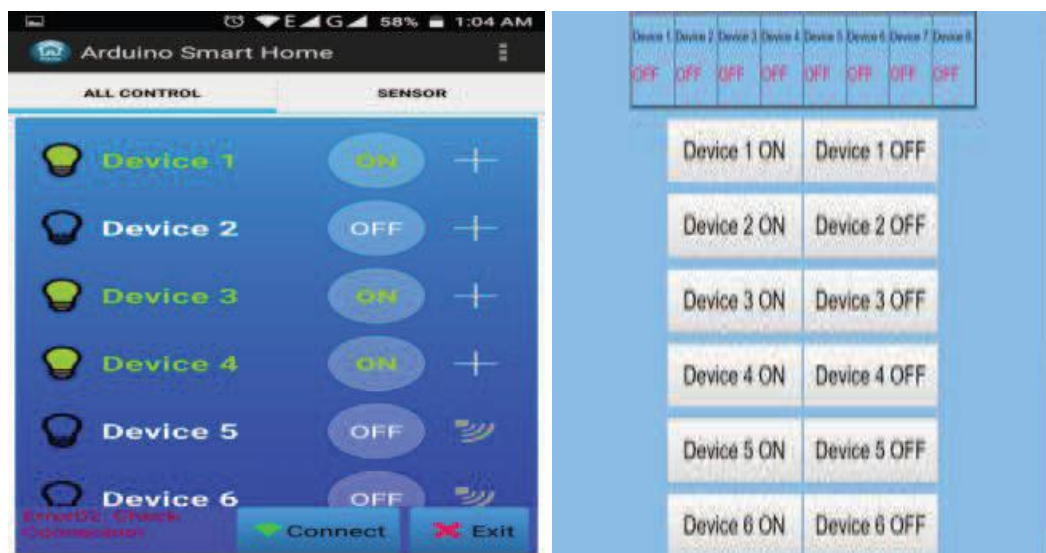


Σχ. 9. Η προκαταρκτική σχεδίαση του συστήματος ηλιακών συλλεκτών παρακολουθήσης του ήλιου.

Το αναμενόμενο αποτέλεσμα του συστήματος που προτάθηκε από τους Shahin et al. (2017), μπορεί να συζητηθεί με λίγους διαφορετικούς τρόπους, καθώς το συνολικό σύστημα χρειάζεται έλεγχο ταυτότητας για πρόσβαση στο σύστημα έξυπνου σπιτιού. Εάν έχει εισαχθεί μη έγκυρος κωδικός πρόσβασης, θα βγει ένα μήνυμα λέγοντας «λάθος κωδικός πρόσβασης». Αυτό το μήνυμα βασίζεται στην απάντηση που ελήφθη από τον έξυπνο οικιακό micro web-server (Khan & Hasan, 2017). Εάν επιτύχει ο έλεγχος ταυτότητας, η εφαρμογή εμφανίζει ένα μήνυμα που ειδοποιεί «επιτυχία σύνδεσης» και στη συνέχεια προχωρά στην εμφάνιση της σελίδας έξυπνων οικιακών στοιχείων ελέγχου. Όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία φωνητικής ενεργοποίησης, εάν δεν καταγραφεί καμία εντολή, τότε εμφανίζεται ένα μήνυμα που προτρέπει τον χρήστη για εισαγωγή εντολής.

Στο Σχ. 10 παρουσιάζονται δείγματα από την οθόνη της εφαρμογής που εκτελείται στη συσκευή του χρήστη και στο σύστημα ελέγχου. Με χρήση της περιήγησης στον ιστότοπο μέσω

της εφαρμογής για κινητά, επιτυγχάνεται ο έλεγχος των οικιακών συσκευών μέσω της τεχνολογίας Wi-Fi. Από την άλλη πλευρά, το ηλιακό σύστημα παρακολούθησης του ηλίου δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν το οικιακό σύστημα παραγωγής ενέργειας αντί για το ηλεκτρικό δίκτυο. Έτσι σε περίπτωση κατά την οποία υπάρχει διακοπή ρεύματος στο εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να χρησιμοποιήσουν το οικιακό ηλιακό σύστημα παρακολούθησης ηλίου για να χρησιμοποιούν ενέργεια χωρίς παρεμβολές.



Σχ. 10. Στιγμιότυπο οθόνης α) της εφαρμογής και β) του συστήματος ελέγχου ιστού αντίστοιχα.

2.6. Έξυπνο Φωτοβολταϊκό Απομακρυσμένου Ελέγχου βάσει IoT

Με την πρόοδο των τεχνολογιών ενσύρματης και ασύρματης δικτύωσης, οι φορητές συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο, όπως τα έξυπνα τηλέφωνα και τα tablet, είναι πλέον σε ευρεία χρήση. Ως αποτέλεσμα, μία νέα ιδέα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) (Kang et al., 2015), εισήχθη και έχει λάβει σημαντική προσοχή και ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Γενικά, το IoT είναι στην πραγματικότητα ένα περιβάλλον ανταλλαγής πληροφοριών όπου αντικείμενα της καθημερινής ζωής συνδέονται με ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα. Πρόσφατα, χρησιμοποιείται όχι μόνο για τον τομέα των καταναλωτικών ηλεκτρονικών ειδών και συσκευών, αλλά και σε άλλους διάφορους τομείς όπως η έξυπνη πόλη, η υγειονομική περίθαλψη, το έξυπνο σπίτι, το έξυπνο αυτοκίνητο, το ενεργειακό σύστημα και η βιομηχανική ασφάλεια.

Επί του παρόντος, η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια είναι μια από τις βασικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια γίνεται πιθανή λύση για βιώσιμο ενεργειακό εφοδιασμό στο μέλλον. Καθώς όλο και περισσότερα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα στέγης ενσωματώνονται στο υπάρχον δίκτυο, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για παρακολούθηση (Woyte et al., 2013) των δεδομένων παραγωγής σε πραγματικό χρόνο που λαμβάνονται από ηλιακούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς, ώστε να βελτιστοποιηθεί η συνολική απόδοση του ηλιακού σταθμού και να διατηρηθεί η σταθερότητα του δικτύου. Καθώς η τοπική

παρακολούθηση δεν είναι δυνατή λόγω πληθώρας εγκαταστάσεων, η απομακρυσμένη παρακολούθηση είναι απαραίτητη για κάθε μονάδα ηλιακής ενέργειας. Σε αυτή τη συγκυρία, η αξιοποίηση της τεχνολογίας του IoT για την παρακολούθηση των ηλιακών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών και πιο προηγμένων υπολογιστικών εγκαταστάσεων είναι ελπιδοφόρα.

Η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς είναι μεταβλητής φύσης λόγω εποχικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία και άλλους παράγοντες και για τους λόγους αυτούς η απομακρυσμένη παρακολούθηση είναι απαραίτητη. Για την ανάπτυξη συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης για ηλιακούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς, η προσέγγιση IoT η οποία αφορά ένα εγγύς μέλλον όπου τα καθημερινά αντικείμενα θα ενσωματώνουν μικροελεγκτές και πομποδέκτες για ψηφιακή επικοινωνία. Η απομακρυσμένη παρακολούθηση εξαλείφει τους κινδύνους που σχετίζονται (Constantin et al., 2006), με τα παραδοσιακά συστήματα καλωδίωσης και καθιστά τη διαδικασία μέτρησης και παρακολούθησης δεδομένων πολύ πιο εύκολη και οικονομικά αποδοτική και τα συστήματα που βασίζονται στο IoT κάνουν ένα τεράστιο άλμα προς την παρακολούθηση μέσω έξυπνης λήψης αποφάσεων από τον Ιστό. Η αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική των συστημάτων απομακρυσμένης παρακολούθησης και η ευελιξία ανάπτυξής του το καθιστούν ιδιαίτερα κατάλληλο για βιομηχανικούς σκοπούς.

Γενικά, τα συστήματα απομακρυσμένης παρακολούθησης πρέπει να ανακτούν, να αναλύουν, να μεταδίδουν, να διαχειρίζονται και να ανατροφοδοτούν τις απομακρυσμένες πληροφορίες, χρησιμοποιώντας τον τεχνολογικό τομέα των επικοινωνιών και πληροφορικής (Peijiang & Xuehua, 2008). Συνδυάζει επίσης την πλήρη χρήση οργάνων, ηλεκτρονικής τεχνολογίας και λογισμικού υπολογιστών. Οι διαδεδομένες προσεγγίσεις του συστήματος παρακολούθησης των φωτοβολταϊκών που υπάρχουν παρουσιάζουν ορισμένα προβλήματα όπως η χαμηλή αυτοματοποίηση και η χαμηλή απόδοση σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να αποφευχθούν με ένα αποτελεσματικό σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου πληροφοριών απομακρυσμένου περιβάλλοντος. Αυτό το σύστημα θα πρέπει να περιλαμβάνει τεχνικές αυτόματης διάγνωσης του φωτοβολταϊκού σταθμού.

Η προγνωστική συντήρηση, που περιλαμβάνει εντοπισμό και ορισμό των σχετικών βλαβών και αστοχιών σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, είναι πολύ σημαντική. Η απομακρυσμένη παρακολούθηση και ο έλεγχος του φωτοβολταϊκού συστήματος που βασίζεται στην τεχνολογία Zigbee είναι αποδεδειγμένα αναποτελεσματική σε μεγάλη κλίμακα, επειδή δεν μπορεί να λειτουργήσει σε μεγάλη απόσταση (Gislason, 2008).

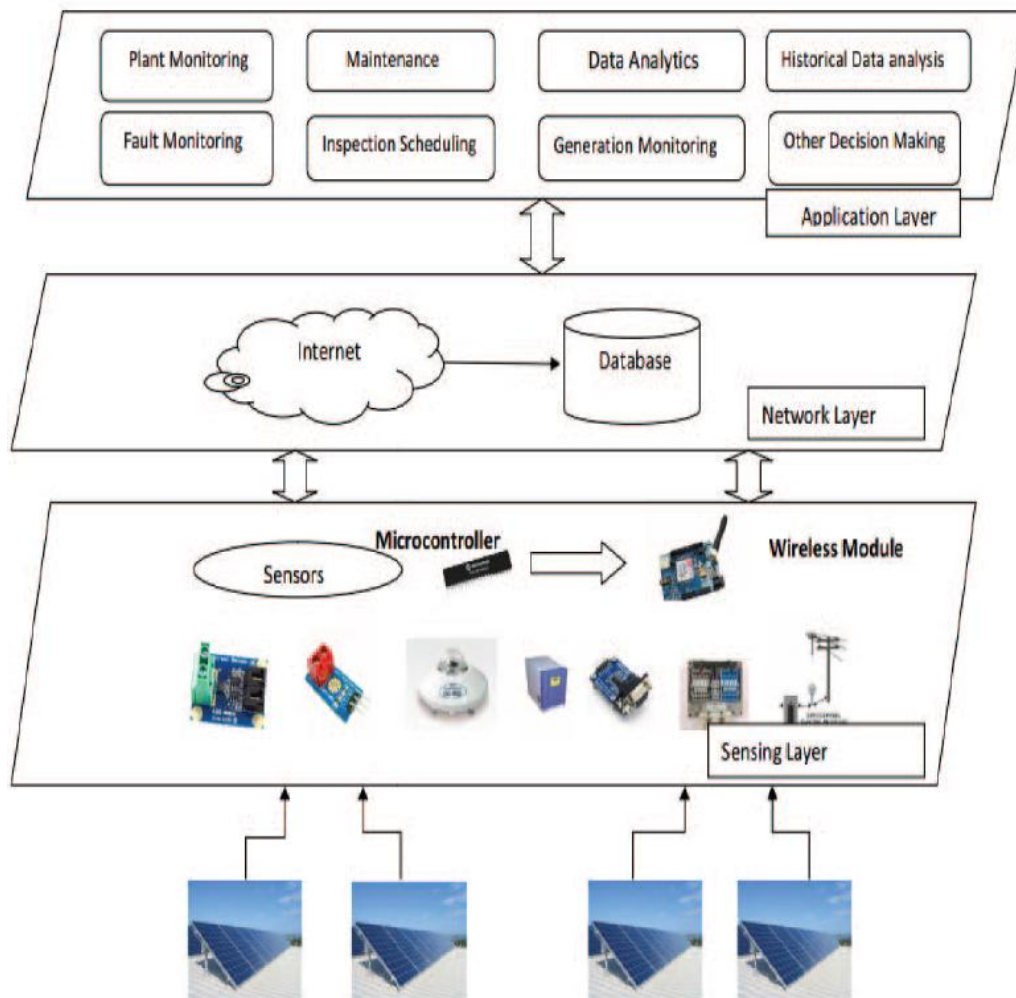
Η τεχνολογία Wi-Fi χρησιμοποιείται επίσης για την απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο φωτοβολταϊκών συστημάτων για οικιακές εφαρμογές. Το Wi-Fi (IEEE 802.11g) επιλέγεται καθώς λειτουργεί στα 2,4 GHz και προσφέρει υψηλό ρυθμό δεδομένων περίπου 54 Mbps σε αντίθεση με το ZigBee (250 Kbps) το οποίο όμως είναι κατάλληλο για αρχιτεκτονική δικτύου μικρού πλέγματος.

Επί του παρόντος, έχει τεθεί σε λειτουργία μία σειρά από συστήματα παρακολούθησης φωτοβολταϊκών. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν συχνά ασύρματα δημόσια δίκτυα όπως

το GSM ή άλλα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας για μετάδοση δεδομένων, έχουν όμως το μειονέκτημα του υψηλού κόστους λειτουργίας και συντήρησης που περιορίζουν την ανάπτυξη του συστήματος παρακολούθησης και τελικά εμποδίζουν τη διαδικασία αποτελεσματικής παρακολούθησης της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο. Αυτό μας έχει επηρεάσει να διερευνήσουμε νέα απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο του φωτοβολταϊκού συστήματος που βασίζεται στο IoT (Ou et al., 2012).

Στην εργασία των Adhya et al. (2016) παρουσιάζεται μία πειραματική εγκατάσταση που περιλαμβάνει ηλιακούς συλλέκτες, αισθητήρα θερμοκρασίας LM35, μετατροπείς τάσης, μετατροπείς ρεύματος, μονάδα SIM900A GPRS, μικροελεγκτή PIC18F46K22, διεπαφές RS232 και μετατροπείς. Οι κώδικες προγραμματισμού που έχουν αναπτυχθεί εκτελούνται στο λογισμικό MikroC και ο εξαγωγικός κώδικας φορτώνεται χρησιμοποιώντας λογισμικό MPLAB. Η οπτικοποίηση των δεδομένων που συλλέγονται στο σταθμό ελέγχου έχει γίνει με τη χρήση της ιστοσελίδας που έχει σχεδιαστεί. Το προτεινόμενο εννοιολογικό σύστημα σε αυτή την εργασία είναι η παρακολούθηση της κατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω ενός δικτύου βασισμένου στο IoT προκειμένου να ελέγχεται εξ αποστάσεως. Οι πληροφορίες από τους αισθητήρες μεταδίδονται μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Για την αποστολή δεδομένων στον απομακρυσμένο διακομιστή χρησιμοποιείται μονάδα GPRS

Η σχηματική εφαρμογή IoT για τον Ηλιακό Ηλεκτροπαραγωγικό Σταθμό των Adhya et al. (2016) φαίνεται στο Σχ. 11. Το σχηματικό διάγραμμα είναι τριών στρώσεων ξεκινώντας από το στρώμα ανίχνευσης στο κάτω μέρος, το οποίο αποτελείται από αισθητήρες ρεύματος, αισθητήρες τάσης, πυρανόμετρο για μέτρηση ακτινοβολίας και άλλους αισθητήρες. Αυτό το στρώμα περιλαμβάνει, επίσης, επεξεργασία δεδομένων βάσει μικροελεγκτή των δεδομένων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες. Ο μικροελεγκτής επικοινωνεί με την ασύρματη μονάδα για την εκκίνηση και τη μετάδοση δεδομένων στον διακομιστή. Το επίπεδο 2 όπως προβλέπεται είναι το επίπεδο δικτύου όπου γίνεται η καταγραφή δεδομένων από την εγκατάσταση για επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο που περιλαμβάνει βάση δεδομένων για αποθήκευση. Στη συνέχεια, μετά το επίπεδο δικτύου, αυτά τα επεξεργασμένα και αποθηκευμένα δεδομένα χρησιμοποιούνται στο επίπεδο εφαρμογής. Σε αυτό το επίπεδο, οι εξελιγμένες υπηρεσίες που βασίζονται στον ιστό σχεδιάζονται με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται, επεξεργάζονται και αποθηκεύονται. Οι γραφικές διεπαφές χρήστη θα βοηθήσουν στην παρακολούθηση της απόδοσης της εγκατάστασης, η κονσόλα θα συμβουλευεί επίσης τον διαχειριστή με αποφάσεις που βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα που θα μειώσουν σημαντικά τον χρόνο λήψης αποφάσεων. Με τη χρήση του συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης που βασίζεται στο IoT, θα είναι ευκολότερη η επίβλεψη της συνολικής απόδοσης ενός ηλιακού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με μία προσέγγιση βασισμένη στον ιστό.



Σχ. 11. Εφαρμογή επίβλεψης Ηλιακού Σταθμού Ενέργειας μέσω IoT.

2.7. Web-Based Service Backend για Έλεγχο Ηλιακών Πάρκων

Λόγω της εντεινόμενης κλιματικής πρόκλησης, η πράσινη ανάπτυξη αναμένεται να είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα τις επόμενες δεκαετίες. Οι στρατηγικές πράσινης ανάπτυξης μπορούν να βοηθήσουν τις οικονομίες και τις κοινωνίες να γίνουν πιο ανθεκτικές, καθώς προσπαθούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις για παραγωγή τροφίμων, μεταφορές, στέγαση, ενέργεια και νερό. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (ΦΒ) είναι ένα σύστημα που αποτελείται από ένα ή περισσότερα ηλιακά πάνελ που μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια.

Τα τελευταία χρόνια τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρουσιάζουν ραγδαία ανάπτυξη. Κάθε χρόνο ολοκληρώνονται χιλιάδες εγκαταστάσεις και συνεπώς MWp (MW αιχμής). Λόγω της υψηλής χρήσης της ανανεώσιμης ηλιακής ενέργειας, της ενεργειακής απόδοσης, της ύπαρξης βέλτιστων συνθηκών όπως οι επιδοτήσεις, επενδύονται σημαντικά κεφάλαια στην έρευνα και την κατασκευή τεχνολογίας φωτοβολταϊκών.

Τέτοια συστήματα, ωστόσο, δεν μπορούν να λειτουργήσουν σωστά εάν οι λειτουργίες δεν είναι αυτοματοποιημένες. Για τον λόγο αυτό, η ανάγκη για ένα αυτοματοποιημένο και ολοκληρωμένο σύστημα που ελέγχει και παρακολουθεί τα ηλιακά πάρκα είναι επιτακτική. Η ανάπτυξη αυτοματοποιημένων εφαρμογών στον ενεργειακό τομέα είναι σημαντική, όχι μόνο στη βιομηχανία αλλά και στην καθημερινότητά μας. Οι τελικοί χρήστες απαιτούν όλο και περισσότερο προϊόντα που καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με την αυξανόμενη ζήτηση για διευρυμένη λειτουργικότητα. Οι εφαρμογές ελέγχου και αυτοματισμού αναπτύσσουν λύσεις για τη μείωση του κόστους σε χρόνο, χρήμα και προσπάθεια διαδικασιών με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας είτε μιας υπηρεσίας είτε ενός προϊόντος.

Οι Meliones & Nounaki (2012) παρουσιάζουν μία εφαρμογή εγκατάστασης ηλιακού πάρκου, το οποίο χρησιμοποιεί το δίκτυο για τον έλεγχο και την παρακολούθηση των δεδομένων εισόδου και εξόδου του εξοπλισμού με στόχο την αναγνώριση χαμηλής απόδοσης, ανίχνευση συναγερμού, αστοχιών λειτουργίας, ασφάλεια μέσω καμερών, έλεγχο πρόσβασης, συλλογή και καταγραφή στατιστικών στοιχείων και παροχή αναφορών που αποθηκεύονται τοπικά ή αποστέλλονται ως email. Η εργασία περιγράφει αρχιτεκτονική τριών επιπέδων για την εφαρμογή, τον διαθέσιμο εξοπλισμό, τα σήματα, τους συναγερμούς και τις υπηρεσίες που υλοποιούνται.

Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος ελέγχου μπορεί να σχεδιαστεί κατακόρυφα, με τη διάκριση μεταξύ λειτουργικών επιπέδων (Passino, 2005). Η αρχιτεκτονική των Meliones & Nounaki (2012), αποτελείται από τρία επίπεδα. Κάθε ένα από αυτά υλοποιεί μία λειτουργικότητα του συστήματος, δημιουργώντας την πυραμίδα αυτοματισμού του ηλιακού πάρκου (Kastner et al., 2005). Το χαμηλότερο επίπεδο περιλαμβάνει αισθητήρες ή άλλα μέσα μέτρησης ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής, ενεργοποιητές, μετατροπείς δεδομένων (ψηφιακά σε αναλογικά δεδομένα και αντίστροφα) και δρομολογητές (Dorf & Bishop, 2008). Επιπλέον, οι προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (programmable logic controller, PLC) ή οι προγραμματιζόμενοι ελεγκτές αυτοματισμού (programmable automation controller, PAC) ενεργοποιούν όλες τις απαραίτητες λειτουργίες διεπαφής και αποθήκευσης που υλοποιήθηκαν σε κάθε εγκατάσταση ξεχωριστά. Μετά τη συλλογή τους μέσω αισθητήρων απόκτησης και μέτρησης τα δεδομένα μετατρέπονται σε μορφή κατάλληλη για μετάδοση και επεξεργασία. Ο ρόλος των ελεγκτών πεδίου είναι πολύ σημαντικός. Αναγνωρίζουν τις αστοχίες και δημιουργούν συναγερμούς που προέρχονται είτε απευθείας από σήματα εισόδου/εξόδου είτε σύνθετες αλγεβρικές, συνδυαστικές ή διαδοχικές συναρτήσεις και διαδικασίες. Στη συνέχεια, κατηγοριοποιούν και ιεραρχούν, αποθηκεύουν, δημιουργούν ειδοποιήσεις και αναφορές και κοινοποιούν την κατάσταση της εγκατάστασης στα κέντρα διαχείρισης.

Το επόμενο επίπεδο είναι το Κέντρο Δεδομένων που επικοινωνεί μέσω ενός δημόσιου ή/και ιδιωτικού δικτύου και είναι επίσης γνωστό ως επίπεδο αυτοματισμού. Ο ρόλος του είναι να παρακολουθεί και να ελέγχει όλες τις εγκαταστάσεις με κεντρικό τρόπο. Το κύριο μέρος του data center είναι το Service Backend, το οποίο αναλαμβάνει τη συλλογή, αποθήκευση και

διαχείριση δεδομένων από όλες τις απομακρυσμένες εγκαταστάσεις. Το Service Backend έχει τις ακόλουθες αρμοδιότητες:

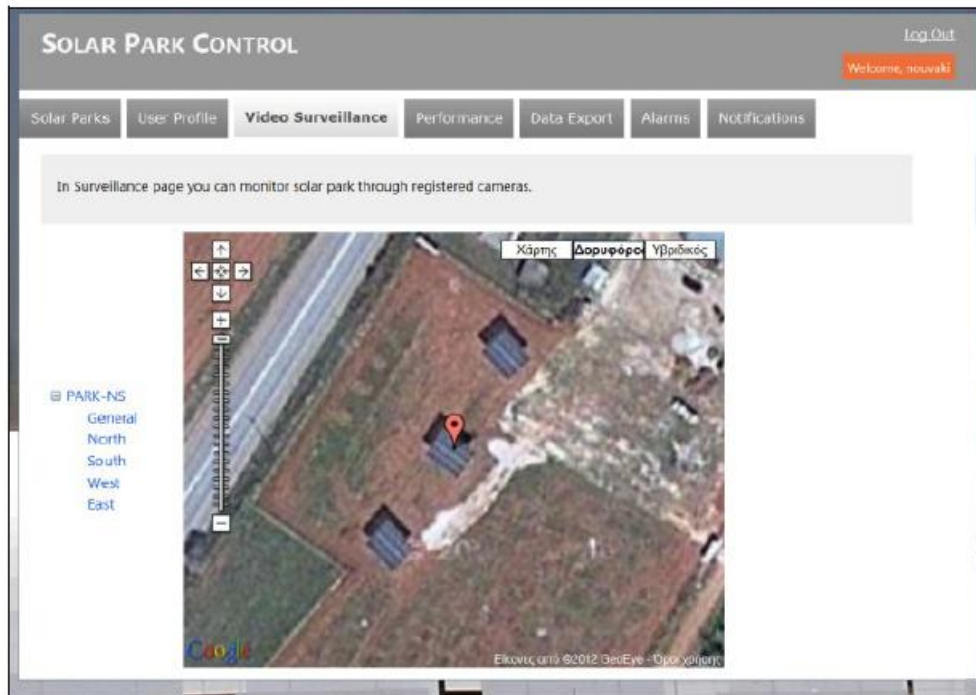
- Συλλογή, αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων από μια ποικιλία απομακρυσμένων τοποθεσιών.
- Μετατροπή δεδομένων και προετοιμασία τιμών για κάθετη πρόσβαση από το επίπεδο διαχείρισης.
- Αποθήκευση και διαχείριση πληροφοριών σχετικά με τους χρήστες που έχουν πρόσβαση στην υπηρεσία.
- Εξουσιοδότηση χρηστών να διαμορφώνουν το back-end υπηρεσίας ή τους ελεγκτές που αναπτύσσονται στο πεδίο.
- Εξουσιοδότηση χρηστών να εκτελούν λειτουργίες ελέγχου στην εγκατάσταση.

Το back-end υπηρεσίας ενσωματώνει επίσης τις ακόλουθες ενότητες:

- Communication Adapter Module (CAM), το οποίο αναλαμβάνει την απόκτηση δεδομένων από την απομακρυσμένη εγκατάσταση και την τροφοδοσία τους στο back-end της υπηρεσίας καθώς και τη μεταφορά δεδομένων από το back-end υπηρεσίας στον απομακρυσμένο ιστότοπο. Υποστηρίζονται πολλαπλές CAM λόγω της ποικιλίας των ελεγκτών τρίτων.
- Application Logic Module (ALM), που υπολογίζει τις παραγόμενες παραμέτρους. Αυτή η ενότητα μπορεί να επεκταθεί με νέες λειτουργίες υπολογισμού.
- Notification Server Module (NSM), που αναλαμβάνει την ειδοποίηση των χρηστών μέσω SMS ή e-mail.
- Reporting Server Module (RSM), που χειρίζεται τη δημιουργία και την παράδοση αναφορών. Όλα τα απαραίτητα δεδομένα αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων.

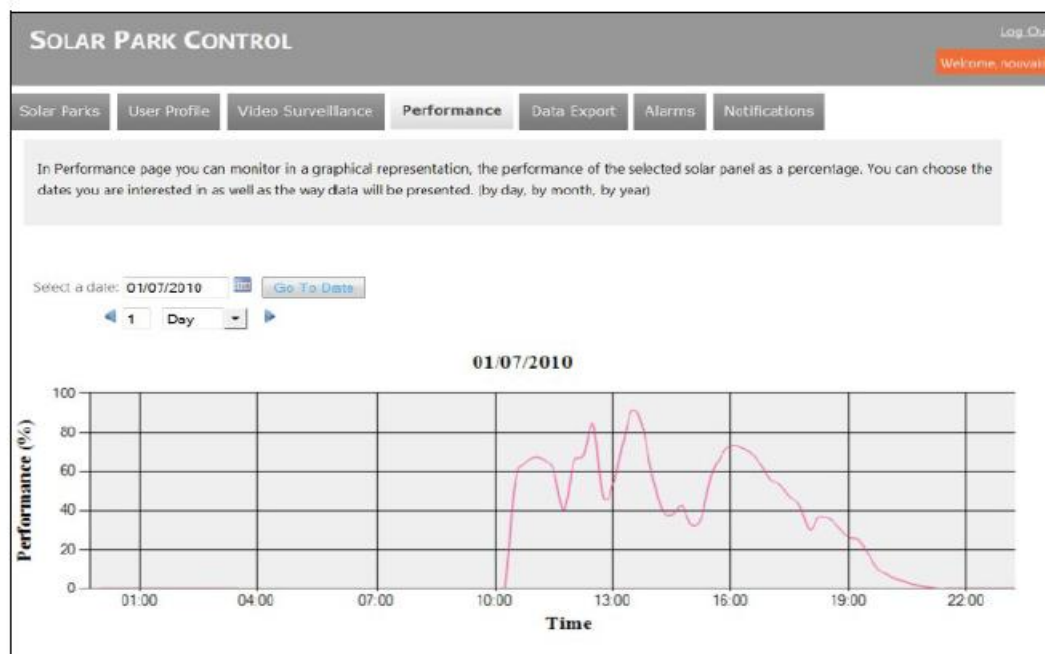
Το υψηλότερο επίπεδο είναι το επίπεδο διαχείρισης. Σε αυτό το επίπεδο, οι πληροφορίες είναι προσβάσιμες από ολόκληρο το σύστημα. Μια ενοποιημένη διεπαφή παρουσιάζεται στον χειριστή και στους τελικούς χρήστες για χειροκίνητη παρέμβαση στο σύστημα. Παρέχει κάθετη πρόσβαση στις τιμές του επιπέδου αυτοματισμού, συμπεριλαμβανομένης της τροποποίησης παραμέτρων όπως τα χρονοδιαγράμματα. Οι συναγερμοί δημιουργούνται για εξαιρετικές καταστάσεις όπως τεχνικά σφάλματα ή κρίσιμες συνθήκες. Η μακροχρόνια αποθήκευση ιστορικών δεδομένων με τη δυνατότητα να δίνονται εντολές για αναφορές και στατιστικά στοιχεία είναι επίσης μέρος αυτού του επιπέδου. Το προτεινόμενο σύστημα αυτοματισμού των Meliones & Nounaki (2012), για τον έλεγχο και την παρακολούθηση των ηλιακών πάρκων υλοποιεί την ακόλουθη ομάδα υπηρεσιών:

A) Επιτήρηση. Κάθε εγκατάσταση διαθέτει κάμερες σε καθορισμένες περιοχές σύμφωνα με ζεύγη συντεταγμένων (νότιος, βόρειος, δυτικός και ανατολικός). Ο χρήστης παρακολουθεί με ζωντανό βίντεο κάθε εγκατάσταση καθορίζοντας την κατεύθυνση που επιθυμεί, ακόμη και χειριζόμενος τη λειτουργία PTZ (pan, tilt, zoom) εάν είναι διαθέσιμη (βλ. Σχ. 12).



Σχ. 12. Υπηρεσία Επιτήρησης

Β) Απόδοση. Αυτή η υπηρεσία είναι πολύ σημαντική γιατί δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να παρακολουθεί πολύ γρήγορα τη συνολική απόδοση του πάρκου του. Όχι μόνο μπορεί να δει την τρέχουσα απόδοση, αλλά μπορεί επίσης να δώσει συγκεκριμένο χρονικό διάστημα για έλεγχο. Μέσω αυτής της υπηρεσίας ο χρήστης μπορεί να συγκρίνει την απόδοση μεταξύ ημερών, μηνών, ετών ή ορισμένων χρονικών διαστημάτων. (Σχ. 13).



Σχ. 13. Υπηρεσία απόδοσης

Γ) Εξαγωγή δεδομένων. Μέσω της σελίδας εξαγωγής δεδομένων ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα σήμα ή ομάδα σημάτων, σε κάποια επιλεγμένη χρονική περίοδο (ημέρες, μήνες, έτη) και το σύστημα θα παρουσιάσει τη γραφική αναπαράστασή τους. Ο χρήστης έχει επιπλέον τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα αρχείο xml με τις τιμές και να τις στείλει μέσω email (Σχ. 14).



Σχ. 14. Υπηρεσία εξαγωγής δεδομένων

Δ) Συναγερμός. Μέσω της υπηρεσίας συναγερμού ο χρήστης μπορεί να ελέγξει τα όρια συναγερμού και την προτεραιότητα για κάθε λαμβανόμενο σήμα. Εάν είναι ο διαχειριστής, μπορεί να θέσει αυτές τις τιμές επηρεάζοντας τις ειδοποιήσεις συναγερμού που δημιουργούνται με βάση αυτές τις τιμές κατωφλίου. Δύο συγκεκριμένοι συναγερμοί - μπαταρία και απόδοση - δημιουργούνται αυτόματα από λειτουργίες μέσα στο back-end υπηρεσίας της αρχιτεκτονικής του συστήματος των Meliones & Nounaki (2012), για τους δύο αυτούς συναγερμούς ο χρήστης μπορεί να ορίσει το όριο μόνο σε ποσοστό. Για παράδειγμα, δημιουργείται ειδοποίηση όταν η μπαταρία φτάσει το 15% της μέγιστης απόδοσης. Επιπλέον, αυτή η υπηρεσία εμφανίζει γραφική αναπαράσταση για έναν επιλεγμένο συναγερμό σύμφωνα με καθορισμένη περίοδο επιτρέποντας στον χρήστη να συγκρίνει εύκολα τιμές σε σχέση με το μέγιστο εύρος ορίου που απεικονίζεται με μία μπλε περιοχή.

Ε) Ειδοποίηση. Ο χρήστης επιλέγει από τη σελίδα του προφίλ του ποιο κανάλι επικοινωνίας θα χρησιμοποιηθεί ανάλογα με τον τύπο ειδοποίησης και συναγερμού. Τρία κανάλια παρέχονται από το σύστημα: (i) Ένα κανάλι sms για λήψη ειδοποιήσεων σε κινητό τηλέφωνο. (ii) Ένα κανάλι email, όπου η χρήστης λαμβάνει ειδοποιήσεις μέσω του email που συμπλήρωσε στη φόρμα εγγραφής. (iii) Εισερχόμενα, τα οποία υλοποιούνται μέσω μιας

ιστοσελίδας του συστήματός που ονομάζεται «Ειδοποιήσεις» και χρησιμοποιεί τους τοπικούς πόρους του συστήματος. Αυτή η σελίδα είναι προσβάσιμη μέσω του περιβάλλοντος συστήματος ενός συνδεδεμένου χρήστη. Είναι εύκολο στη χρήση και πολύ πρακτικό γιατί συγκεντρώνονται όλες οι πληροφορίες.

2.8. Διαχείριση Ηλιακών Σταθμών με Χρήση Drone

Η παγκόσμια ισχύς παραγόμενης ενέργειας από τον ήλιο η οποία είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο έφτασε τα 580,1 GW στο τέλος του 2015, μαζί με 3,4 GW απομονωμένων φωτοβολταϊκών, σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (International Renewable Energy Agency) (IRENA, 2015), εξαιτίας του σημαντικού μεγέθους καθίσταται ολοένα και πιο απαραίτητο να υλοποιούνται νέοι τρόποι διαχείρισης της λειτουργίας και συντήρησης αυτών των εγκαταστάσεων (Ferrero Bermejo et al., 2019).

Η παρουσία των drones έχει επεκταθεί τα τελευταία χρόνια με την εμφάνιση μικρότερων εκδόσεων και τη μείωση κόστους τους. Αυτό έχει οδηγήσει σε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση τους σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές, πέρα από τη στρατιωτική χρήση. Αυτά τα UAV προσαρμόζουν διαφορετικές τεχνολογίες για να επεκτείνουν τις χρήσεις τους, επομένως το ενδιαφέρον για αυτές τις συσκευές αυξάνεται και εξαπλώνεται σε πολλούς τομείς. Ορισμένες χρήσεις είναι η επιτήρηση και η διάσωση, η επίβλεψη εξοπλισμού, η γεωργία, η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, οι παραδόσεις προϊόντων, η βιομηχανική επιθεώρηση και τα δομικά έργα, μεταξύ άλλων (Mulero-Pázmány et al., 2015). Οι περισσότερες χρήσεις γενικά στοχεύουν στη μείωση του απαιτούμενου κόστους και χρόνου επιθεώρησης σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους (Goodchild & Toy, 2018).

Οι Kim, H. et al. (2020), πρότειναν μία αρχιτεκτονική υλικού που επιτρέπει στα drones να αναγνωρίζουν χαρακτηριστικά ή στοιχεία ενδιαφέροντος προκειμένου να υποστηρίξουν την αυτόνομη πλοήγηση, η οποία λειτουργεί συμπληρωματικά για την υποστήριξη μιας άλλης μονάδας που είναι υπεύθυνη για την πλοήγηση. Οι Bhatnagar et al. (2020) παρουσίασαν ένα παρόμοιο σύστημα αλλά επικεντρώθηκαν στον εντοπισμό και την ταξινόμηση των δασικών μαζών. Οι Cetin et al. (2020), ανέπτυξαν ένα σύστημα όρασης που βασίζεται σε drone για την αναγνώριση άλλων drones που πετούν σε ανοιχτούς χώρους και προσδιορίζει εάν η χρήση τους είναι νόμιμη ή ακόβουλη με κάμερες ενσωματωμένες σε drone. Οι Ladeira et al. (2020) όρισαν μια αρθρωτή αρχιτεκτονική για την κατασκευή αυτόνομων drones.

Οι Bemposta Rosende et al. (2020), παρουσίασαν ένα σύστημα που εκτελεί αυτές τις εργασίες μέσω λογισμικού και επιπλέον επιτρέπει τον καθορισμό του σχεδιασμού πλοήγησης και αποστολής για την πλήρη διαχείριση των στόλων και όχι μόνο για τον ελεγκτή μιας συσκευής. Επιπλέον, το σύστημα επιτρέπει τη διαχείριση πολλαπλών καμερών του στόλου των drones και τροφοδοτείται επίσης από σταθερές και βαθμονομημένες κάμερες, οι οποίες επιτρέπουν τη λήψη συγκεκριμένων δεδομένων από το περιβάλλον.

Εκτός από όλες αυτές τις χρήσεις των UAV, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση για την επιθεώρηση φωτοβολταϊκών σταθμών, λόγω της μεγάλης επέκτασης αυτού του τύπου πηγής ενέργειας και του ενδιαφέροντος της αγοράς ενέργειας προς τις ανανεώσιμες πηγές

(Roggi et al., 2020). Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη ενεργειακή και οικονομική κερδοφορία αυτών των μονάδων, είναι απαραίτητο η λειτουργία τους να είναι βέλτιστη (Bradley & Meyer, 2016). Η επιθεώρηση κάθε φωτοβολταϊκού πάνελ ξεχωριστά είναι εργασία που η χειροκίνητη εκτέλεση της καταναλώνει πολύ χρόνο και πόρους. Αυτή η διαδικασία μπορεί να αυτοματοποιηθεί με UAV εξοπλισμένα με συγκεκριμένους αισθητήρες και κάμερες (Lee & Park, 2019) και με τη δημιουργία χαρτών θερμικής εικόνας με γεωαναφορά (Niccolai et al., 2019). Αυτοί οι χάρτες μπορούν να δημιουργηθούν μέσω αυτόματων συστημάτων σχεδιασμού διαδρομής πτήσης, βελτιστοποιώντας τον τύπο πτήσης προς τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση (Roggi et al., 2020).

Ένα παράδειγμα ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας παρατηρείται πρόσφατα στη χρήση της στους εορτασμούς της Κινεζικής Πρωτοχρονιάς μέσω τηλεχειριζόμενων μπλοκ drones με κεντρικό έλεγχο, που αποτελεί ένα επίτευγμα συντονισμού και εφαρμοσμένης μηχανικής γύρω από τη λειτουργικότητα. Αυτή η δράση υποδεικνύει νέα πορεία για τη διαχείριση των drone, ιδιαίτερα στην Ευρώπη όπου η ρομποτική και η καινοτομία όσον αφορά τους διαφορετικούς χώρους αυτοματισμού είναι καθοριστικής σημασίας. Σε αυτό το πλαίσιο, η δυνατότητα εφαρμογής των drones συνδέεται με άλλες τεχνολογίες και ποικίλες προσεγγίσεις σε τομείς όπως η επιθεώρηση, ο αστικός αυτοματισμός, οι έξυπνες πόλεις, ο πολεοδομικός σχεδιασμός, ο σχεδιασμός και η μηχανική μεγάλων κτιρίων σε δυσπρόσιτες περιοχές. Όλα αυτά σε συνδυασμό με τις αναδυόμενες τεχνολογίες όπως τα big data και το Internet of Things, συνεργάζονται στην ολοκληρωμένη διαχείριση αυτού του τύπου εξοπλισμού. Σε αυτό το πλαίσιο, είναι σημαντικό να δημιουργηθούν οι βάσεις για τη ομαδοποίηση των διαδικασιών. Επιπλέον, απαιτείται αυτοματισμός μέσω τεχνουργημάτων ικανών να παρέχουν ένα αξιοσημείωτο φάσμα αυτονομίας σε λειτουργίες λειτουργικής φύσης.

Τα UAV παρέχουν ένα περιβάλλον που επιτρέπει τον αυτοματισμό σε διάφορους τομείς, όπως αυτοί που αναφέρθηκαν παραπάνω, αλλά αυτή η ικανότητα βασίζεται ουσιαστικά στην ικανότητα συνένωσης διαφορετικών τεχνολογιών. Η νέα προσέγγιση επικεντρώνεται στην αυτόνομη διαχείριση κάθε συσκευής σε σχέση με στόλους που λειτουργούν με κεντρικό έλεγχο. Στο πλαίσιο της απαίτησης των drones, θα πρέπει να εξεταστεί ο εξοπλισμός με υψηλή κινητικότητα και σημαντική αυτονομία. Για παράδειγμα, σε μια έξυπνη πόλη, η διαχείριση πληροφοριών βασίζεται στη λήψη δεδομένων από αισθητήρες, αλλά αυτοί είναι ακίνητοι. Αναμένεται επίσης να λαμβάνει πληροφορίες από αυτόνομα και ηλεκτρικά οχήματα, των οποίων η μετάβαση είναι ήδη πραγματικότητα (Ghosh, 2020). Τα περισσότερα από τα γεγονότα που πρέπει να καταγραφούν συμβαίνουν σε κίνηση, ειδικά σε σχέση με την ποικιλομορφία των υπάρχοντων δεδομένων. Τα UAV παρέχουν ένα βασικό στοιχείο της πανταχού παρουσίας και της ταχύτητας.

3. Παρουσίαση και χρήση της εφαρμογής - User's manual

3.1. Προετοιμασία Περιβάλλοντος

Θα πρέπει να έχουμε εγκατεστημένη στο σύστημά μας την java8. Στο παρακάτω link επιλέγουμε την έκδοση της java που υποστηρίζει το σύστημά μας

<https://www.oracle.com/java/technologies/javase/javase8-archive-downloads.html>

Αφού εγκατασταθεί η java θα πρέπει να ορίσουμε το environment variable JAVA_HOME με τιμή το path στο οποίο εγκαταστήσαμε την java, ενώ θα πρέπει να δηλώσουμε στο Path variable του συστήματος μας τον ίδιο φάκελο. Στη συνέχεια θα πρέπει να εγκαταστήσουμε το maven κατεβάζοντας την τελευταία έκδοση από το παρακάτω link <https://maven.apache.org/download.cgi> και με τον ίδιο τρόπο όπως παραπάνω να δημιουργήσουμε το MAVEN_HOME variable και να το προσθέσουμε στο path variable.

Εναλλακτικά με τα παραπάνω μπορούμε να εγκαταστήσουμε το εργαλείο intellij.

Από το παρακάτω link επιλέγουμε το community edition το οποίο θα κάνει όλη την εγκατάσταση και το σετάρισμα της java και του maven αυτόματα.

<https://www.jetbrains.com/idea/download/#section=windows>

3.2. Run Application

Για να γίνει compile η εφαρμογή και να δημιουργηθεί το εκτελέσιμο jar αρχείο χρησιμοποιούμε το εργαλείο maven. Κάνουμε navigate στο folder του project και εκτελούμε το παρακάτω:

```
mvn clean install
```

Αφού τελειώσει το build μέσα στον root φάκελο του project μας θα έχει δημιουργηθεί ο φάκελος target στον οποίο θα βρίσκετε το εκτελέσιμο jar αρχείο **solar-park-manager-0.0.1-SNAPSHOT.jar**

Για να σηκώσουμε την εφαρμογή μας πρέπει να τρέξουμε την παρακάτω εντολή:

```
java -jar solar-park-manager-0.0.1-SNAPSHOT.jar
```

3.3. Database

Η βάση δεδομένων είναι μια σχεσιακή βάση H2. Το console της βάσης βρίσκεται στο παρακάτω link <http://127.0.0.1:8080/h2-console/login.jsp>. Τα credentials της βάσης είναι:

Username	sa
Password	sa

Οι πίνακες της βάσης είναι οι παρακάτω:

- ◆ T_SOLAR_FACILITY ο πίνακας που αποθηκεύουμε τα solar facilities
- ◆ T_SOLAR_PANEL ο πίνακας που αποθηκεύουμε τα solar panels
- ◆ PANEL_PERFORMANCE_ENTITY ο πίνακας που αποθηκεύουμε τα δεδομένα που στέλνει το κάθε solar panel

3.4. Folders

src/main/java περιέχει όλο τον source κώδικα

src/main/resources περιέχει όλα τα configuration files της εφαρμογής. Εκεί ορίζουμε και τα connection details για την βάση δεδομένων καθώς και την port στην οποία ακούει η εφαρμογή. Επίσης, περιέχει τον φάκελο db στον οποίο βρίσκεται το αρχείο της βάσης μας.

3.5. Packages

- **Controller** όλοι οι controllers της εφαρμογής που είναι και το entry point της εφαρμογής
- **Model** χωρίζεται στα entity και στα dto
 1. Entity είναι τα μοντέλα τα οποία έχουν αντιστοιχία με τη βάση δεδομένων
 2. Dto (data transfer model) είναι τα μοντέλα τα οποία έχουν αντιστοιχία με τα json που λαμβάνει η εφαρμογή στους controllers
- **Repository** περιλαμβάνει interfaces τα οποία μας επιτρέπουν να κάνουμε access τη βάση δεδομένων.
- **Service** περιλαμβάνει classes που περιέχουν τη λογική της εφαρμογής μας
- **Util** περιλαμβάνει βοηθητικές classes

3.6. Endpoints

3.6.1. Δημιουργία ηλιακής εγκατάστασης (create Facility)

Μια POST κλήση, η οποία θα περιέχει πληροφορίες όπως όνομα, διεύθυνση, χωρητικότητα ηλιακών μονάδων, συντεταγμένες στον χάρτη και θα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων.

Method: POST

URL: http://localhost:8080/solar/facility/create

RequestBody:

```
{
  "name": "solar facility name",
  "address": "solar facility address",
  "capacity": 10,
  "coordinates": {
    "longitude": 12.233323,
    "latitude": 43.1232132
  }
}
```


ResponseCode: 200 OK

```
ResponseBody:
{
  "id": 1, "name": "solar facility name",
  "address": "solar facility address",
  "capacity": 10,
  "coordinates": {
    "longitude": 12.233323,
    "latitude": 43.1232132
  }
}
```

3.6.2. Δημιουργία μονάδας σε ηλιακή εγκατάσταση (create Solar Panel)

Μια POST κλήση, η οποία θα περιέχει πληροφορίες όπως τύπος, μοναδικός σειριακός αριθμός, μέγεθος και θα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων.

Method: POST

URL: <http://localhost:8080/solar/panel/create>

```
RequestBody:
{
  "solarFacilityId": 1,
  "type": "solar panel type",
  "serialNumber": "AD67CAS7889JJAK89",
  "size": 6
}
```

ResponseCode: 200 OK

```
ResponseBody:
{
  "id": 2,
  "solarFacilityId": 1,
  "type": "solar panel type",
  "serialNumber": "AD67CAS7889JJAK89",
  "size": 6
}
```

3.6.3. Εμφάνιση ηλιακών εγκαταστάσεων (get all Solar Facilities)

Μια GET κλήση, η οποία θα εμφανίζει λίστα με τις πληροφορίες που έχουν οριστεί παραπάνω.

Method: GET

URL: <http://localhost:8081/solar/facilities>

```
RequestBody: N/A
```

ResponseCode: 200 OK

ResponseBody:

```
[ {
  "id": 1,
  "name": "solar facility name",
  "address": "solar facility address",
  "capacity": 10,
  "coordinates": {
    "longitude": 12.233323,
    "latitude": 43.1232132
  }
}
```

3.6.4. Εμφάνιση ηλιακής εγκατάστασης (get Solar Facility by id)

Μια GET κλήση, η οποία θα εμφανίζει αναλυτικότερες πληροφορίες για μια ηλιακή εγκατάσταση όπως τη λίστα ηλιακών μονάδων της εγκατάστασης.

Method: GET

URL: <http://localhost:8080/solar/facility/1>

RequestBody: N/A

ResponseCode: 200 OK

ResponseBody:

```
{
  "id": 1,
  "name": "solar facility name",
  "address": "solar facility address",
  "capacity": 10,
  "coordinates": {
    "longitude": 12.233323,
    "latitude": 43.1232132
  },
  "solarPanels": [
    {
      "id": 2,
      "solarFacilityId": 1,
      "type": "solar panel type",
      "serialNumber": "AD67CAS7889JJAK89",
      "size": 6
    }
  ]
}
```

3.6.5. Εμφάνιση ηλιακής μονάδας εγκατάστασης (get Solar Panel by id)

Μια GET κλήση, η οποία θα εμφανίζει αναλυτικές πληροφορίες της ηλιακής μονάδας.

Method: GET

URL: <http://localhost:8080/solar/panel/2>

RequestBody: N/A

ResponseCode: 200 OK

```
ResponseBody:
{
  "id": 2,
  "solarFacilityId": 1,
  "type": "solar panel type",
  "serialNumber": "AD67CAS7889JJAK89",
  "size": 6
}
```

3.6.6. Εμφάνιση ηλιακών μονάδων εγκατάστασης (get all Solar Panels)

Μια GET κλήση, η οποία θα εμφανίζει το σύνολο των ηλιακών μονάδων εγκατάστασης με όλα τα χαρακτηριστικά τους.

Method: GET

URL: <http://localhost:8080/solar/panels>

RequestBody: N/A

ResponseCode: 200 OK

```
ResponseBody:
[
  {
    "id":1,
    "solarFacilityId":1,
    "type":"type 2",
    "serialNumber":"AD67CAS7889JJAK89",
    "size":10
  },
  {
    "id":2,
    "solarFacilityId":1,
    "type":"type 1",
    "serialNumber":"KMEJEHDCK89JJAK89",
    "size":5
  },
  {
    "id":3,
    "solarFacilityId":2,
    "type":"type 3",
    "serialNumber":"KMEHSK8449JJAK89",
    "size":8
  }
]
```

3.6.7. Ενημέρωση ηλιακής εγκατάστασης (update Solar Facility)

Μια POST κλήση, η οποία θα ενημερώνει τις πληροφορίες μιας δεδομένης ηλιακής Εγκατάστασης.

Method: PUT

URL: <http://localhost:8080/solar/panel/update>

```
RequestBody:
{
  "id": 2,
  "solarFacilityId": 1,
  "type": "solar panel type update",
  "serialNumber": "AD67CAS7889JJAK89",
  "size": 6
}
```

ResponseCode: 200 OK

```
ResponseBody:
{
  "id": 2,
  "solarFacilityId": 1,
  "type": "solar panel type update",
  "serialNumber": "AD67CAS7889JJAK89",
  "size": 6
}
```

3.6.8. Ενημέρωση ηλιακής μονάδας (update Solar Panel)

Μια POST κλήση η οποία θα ενημερώνει τις πληροφορίες συγκεκριμένης ηλιακής μονάδας.

Method: PUT

URL: <http://localhost:8080/solar/facility/update>

```
RequestBody:
{
  "id": 1,
  "name": "solar facility name update",
  "address": "solar facility address",
  "capacity": 10,
  "coordinates": {
    "longitude": 12.233323,
    "latitude": 43.1232132
  }
}
```

ResponseCode: 200 OK

```
ResponseBody:
{
  "id": 1,
  "name": "solar facility name update ",
  "address": "solar facility address",
  "capacity": 10,
  "coordinates": {
    "longitude": 12.233323,
    "latitude": 43.1232132
  }
}
```

3.6.9. Διαγραφή ηλιακής μονάδας (delete Solar Panel)

Μια DELETE κλήση, η οποία θα διαγράφει από τη βάση δεδομένων μια ηλιακή μονάδα.

Method: DELETE

URL: <http://localhost:8081/solar/panel/2>

RequestBody: N/A

ResponseCode: 204 No Content

ResponseBody: N/A

3.6.10. Διαγραφή ηλιακής εγκατάστασης (delete Solar Facility)

Μια DELETE κλήση, η οποία θα διαγράφει από τη βάση δεδομένων μια ηλιακή εγκατάσταση μαζί με τις ηλιακές μονάδες που αυτή περιλαμβάνει.

Method: DELETE

URL: <http://localhost:8080/solar/facility/1>

RequestBody: N/A

ResponseCode: 204 No Content

ResponseBody: N/A

3.6.11. Εισαγωγή δεδομένων σε ηλιακή μονάδα (insert performance data for Solar Panel)

Μια POST κλήση, η οποία θα λαμβάνει δεδομένα από κάθε ηλιακή μονάδα αναφορικά με το παραγόμενο ηλεκτρικό φορτίο της ηλιακής μονάδας.

Method: POST

URL: <http://localhost:8080/solar/panel/performance>

```
RequestBody:
{
  "panelId" :5,
  "kwh": 17,
  "date": "2022-08-02 13:00:00"
}
```

ResponseCode: 204 No Content

ResponseBody: N/A

3.6.12. Εμφάνιση ημερήσιων στατιστικών ανά ηλιακή εγκατάσταση (get Solar Facility daily average performance)

Μια GET κλήση, η οποία θα επιστρέφει το παραγόμενο ηλεκτρικό φορτίο ανά ημέρα ανά ηλιακή εγκατάσταση.

Method: GET

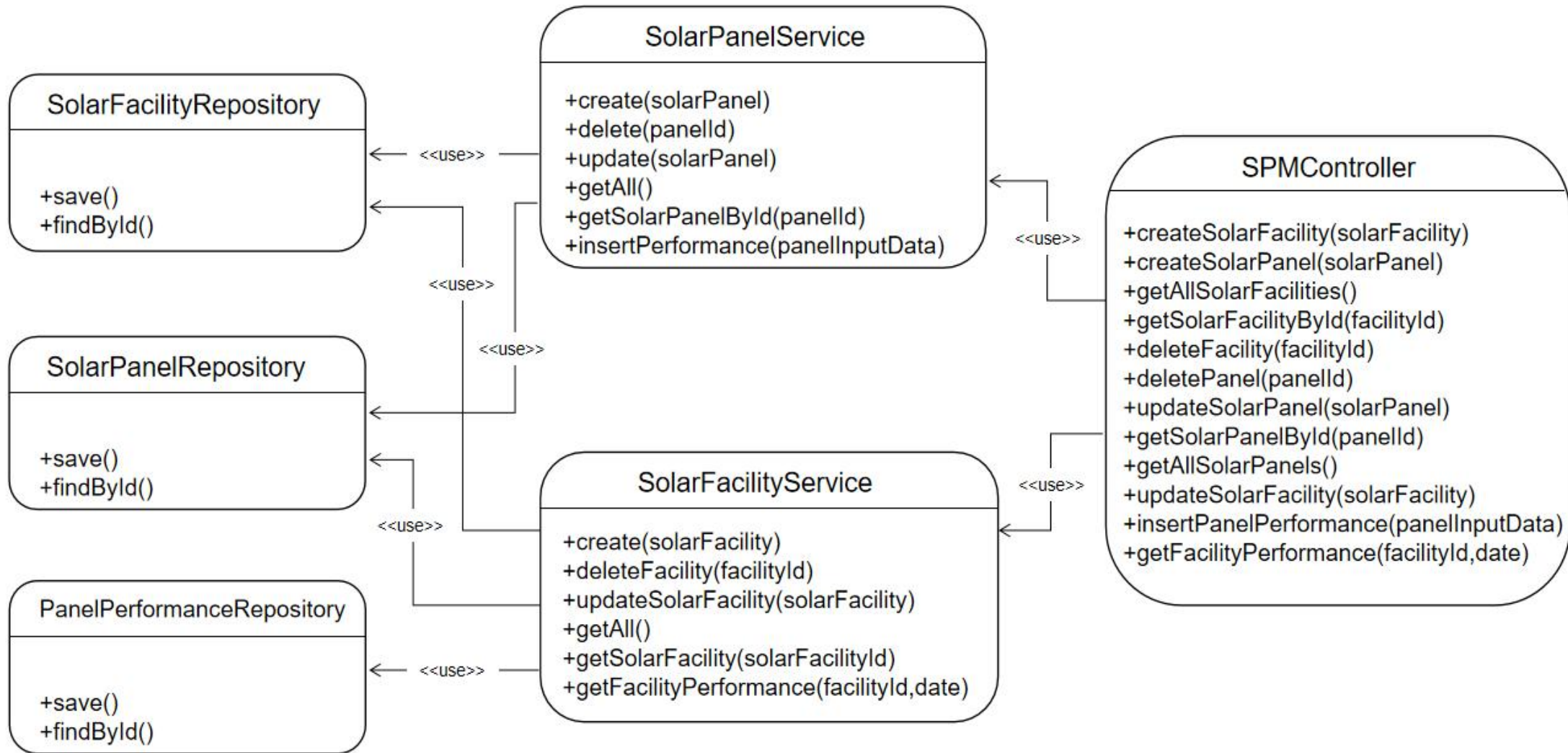
URL: <http://localhost:8081/solar/facility/performance/3?date=2022-08-02>

RequestBody: N/A

ResponseCode: 200 OK

```
ResponseBody:
{
  "facilityId": 3,
  "totalKwh": 16,
  "panels": [
    {
      "panelId": 5,
      "averageKwh": 16
    }
  ]
}
```

4. Αρχιτεκτονική Συστήματος



5. Συμπεράσματα και μελλοντικές προεκτάσεις

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε web εφαρμογή για τη διαχείριση και παρακολούθηση ηλιακών εγκαταστάσεων. Η συγκεκριμένη εφαρμογή σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί να εξυπηρετεί από τις ανάγκες μίας εταιρείας, η οποία διαχειρίζεται ηλιακές εγκαταστάσεις μέχρι τις ανάγκες ενός ιδιώτη που έχει προσαρμόσει στο σπίτι του ή σε κάποια ιδιόκτητη περιοχή μία εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης των δεδομένων της εγκατάστασης σε πραγματικό χρόνο. Ο χρήστης μπορεί να ενημερωθεί για την απόδοση του ηλιακού πάνελ στη διάρκεια της ημέρας, να λάβει πληροφορίες σχετικά με το μέγεθός του, το ρεύμα που μπορεί να παράξει, καθώς και τη χωρητικότητα της ηλιακής εγκατάστασης σε πάνελ. Η εφαρμογή αναπτύχθηκε σε περιβάλλον java8, ενώ η βάση δεδομένων αποτελεί μία σχεσιακή βάση H2. Η βάση αποτελείται από τρεις πίνακες, τον T_SOLAR_FACILITY όπου αποθηκεύονται τα solar facilities, τον T_SOLAR_PANEL που αποθηκεύονται τα solar panels και τον PANEL_PERFORMANCE_ENTITY που αποθηκεύονται τα δεδομένα που στέλνει το κάθε solar panel.

Μέσω της web εφαρμογής ο χρήστης μπορεί με μία κλήση POST να δημιουργήσει νέα ηλιακή εγκατάσταση στο σύστημα, δίνοντας στο σύστημα το όνομα, τη διεύθυνση, τη χωρητικότητα των ηλιακών μονάδων και τις συντεταγμένες τους στον χάρτη. Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να δημιουργήσει νέα μονάδα στην ηλιακή εγκατάσταση, παρέχοντας πληροφορίες όπως ο τύπος, ο μοναδικός σειριακός αριθμός και το μέγεθος της μονάδας. Επιπλέον, με μία κλήση GET εμφανίζονται τα δεδομένα των ηλιακών εγκαταστάσεων, δηλαδή λίστα πληροφοριών, όπως αυτές ορίστηκαν αρχικά από τον χρήστη στο σύστημα και είναι αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων του συστήματος. Με τον ίδιο τρόπο υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης αναλυτικότερων πληροφοριών για οποιαδήποτε ηλιακή εγκατάσταση όπως η λίστα ηλιακών μονάδων της εγκατάστασης ή ακόμα και η εμφάνιση πληροφοριών που σχετίζονται με μια μεμονωμένη ηλιακή μονάδα εγκατάστασης.

Επιπλέον, μέσω κλήσης POST, η εφαρμογή παρέχει τη δυνατότητα ενημέρωσης των δεδομένων της ηλιακής εγκατάστασης ή μεμονωμένης ηλιακής μονάδας, ενώ μέσω κλήσεων DELETE, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα διαγραφής της ηλιακής εγκατάστασης ή της ηλιακής μονάδας. Τέλος, μέσω κλήσης POST υπάρχει η δυνατότητα λήψης των δεδομένων από κάθε ηλιακή μονάδα που αφορούν το παραγόμενο ηλεκτρικό της φορτίο, ενώ μέσω κλήσης GET, η εφαρμογή επιστρέφει το παραγόμενο ηλεκτρικό φορτίο ανά ημέρα ανά ηλιακή εγκατάσταση και την εμφάνιση στατιστικών στοιχείων ανά ηλιακή εγκατάσταση σε δεδομένες ημερομηνίες.

Μελλοντικά η εφαρμογή θα μπορούσε να παραμετροποιηθεί έτσι ώστε να παρέχει μία συνολική εικόνα στην εταιρεία διαχείρισης ηλιακών πάρκων, ως προς την απόδοση όλων των εγκαταστάσεών της. Επιπλέον, θα ήταν δυνατή η επέκταση της διαλειτουργικότητάς της μέσω της χρήσης αισθητήρων και μικροελεγκτών, ώστε να στέλνονται αυτοματοποιημένα κάποια

δεδομένα από την ηλιακή εγκατάσταση προς την εφαρμογή για την επεξεργασία τους, αλλά και τη γραφική τους αναπαράσταση προς τον χρήστη.

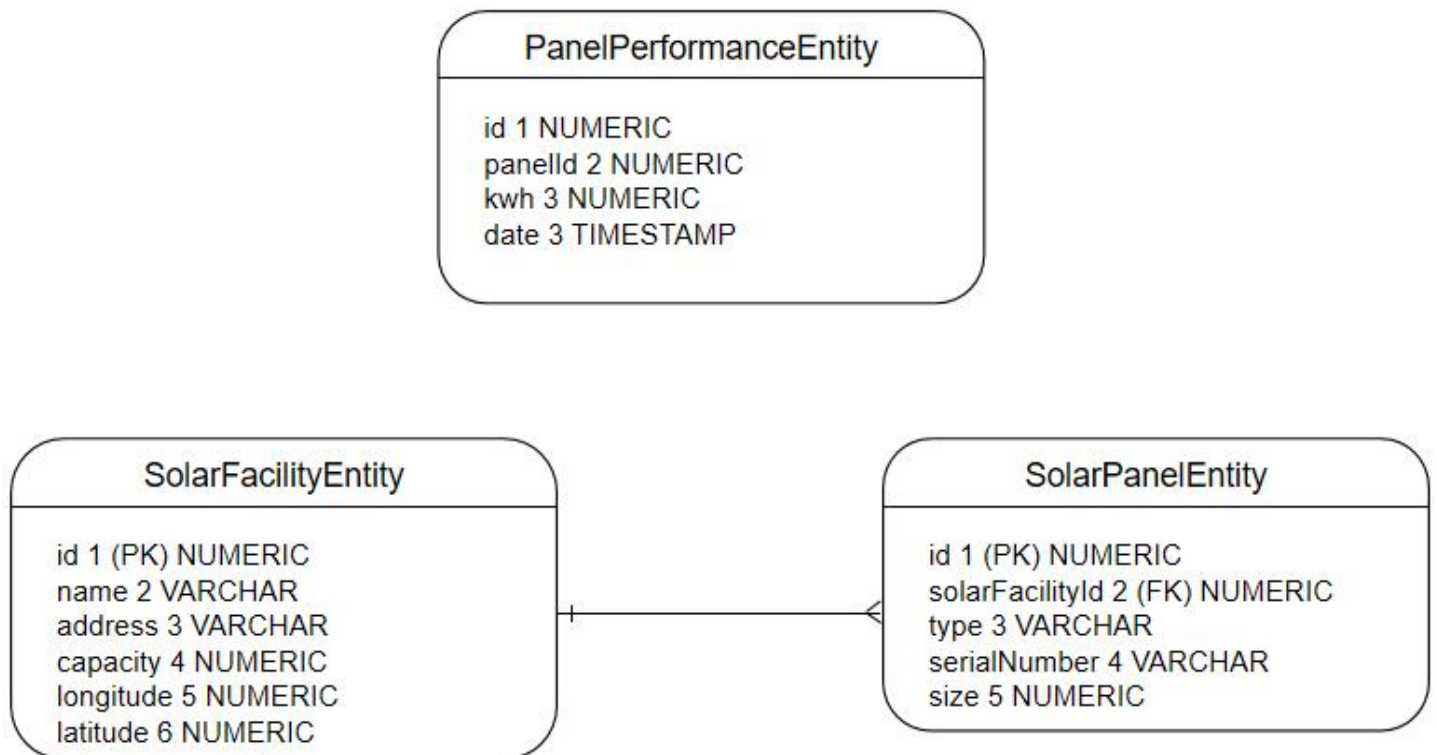
Εκτός αυτών θα μπορούσαν να προστεθούν αρί αναζήτησης τόσο για τα πάνελ, όσο και για τις εγκαταστάσεις. Αυτό σημαίνει ότι η εφαρμογή θα λαμβάνει το κριτήριο (π.χ. address) και τον όρο αναζήτησης (π.χ Marousi), θα ψάχνει στη βάση δεδομένων και θα επιστρέφει όλα τα σχετικά αποτελέσματα. Αναφορικά με την database, η σύνδεση με εξωτερική βάση δεδομένων θα βελτίωνε την αξιοπιστία των δεδομένων, τα οποία δεν θα εξαρτώνταν από τη ζωή της εφαρμογής και δεν θα επηρέαζονταν σε περίπτωση που αυτή ξαφνικά σταματούσε.

Χρήσιμο εργαλείο για τον χρήστη θα ήταν να μπορεί να ελέγχει την απόδοση μίας εγκατάστασης ή ενός πανέλ σε βάθος χρόνου. Με την προσθήκη ενός επιπλέον αρί θα πληκτρολογεί το εύρος των ημερομηνίων και το id που τον ενδιαφέρει και θα λαμβάνει τις αντίστοιχες πληροφορίες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η δημιουργία λειτουργίας, η οποία θα επέτρεπε στον χρήστη να παρακολουθεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ηλιακών πάνελ, μέσω της αναλυτικής καταγραφής δεδομένων για τον όγκο των εκμπομπών διοξειδίου του άνθρακα που εξοικονομούνται με τη χρήση ηλιακής ενέργειας, αλλά και για την ποσότητα της ανανεώσιμης ενέργειας που παράγεται από τα πάνελ. Τέλος, θα μπορούσε να προστεθεί η δυνατότητα για την οικονομική αξιολόγηση των εγκαταστάσεων από την εταιρεία ή τον ιδιώτη. Με την καταγραφή αναλυτικών δεδομένων σχετικά με τα χρήματα που έχουν εξοικονομηθεί με το συγκεκριμένο ενεργειακό μοντέλο και την επιστροφή επί της επένδυσης, καθίσταται ευκολότερη η απόφαση για το κλείσιμο ή την επέκταση της εκάστοτε εγκατάστασης.

Παράρτημα

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ



Βιβλιογραφία

- Adhya, S., Saha, D., Das, A., Jana, J., & Saha, H. (2016, January). An IoT based smart solar photovoltaic remote monitoring and control unit. In *2016 2nd international conference on control, instrumentation, energy & communication (CIEC)* (pp. 432-436). IEEE.
- Adhya, S., Saha, D., Das, A., Jana, J., & Saha, H. (2016, January). An IoT based smart solar photovoltaic remote monitoring and control unit. In *2016 2nd international conference on control, instrumentation, energy & communication (CIEC)* (pp. 432-436). IEEE.
- Assante, D., & Fornaro, C. (2019, April). An educational iot-based indoor environment monitoring system. In *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1475-1479). IEEE.
- Bakos, J., (2015). *Embedded Systems*, Morgan Kaufmann.
- Banerjee, R., (2015). Solar tracking system. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(3).
- Bemposta Rosende, S., Sánchez-Soriano, J., Gómez Muñoz, C. Q., & Fernández Andrés, J. (2020). Remote management architecture of UAV fleets for maintenance, surveillance, and security tasks in solar power plants. *Energies*, 13(21), 5712.
- Bhatnagar, S., Gill, L., & Ghosh, B. (2020). Drone image segmentation using machine and deep learning for mapping raised bog vegetation communities. *Remote Sensing*, 12(16), 2602.
- Bradley, A. Z., & Meyer, A. A. (2016, June). Economic impact of module replacement. In *2016 IEEE 43rd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)* (pp. 3492-3494). IEEE.
- Brincat, A. A., Pacifici, F., & Mazzola, F. (2019). Iot as a service for smart cities and nations. *IEEE Internet of Things Magazine*, 2(1), 28-31.
- Çetin, E., Barrado, C., & Pastor, E. (2020). Counter a drone in a complex neighborhood area by deep reinforcement learning. *Sensors*, 20(8), 2320.
- Chiochan, O., Saokaew, A., & Boonchieng, E. (2017, October). Internet of things (IOT) for smart solar energy: A case study of the smart farm at Maejo University. In *2017 international conference on control, automation and information sciences (ICCAIS)* (pp. 262-267). IEEE.
- Chitode, J.S., (2009). *Power Electronics (4th Edition)*. Technical Publications.
- Constantin, S., Moldoveanu, F., Campeanu, R., Baciu, I., Grigorescu, S. M., Carstea, B., & Voinea, V. (2006, May). GPRS based system for atmospheric pollution monitoring and warning. In *2006 IEEE international conference on automation, quality and testing, robotics* (Vol. 2, pp. 193-198). IEEE.
- Deb, G., & Roy, A. B., (2012). Use of solar tracking system for extracting solar energy. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 4(1), 42.
- Dorf R.C., & Bishop, R. H. (2008). *Modern control systems*. Pearson Prentice Hall.
- Durga, S., Nag, R., & Daniel, E. (2019, March). Survey on machine learning and deep learning algorithms used in internet of things (IoT) healthcare. In *2019 3rd international conference on computing methodologies and communication (ICCMC)* (pp. 1018-1022). IEEE.
- El Fathi, A., Nkhaili, L., Bennouna, A., & Outzourhit, A. (2014). Performance parameters of a standalone PV plant. *Energy conversion and management*, 86, 490-495.
- Ferdaus, R.A., Mohammed, M.A., Rahman, S., Salehin, S., Mannan, M.A., (2014). Energy Efficient Hybrid Dual Axis Solar Tracking System. *Journal of Renewable Energy*.

- Ferrero Bermejo, J., Gómez Fernández, J. F., Pino, R., Crespo Márquez, A., & Guillén López, A. J. (2019). Review and comparison of intelligent optimization modelling techniques for energy forecasting and condition-based maintenance in PV plants. *Energies*, 12(21), 4163.
- Ghosh, A. (2020). Possibilities and challenges for the inclusion of the electric vehicle (EV) to reduce the carbon footprint in the transport sector: A review. *Energies*, 13(10), 2602.
- Gimenez, S.P., (2019). *8051 Microcontrollers*. Springer Cham.
- Gislason, D. (2008). *Zigbee wireless networking*. Newnes.
- Godse, A.P., Mulani, A.O., (2009). *Embedded Systems (First Edition)*
- Goodchild, A., & Toy, J. (2018). Delivery by drone: An evaluation of unmanned aerial vehicle technology in reducing CO2 emissions in the delivery service industry. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61, 58-67.
- Haque, M. F., Hossain, S., Siddika, A., & Khan, M. N. R. (2017, December). Smart home automation system based on environmental monitoring system. In *National Conference on Electronics and ICT, Dhaka* (pp. 1-4).
- Hassanalieragh, M., Page, A., Soyata, T., Sharma, G., Aktas, M., Mateos, G., ... & Andreescu, S. (2015, June). Health monitoring and management using Internet-of-Things (IoT) sensing with cloud-based processing: Opportunities and challenges. In *2015 IEEE international conference on services computing* (pp. 285-292). IEEE.
- Huang, Y. J., Kuo, T. C., Chen, C. Y., Chang, C., Wu, P., & Wu, T. (2009). The design and implementation of a solar tracking generating power system. *Eng Lett*, 17(4), 1-5.
- IRENA, R.E.S. (2015). *Renewable Energy Target Setting*, IRENA, R.E.S.: Abu Dhabi, UAE.
- Jaya, N. I., & Hossain, M. F. (2018, October). A prototype air flow control system for home automation using mqtt over websocket in aws iot core. In *2018 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC)* (pp. 111-1116). IEEE.
- Juang, J. N., & Radharamanan, R. (2014, April). Design of a solar tracking system for renewable energy. In *Proceedings of the 2014 Zone 1 Conference of the American Society for Engineering Education* (pp. 1-8). IEEE.
- Kang, B., Park, S., Lee, T., & Park, S. (2015, January). IoT-based monitoring system using tri-level context making model for smart home services. In *2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)* (pp. 198-199). IEEE.
- Kastner, W., Neugschwandtner, G., Soucek, S., & Newman, H. M. (2005). Communication systems for building automation and control. *Proceedings of the IEEE*, 93(6), 1178-1203.
- Kelly, S. D. T., Suryadevara, N. K., & Mukhopadhyay, S. C. (2013). Towards the implementation of IoT for environmental condition monitoring in homes. *IEEE sensors journal*, 13(10), 3846-3853.
- Khan, M. N. R., & Hasan, M. R. (2017). Designing a home automation system by using RF receivers. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 3(4), 2318-2322.
- Khan, M. N. R., Pias, M. N., Habib, K., Hossain, M., Sarker, F., & Mamun, K. A. (2016, December). Bolte Chai: An augmentative and alternative communication device for enhancing communication for nonverbal children. In *2016 International Conference on Medical Engineering, Health Informatics and Technology (MediTec)* (pp. 1-4). IEEE.
- Kibria, M. G., Kim, H. S., & Chong, I. (2016, October). Tracking moving objects for intelligent iot service provisioning in web objects enabled iot environment. In *2016 International conference on information and communication technology convergence (ICTC)* (pp. 561-563). IEEE.

- Kim, H., Cho, J., Jung, Y., Lee, S., & Jung, Y. (2020). Area-efficient vision-based feature tracker for autonomous hovering of unmanned aerial vehicle. *Electronics*, 9(10), 1591.
- Kodali, R. K., & Jeswin, J. (2020, February). Smart monitoring of solar panels using AWS. In *2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC)* (pp. 422-427). IEEE.
- Kodali, R. K., & Yadavilli, S. (2018, February). Mongoose RTOS based IoT implementation of surveillance system. In *2018 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT)* (pp. 155-158). IEEE.
- Koutroulis, E., & Kalaitzakis, K. (2003). Development of an integrated data-acquisition system for renewable energy sources systems monitoring. *Renewable Energy*, 28(1), 139-152.
- Kumar, B. A. (2011). Solar power systems web monitoring. *arXiv preprint arXiv:1111.1605*.
- Ladeira, M., Ouhammou, Y., & Grolleau, E. (2020, July). Towards a modular and customisable model-based architecture for autonomous drones. In *2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)* (pp. 1127-1128). IEEE.
- Lee, D. H., & Park, J. H. (2019). Developing inspection methodology of solar energy plants by thermal infrared sensor on board unmanned aerial vehicles. *Energies*, 12(15), 2928.
- Madupu, P. K., & Karthikeyan, B. (2018, March). Automatic service request system for security in smart home using IoT. In *2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)* (pp. 1413-1418). IEEE.
- Meliones, A., & Nouvaki, A. (2012, July). A web-based service backend for control and monitoring of solar parks. In *IEEE 10th International Conference on Industrial Informatics* (pp. 229-235). IEEE.
- Mtshali, P., & Khubisa, F. (2019, March). A smart home appliance control system for physically disabled people. In *2019 Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS)* (pp. 1-5). IEEE.
- Mulero-Pázmány, M., Barasona, J. Á., Acevedo, P., Vicente, J., & Negro, J. J. (2015). Unmanned aircraft systems complement biologging in spatial ecology studies. *Ecology and evolution*, 5(21), 4808-4818.
- Mustafa, F. I., Shakir, S., Mustafa, F. F., & Naiyf, A. T. (2018, March). Simple design and implementation of solar tracking system two axis with four sensors for Baghdad city. In *2018 9th International Renewable Energy Congress (IREC)* (pp. 1-5). IEEE.
- Niccolai, A., Grimaccia, F., & Leva, S. (2019). Advanced asset management tools in photovoltaic plant monitoring: UAV-based digital mapping. *Energies*, 12(24), 4736.
- Oo, L. L., & Hlaing, N. K. (2010, May). Microcontroller-based two-axis solar tracking system. In *2010 second international conference on computer research and development* (pp. 436-440). IEEE.
- Ou, Q., Zhen, Y., Li, X., Zhang, Y., & Zeng, L. (2012, June). Application of internet of things in smart grid power transmission. In *2012 third FTRA international conference on mobile, ubiquitous, and intelligent computing* (pp. 96-100). IEEE.
- Oukennou, A., Berrar, A., Belbhar, I., & El Hamri, N. (2019, June). Low Cost IoT System for Solar Panel Power Monitoring. In *Colloque sur les Objets et systèmes Connectés*.
- Passino, K. M. (2005). *Biomimicry for optimization, control, and automation*. Springer Science & Business Media.

- Patchava, V., Kandala, H. B., & Babu, P. R. (2015, December). A smart home automation technique with raspberry pi using iot. In *2015 International conference on smart sensors and systems (IC-SSS)* (pp. 1-4). IEEE.
- Peijiang, C., & Xuehua, J. (2008, December). Design and Implementation of Remote monitoring system based on GSM. In *2008 IEEE Pacific-Asia workshop on computational intelligence and industrial application* (Vol. 1, pp. 678-681). IEEE.
- Peng, S., Wang, T., & Low, C. P. (2015). Energy neutral clustering for energy harvesting wireless sensors networks. *Ad Hoc Networks*, 28, 1-16.
- Prieto, M. J., Pernía, A. M., Nuño, F., Díaz, J., & Villegas, P. J. (2014). Development of a wireless sensor network for individual monitoring of panels in a photovoltaic plant. *Sensors*, 14(2), 2379-2396.
- Rani, L. P. J., Kumar, M. K., Naresh, K. S., & Vignesh, S. (2017, March). Dynamic traffic management system using infrared (IR) and Internet of Things (IoT). In *2017 Third International Conference on Science Technology Engineering & Management (ICONSTEM)* (pp. 353-357). IEEE.
- Roggi, G., Niccolai, A., Grimaccia, F., & Lovera, M. (2020). A computer vision line-tracking algorithm for automatic UAV photovoltaic plants monitoring applications. *Energies*, 13(4), 838.
- Rosell, J. I., & Ibanez, M. (2006). Modelling power output in photovoltaic modules for outdoor operating conditions. *Energy conversion and management*, 47(15-16), 2424-2430.
- Salhaoui, M., Arioua, M., Guerrero-González, A., & García-Cascales, M. S. (2018, June). An IoT control system for wind power generators. In *International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems* (pp. 469-479). Springer, Cham.
- Saravanan, D., & Lingeshwaran, T. (2019, March). Monitoring of solar panel based on IoT. In *2019 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)* (pp. 1-5). IEEE.
- Shahin, F. B., Tawheed, P., Haque, M. F., Hasan, M. R., & Khan, M. N. R. (2017, September). Smart home solutions with sun tracking solar panel. In *2017 4th international conference on advances in electrical engineering (ICAEE)* (pp. 766-769). IEEE.
- Shapsough, S., & Zualkernan, I. (2019, October). Requirements for an IoT middleware for utility-scale distributed solar farms. In *2019 Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)* (pp. 51-57). IEEE.
- Shrihariprasath, B., & Rathinasabapathy, V. (2016, February). A smart IoT system for monitoring solar PV power conditioning unit. In *2016 World Conference on Futuristic Trends in Research and Innovation for Social Welfare (Startup Conclave)* (pp. 1-5). IEEE.
- Song, Y. E., Liu, Y., Fang, S., & Zhang, S. (2015, August). Research on applications of the internet of things in the smart grid. In *2015 7th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics* (Vol. 2, pp. 178-181). IEEE.
- Sopitpan, S., Changmuang, P., & Panyakeow, S. (2001). Monitoring and data analysis of a PV system connected to a grid for home applications. *Solar energy materials and solar cells*, 67(1-4), 481-490.
- Spanias, A. S. (2017, August). Solar energy management as an Internet of Things (IoT) application. In *2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA)* (pp. 1-4). IEEE.
- Sritoklin, A., Malee, W., Prugsanantatorn, A., Sapaklom, T., Ayudhya, P. N. N., Mujjalinvimut, E., & Kunthong, J. (2018, October). A Low Cost, Open-source IoT based 2-axis Active Solar Tracker for

- Smart Communities. In *2018 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE)* (pp. 1-4). IEEE.
- Stauffer, H. B. (1991). Smart enabling system for home automation. *IEEE transactions on consumer electronics*, 37(2), xxix-xxxv.
- Suzdalenko, A., & Galkin, I. (2013, June). Case study on using non-intrusive load monitoring system with renewable energy sources in intelligent grid applications. In *2013 International Conference-Workshop Compatibility And Power Electronics* (pp. 115-119). IEEE.
- Swan, M. (2012). Sensor mania! the internet of things, wearable computing, objective metrics, and the quantified self 2.0. *Journal of Sensor and Actuator networks*, 1(3), 217-253.
- Tyagi, V. V., Rahim, N. A., Rahim, N. A., Jeyraj, A., & Selvaraj, L. (2013). Progress in solar PV technology: Research and achievement. *Renewable and sustainable energy reviews*, 20, 443-461.
- Woyte, A., Richter, M., Moser, D., Mau, S., Reich, N., & Jahn, U. (2013, September). Monitoring of photovoltaic systems: good practices and systematic analysis. In *Proc. 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference* (pp. 3686-3694).
- Zhan, T. S., Lin, W. M., Tsai, M. H., & Wang, G. S. (2013, July). Design and implementation of the dual-axis solar tracking system. In *2013 IEEE 37th Annual Computer Software and Applications Conference* (pp. 276-277). IEEE.
- Zhang, S., Andrews-Speed, P., & Ji, M. (2014). The erratic path of the low-carbon transition in China: Evolution of solar PV policy. *Energy Policy*, 67, 903-912.
- Zolkapli, M., Al-Junid, S. A. M., Othman, Z., Manut, A., & Zulkifli, M. M. (2013, June). High-efficiency dual-axis solar tracking development using Arduino. In *2013 International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering and Environment* (pp. 43-47). IEEE.