

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΜΣ: «ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ –
ΕΥΦΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & INTERNET OF THINGS (IoT)»



**ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ
ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ IoT ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΔΗΜΟΣΙΑ ΚΤΙΡΙΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωργία Σπηλιοπούλου

A.M. 8116013

Λάρισα, Απρίλιος 2020

**DATA AGGREGATION USING HETEROGENEOUS WIRELESS IoT
NODES TO OPTIMIZE ENERGY IN PUBLIC BUILDINGS**

POSTGRADUATE THESIS

Επιβλέπων καθηγητής: Αθανάσιος Παπαϊωάννου

Περίληψη

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει από νωρίς επισημάνει την ανάγκη αναχαίτισης της κλιματικής αλλαγής στον πλανήτη και έχει προβεί στην σύνταξη μιας σειράς οδηγιών όπως η ενημερωμένη Οδηγία Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων – EPBD (2018/844/EU) και η Οδηγία Ενεργειακής Απόδοσης -EED (2012/27/EU)

Σύμφωνα με μελέτες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής [1], οι κτιριακές εγκαταστάσεις αποτελούν το 40% της ενεργειακής κατανάλωσης και το 36% των εκπομπών CO₂. Βελτιώνοντας την ενεργειακή απόδοση στα κτίρια η ΕΕ μπορεί πιο εύκολα να επιτύχει τους ενεργειακούς και κλιματολογικούς της στόχους.

Η πλειονότητα των κτιρίων του δημοσίου τομέα έχει κατασκευαστεί στο μεγαλύτερο ποσοστό πριν από το 2000, δεν διαθέτει σύστημα διαχείρισης της ηλεκτρικής εγκατάστασης και δεν μπορεί εύκολα να εκσυγχρονιστεί και λόγω κόστους, αλλά και επειδή είναι σε χρήση!

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι να αναπτύξουμε μοντέλο κτιριακής εγκατάστασης χρησιμοποιώντας ασύρματους αισθητήρες και ενεργοποιητές διαφορετικών πρωτοκόλλων μεταξύ τους, έτσι ώστε να πετύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας με τις ελάχιστες δυνατές οικοδομικές παρεμβάσεις.

Κατασκευάζουμε λειτουργική εγκατάσταση περιορισμένης έκτασης, χρησιμοποιώντας συσκευές πρωτοκόλλων BLE, KNX RF, ZigBee και Z-Wave, το οποίο τίθεται σε λειτουργία (integration και commissioning), μέσω της πλατφόρμας Node-RED. Δημιουργούμε διεπαφή χρήστη (UI), όπου λαμβάνουμε δεδομένα χρήσης και λειτουργίας και κατανάλωσης της εγκατάστασης της οποίας αποστέλλονται σε εξωτερική βάση δεδομένων χρονικής σειράς InfluxDB και σε συνδυασμό με την συμπεριφορά του χρήστη και τις εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος επισημαίνουμε τις απαιτούμενες επεμβάσεις που πρέπει να εκτελεστούν έτσι ώστε επιτύχουμε βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Η διπλωματική εργασία έχει δομηθεί ως εξής:

Στην εισαγωγή διαπραγματευόμαστε τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στο περιβάλλον, την ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια, και κυρίως στα πεπαλαιωμένα ενεργειακά κοστοβόρα δημόσια κτίρια, και εισάγουμε την έννοια όπως Διαχείριση της Ζήτησης Ενέργειας (DSM). Στο 2^ο κεφάλαιο αναφερόμαστε σε συναφείς ερευνητικές εργασίες όπως το έργο CHArGED και η εργαλειοθήκη HEART. Στο 3^ο κεφάλαιο αναφερόμαστε στο τεχνικό υπόβαθρο της λύσης που προτείνουμε αναλύοντας την τοπολογία των δικτύων ασύρματων αισθητήρων, την λήψη δεδομένων από τους αισθητήρες και την εισαγωγή των μετρήσεων σε βάση δεδομένων. Στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφουμε την λειτουργικότητα που θέλουμε να πετύχουμε με την προτεινόμενη λύση. Στο 5^ο κεφάλαιο περιγράφουμε την εφαρμογή του συστήματος, αναλύοντας τον εξοπλισμό που χρησιμοποιούμε, τα ασύρματα πρότυπα που εφαρμόζονται, τον κώδικα που χρησιμοποιούμε στο Node-RED. Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζουμε την εφαρμογή της λύσης όπως αυτή έχει γίνει deployed, περιγράφοντας τα User Interfaces στο Node-RED και Chronograf και τα παραδείγματα λειτουργικότητας της εφαρμογής αυτοματισμών. Στο 7^ο κεφάλαιο αναλύουμε τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

Λέξεις-κλειδιά: εξοικονόμηση ενέργειας, ασύρματοι κόμβοι, συλλογή και ανάλυση δεδομένων, ανάλυση συμπεριφοράς χρήστη κτιρίου

Abstract

The European Union has early on pointed out the necessity to intercept the climate change on the planet and has devised a set of directives such as the updated Energy Performance of Buildings Directive– EPBD (2018/844/EU) and the Energy Efficiency Directive-EED (2012/27/EU)

According to the surveys conducted by the European Commission [1], the energy consumption in buildings deviates up to 40% of the total energy consumption and 36% of the total carbon footprint of CO₂ emissions. By optimizing the energy efficiency in buildings, the European Union can easier achieve its energy consumption and climate goals. Most public sector buildings have been constructed before the year 2000 and do not have any Building Management Systems. Moreover, they cannot be easily renovated due to high construction costs and since these buildings are in use!

The scope of this thesis is to develop a building installation model using wireless sensors and actuators belonging to different protocols, so as to achieve energy optimization with minimal construction works.

In the current thesis we propose the implementation of wireless nodes and actuators of various RF protocols, so as to achieve energy optimization in the building with the least structural intervention, we aggregate functioning and usage data of the installation and according to the user's behavior and external weather data, we can propose the necessary energy optimization plan.

The thesis has the following structure:

In the Introduction we point out at the consequences of the climate change and the necessity of optimization in energy usage in buildings and especially in older and energy costly public buildings. We also introduce the term of Demand Side Management (DSM). In the 2nd Chapter we list similar research work and implementation projects, such as the ChArGED project and the Heart Toolkit. In the 3rd Chapter we describe the technical background of the proposed solution, analyzing the topology of the wireless sensor network, the data acquisition from the sensors and the aggregation into a time series database. In the 4th Chapter we describe the functionality we wish to achieve through our purposed solution. In the 5th Chapter we describe the implementation of the solution, describing the equipment we are using, the RF protocols which are included, the code we create in the Node-RED framework. In the 6th Chapter we present the functionality of our deployed application, describing the Node-RED and Chronograf User Interfaces, and the Direct Control Load implementations. In the 7th Chapter we describe the conclusions of our thesis.

.
.

Keywords: energy optimization, wireless nodes, data aggregation and analysis, user behavior analysis

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ως την ελάχιστη δυνατή μνεία με την παρούσα παράγραφο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν για την εκπόνηση της εργασίας και ιδιαίτερα :

Τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Αθανάσιο Παπαϊωάννου για την πολύτιμη υποστήριξή του, και για τις παραγωγικές υποδείξεις του καθώς και το πολύ ωραίο κλίμα συνεργασίας το οποίο διαμόρφωσε.

Τον καθηγητή - συντονιστή κ. Βέντζα Δημήτριο κατά την διάρκεια όλης της χρονικής περιόδου των μεταπτυχιακών σπουδών.

Επίσης τον συνάδελφο και συμφοιτητή κ. Νίκο Τσικρίκα για την βοήθεια που μου προσέφερε.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους μεταπτυχιακούς φοιτητές για τις ανταλλαγές απόψεων, και για την σημαντική βοήθεια τους.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και το αποτύπωμα άνθρακα	1
1.2	Ευρωπαϊκές Οδηγίες Εξοικονόμησης Ενέργειας - Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία.....	1
1.3	Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων και Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης	2
1.4	Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια του δημοσίου τομέα.....	4
1.5	Βασικοί παράγοντες αναστολής της ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων.....	6
1.6	Εξοικονόμηση ενέργειας με κτιριακούς αυτοματισμούς	7
1.7	Διαχείριση Ζήτησης της Ενέργειας (Demand Side Management -DSM)	10
1.8	Διαχείριση Ζήτησης - Απόκρισης (DR) & Αυτοματοποιημένη Διαχείριση Ζήτησης Ενέργειας (ADR)	12
1.9	Αντικείμενο και στόχοι της παρούσας εργασίας	13
2	Συναφείς Ερευνητικές Εργασίες και Δράσεις.....	15
2.1	Η συμβολή του IoT στην εξοικονόμηση ενέργειας.....	15
2.2	Δράσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα ευφυή κτίρια.....	16
2.2.1	Το Ερευνητικό Πρόγραμμα Horizon 2020.....	16
2.2.1.1	Το πλαίσιο λογισμικού ChArGED	17
2.2.1.1.1	Συνοπτικό Διάγραμμα Αρχιτεκτονικής	17
2.2.1.1.2	Το σύστημα Backend Data/Core.....	18
2.2.1.1.3	Μέτρηση Ενέργειας και Υποδομές IoT	20
2.2.1.2	Η Εργαλειοθήκη HEART - Το άθροισμα όλων των πραγμάτων.....	21
2.2.1.2.1	Συνοπτικό Διάγραμμα Αρχιτεκτονικής	22
2.2.1.2.2	Το μοντέλο προσαρμογής πρόβλεψης ενέργειας	23
2.2.1.2.3	Το «γλωσσάρι» του έργου HEART	24
3	Συστήματα IoT Ασύρματων Κόμβων – Τεχνικό Υπόβαθρο.....	27
3.1	Δίκτυα ασύρματων αισθητήρων.....	28
3.1.1	Πρωτόκολλο και Αρχιτεκτονική δικτύου Ασύρματων Αισθητήρων.....	28
3.1.2	Η τοπολογία ενός δικτύου ασύρματων κόμβων	29
3.2	Λήψη και συγκέντρωση δεδομένων	30
3.2.1	Προκλήσεις της ανάλυσης δεδομένων	30
3.2.2	Η αρχιτεκτονική του Middleware στα WSN.....	31
3.2.3	Η πλατφόρμα middleware Node-Red	33
3.3	Εισαγωγή, ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων σε βάση InfluxDB.....	34
4	Περιγραφή Προτεινόμενου Συστήματος IoT Ασύρματων Κόμβων	37
4.1	Το hardware και τα components του προτεινόμενου Συστήματος IoT.....	38
4.2	Αρχιτεκτονική του προτεινόμενου Συστήματος IoT	40
5	Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT	43
5.1	Διακομιστές της εφαρμογής	43
5.2	Το πρωτόκολλο Bluetooth	44
5.2.1	Η αναγνώριση του hardware του BLE adapter	44
5.2.2	Η σύγκριση μεταξύ του πρωτοκόλλου Bluetooth και BLE	45
5.2.3	Η τοπολογία ενός δικτύου Bluetooth	46
5.2.4	Δημιουργία ζεύξεων στο δίκτυο bluetooth (pairing συσκευών)	46
5.2.5	Η διαχείριση του Bluetooth στο Node-RED	47
5.3	Το πρωτόκολλο KNX RF	49

5.3.1	Η αναγνώριση του hardware KNX	49
5.3.2	Η αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου KNX.....	51
5.3.3	Η δημιουργία ζεύξεων στο δίκτυο KNX RF (pairing συσκευών)	54
5.3.4	Η τυπική χρήση της εφαρμογής KNXD.....	55
5.3.5	Η διαχείριση του KNX RF στο Node-RED.....	58
5.4	Το πρωτόκολλο Zigbee.....	60
5.4.1	Η αναγνώριση του hardware του Zigbee.....	60
5.4.2	Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου Zigbee.....	62
5.4.3	Δημιουργία ζεύξεων στο δίκτυο Zigbee (pairing κόμβων zigbee)	63
5.4.4	Η διαχείριση του Zigbee στο Node RED.....	64
5.5	Το πρωτόκολλο Z-Wave	66
5.5.1	Η αναγνώριση του hardware του Z-Wave	67
5.5.2	Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου Z-Wave	68
5.5.3	Ζεύξεις του δικτύου Z-Wave μέσω της βιβλιοθήκης openzwave-shared.....	71
5.5.4	Το αρχείο ozwcache.....	72
5.5.5	Η διαχείριση του Z-Wave στο Node RED	74
5.6	Το OpenWeatherMap API.....	77
5.6.1	Η διαχείριση του OpenWeatherMap στο Node-RED.....	77
5.7	Παραδείγματα αυτοματισμού με integration διαφορετικών πρωτοκόλλων	81
5.7.1	Λειτουργία μπουτόν ενεργοποίησης φωτισμού.....	81
5.7.2	Προγραμματισμός λειτουργίας θερμοστάτη σε high level.....	82
5.7.3	Direct Control Load φωτισμού και θέρμανσης έπειτα από απουσία του χρήστη	84
5.7.4	Direct Control Load θέρμανσης με έλεγχο εξωτερικής θερμοκρασίας	87
6	Επίδειξη εφαρμογής χρήστη.....	91
6.1	Το User Interface στο Node-RED.....	91
6.1.1	Sensor Readings and Graphs.....	91
6.1.2	External Weather Data.....	92
6.1.3	Λειτουργικότητα εφαρμογής αυτοματισμού	93
6.1.4	Κατάσταση λειτουργίας κόμβων (Node Status)	94
6.1.5	Κατάσταση λειτουργίας RF Adapters (Connectivity Status)	94
6.2	Το User Interface στο Chronograf.....	95
6.2.1	Αξιολόγηση κλιματολογικών δεδομένων	97
6.2.2	Κατάσταση λειτουργίας ασύρματων adapters.....	99
6.2.3	Ανάλυση συμπεριφοράς χρήστη	100
6.2.4	Απόδοση hardware	101
6.2.5	Ενεργειακές καταναλώσεις.....	104
6.2.6	Κατάσταση λειτουργίας ασύρματων κόμβων	105
6.2.7	Κλιματολογικά δεδομένα κτιρίου	106
7	Συμπεράσματα.....	107
7.1	Γενικά	107
7.2	Προτεινόμενες βελτιώσεις και επεκτάσεις.....	108
	Βιβλιογραφία.....	111
	Παράρτημα	117
	Διάγραμμα JSON των δεδομένων BLE	117
	Διάγραμμα JSON των δεδομένων KNX-RF.....	119
	Διάγραμμα JSON των δεδομένων Zigbee	121
	Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave.....	127

Διάγραμμα JSON του OpenWeatherMap API.....	139
Διάγραμμα JSON της εντολής μπουτόν χειρισμού φωτισμού.....	145
Διάγραμμα JSON της λειτουργίας θερμοστάτη.....	147
Διάγραμμα JSON του Direct Control Load θέρμανσης & φωτισμού λόγω απουσίας χρήστη.....	151
Διάγραμμα JSON του του Direct Control Load θέρμανσης λόγω εξ. θερμοκρασίας.....	153

Ευρετήριο Εικόνων

Πίνακας 1: Η κατανομή των νομών της χώρας σε ενεργειακές ζώνες.....	3
Πίνακας 2: Δείκτες βαθμολόγησης των κτιρίων σε ενεργειακές κατηγορίες	4
Πίνακας 3: Πίνακας κατανομής ενεργειακής βαθμολόγησης δημοσίων κτιρίων.....	5
Πίνακας 4: Ενεργειακή κατάταξη κτιρίων κατά EN15232	9
Πίνακας 5: Σύγκριση παραδοσιακών BMS με IoT enabled BMS	15
Πίνακας 6: Στοιβά αρχιτεκτονικής δικτύου ασύρματων αισθητήρων WSN	28
Πίνακας 7: Σύγκριση Bluetooth και BLE	46
Πίνακας 8: Δεδομένα Επικοινωνίας KNX RF USB adapter	50
Πίνακας 9: Τεχνικά χαρακτηριστικά Button KNX RF.....	51
Πίνακας 10: Τεχνικά χαρακτηριστικά πρωτοκόλλου z-wave.....	66

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Αριθμός ΠΕΑ και κατάταξη κτιρίων ανά δεκαετία κατασκευής.....	4
Διάγραμμα 2: Κατηγορίες χρήσης δημοσίων κτιρίων και ενεργειακή τους κατάταξη	5
Διάγραμμα 3: Κατανάλωση ενέργειας ανά είδος εκπαιδευτικού ιδρύματος και ανά κατηγορία ενέργειας	6
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα λειτουργίας εργαλειοθήκης HEART	23
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα ενεργειακής προσαρμογής πρόβλεψης.....	24
Διάγραμμα 6: Διάγραμμα αναπαράστασης εφαρμογής IoT ασύρματων κόμβων	27
Διάγραμμα 7: Τυπικό διάγραμμα ενός WSN.....	28
Διάγραμμα 8: Σχηματικό διάγραμμα λήψης δεδομένων μέσω Node-RED	35
Διάγραμμα 9: Διάγραμμα προτεινόμενης λύσης	38
Διάγραμμα 10: Σύγκριση ασύρματων πρωτοκόλλων κτιριακού αυτοματισμού [32].....	39
Διάγραμμα 11:Σχηματική αναπαράσταση του hardware της εφαρμογής	39
Διάγραμμα 12: Αρχιτεκτονική προτεινόμενου Συστήματος IoT	41
Διάγραμμα 13: Διάγραμμα λογισμικού που έχει εγκατασταθεί σε κάθε raspberry	42
Διάγραμμα 14: Τοπολογία πλέγματος (mesh) [35]	46
Διάγραμμα 15: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου KNX	52
Διάγραμμα 16: Δομή Αρχιτεκτονικής του EIBD, προκατόχου του KNXD	56
Διάγραμμα 17: Διάγραμμα διευθύνσεων δικτύου KNX RF.....	56
Διάγραμμα 18: Αρχιτεκτονική στοίβας Zigbee	62
Διάγραμμα 19: Τοπολογία Zigbee τύπου πλέγματος.....	63
Διάγραμμα 20: Αρχιτεκτονική Zigbee2mqtt.....	63
Διάγραμμα 21: zigbee2mqtt traffic	64
Διάγραμμα 22:Τοπολογία δικτύου Z-Wave.....	71
Διάγραμμα 23:Τοπολογία δικτύου z-wave.....	72

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1:Οι κατηγορίες του DSM	10
Εικόνα 2: Λειτουργικό διάγραμμα πλαισίου λογισμικού ChArGED	17
Εικόνα 3: Η αρχιτεκτονική του Συστήματος ChArGED.....	18
Εικόνα 4: Οργάνωση των τμημάτων του συστήματος SiteWhere	20
Εικόνα 5: IoT και οι υποδομές μέτρησης ενέργειας για προσωποποιημένη κατανομή ενεργειακών δαπανών	21
Εικόνα 6: Η γενική αρχιτεκτονική ενός WSN Middleware.....	32
Εικόνα 7: Η αρχιτεκτονική του Node-RED	33
Εικόνα 8: Αναγνώριση hardware στο cli.....	43
Εικόνα 9: Αναγνώριση του BLE adapter στο CLI	44
Εικόνα 10: Καρτέλα Bluetooth στην εφαρμογή Node-RED	48
Εικόνα 11: Αναγνώριση KNX USB Interface	49
Εικόνα 12: KNX RF USB Interface	50
Εικόνα 13: KNX RF button 6 gang	51
Εικόνα 14: Καρτέλα παραμέτρων μπουτόν KNX	54
Εικόνα 15: πινακας διευθυνσεων ομαδων μπουτον knx.....	55
Εικόνα 16: knx usb rf adapter οπου εμφανιζεται και η διευθυνση τομεα.....	55
Εικόνα 17:Ορισμός τοπικού δικτύου KNX	57
Εικόνα 18: Διευθυνσιοδότηση client και server	57
Εικόνα 19: Αλλαγή port socket στο KNXD	58
Εικόνα 20: Εκκίνηση server knxd	58
Εικόνα 21: Ρύθμιση server knx στην εφαρμογή Node-RED	59
Εικόνα 22: Καρτέλα KNX RF στην εφαρμογή Node-RED	59
Εικόνα 23: Αναγνώριση Zigbee coordinator στο command line	60
Εικόνα 24: Το Zigbee Coordinator	60
Εικόνα 25: Αισθητήρας χώρου θερμοκρασίας και υγρασίας.....	61
Εικόνα 26: Στοιχεία MQTT broker.....	64
Εικόνα 27: Η Καρτέλα Zigbee στην εφαρμογή Node-RED	65
Εικόνα 28: Αναγνώριση Z-Wave Interface στο command line	67
Εικόνα 29 : Z-Wave USB Interface	67
Εικόνα 30 : ttyACM0 το CC2531 USB Interface, ttyACM1 το Z-Wave Interface	67
Εικόνα 31 : Αισθητήρας φωτεινότητας, θερμοκρασίας και κίνησης	67
Εικόνα 32 : Διάγραμμα σύνδεσης ενεργοποιητή Z-Wave 2 εξόδων	68
Εικόνα 33 : βιβλιοθήκη Z-Wave.....	69
Εικόνα 34: Αρχιτεκτονική στοίβας Z-WAVE	70
Εικόνα 35: Ρύθμιση της θέσης του Z-Wave adapter στο openzwave-shared.....	71
Εικόνα 36:Φιλτράρισμα δεδομένων ανάλογα με το Label στο Node 3 του δικτύου Z-Wave	76
Εικόνα 37: Καρτέλλα διαχείριση Z-Wave στο Node-RED	77
Εικόνα 38: Η καρτέλα ρύθμισης του openweathermap.....	78
Εικόνα 39: Η καρτέλλα διαχείρισης του OpenWeatherMap στο Node-RED.....	79
Εικόνα 40: Παράδειγμα Integration πρωτοκόλλου KNX με Z-Wave για τον χειρισμό φωτισμού	82
Εικόνα 41: Παράδειγμα Integration πρωτοκόλλου KNX, με Zigbee και Z-Wave	84
Εικόνα 42:Ρυθμίσεις kapacitor.conf	84
Εικόνα 43: Δημιουργία Deadman alert με μήνυμα την κατάσταση της συνθήκης (CRITICAL ή OK) ...	85
Εικόνα 44: Μετατροπή TICK SCRIPT έτσι ώστε το alert να αποστέλλεται σε MQTT Server.....	86
Εικόνα 45: Παράδειγμα απενεργοποίησης καταναλώσεων έπειτα από απουσίας δεδομένων BLE ..	87

Εικόνα 46: Δημιουργία Threshold alert για τον έλεγχο της εξωτερικής θερμοκρασίας	87
Εικόνα 47: Μετατροπή TICK Script έτσι ώστε το alert να πηγαίνει σε MQTT server	88
Εικόνα 48: Παράδειγμα απενεργοποίησης θέρμανσης με βάση την εξωτερική θερμοκρασία	89
Εικόνα 49: Μετρήσεις και γραφήματα αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας	92
Εικόνα 50: Καρτέλα απεικόνισης μετεωρολογικών δεδομένων στο User-Interface	92
Εικόνα 51: Καρτέλα ένδειξης χειρισμών αυτοματισμού στο User Interface του Node-RED	93
Εικόνα 52: Καρτέλα ένδειξης κατάστασης ασύρματων κόμβων στο User Interface στο Node-RED ...	94
Εικόνα 53: Καρτέλα ένδειξης κατάστασης RF adapters στο User Interface στο Node-RED.....	94
Εικόνα 54: Η δομή της βάσης δεδομένων xiaomi_data με το σύνολο των measurements και των αντίστοιχων Fields	96
Εικόνα 55: Τα dashboards του Chronograf.....	97
Εικόνα 56: Dashboard ανάλυσης κλιματολογικών δεδομένων στο κτίριο	99
Εικόνα 57: Κατάσταση λειτουργίας ασύρματων bridges	100
Εικόνα 58: Dashboard ένδειξης συμπεριφοράς χρήστη στο User Interface του Chronograf	101
Εικόνα 59: Dashboard ένδειξης απόδοσης hardware σε κάθε raspberry	103
Εικόνα 60: Dashboard ένδειξης ενεργειακών καταναλώσεων στο User Interface του Chronograf ..	105
Εικόνα 61: Φυσική κατάσταση λειτουργίας ασύρματων κόμβων	105
Εικόνα 62: Καρτέλα ένδειξης γραφημάτων κλιματολογικών δεδομένων κτιρίου.....	106

1 Εισαγωγή

1.1 Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και το αποτύπωμα άνθρακα

Η εποχή μας χαρακτηρίζεται από την έντονη κλιματική αλλαγή στο σύνολο του πλανήτη, η οποία προκαλείται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως η εκπομπή αερίων θερμοκηπίου (πχ. CO₂, μεθάνιο, υποξείδια του αζώτου, φθοριούχα αέρια, κ.ά.), η αποψίλωση των δασών, και η εντατική κτηνοτροφία.

Η αύξηση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου οδηγεί σε άνοδο της θερμοκρασίας στο σύνολο του πλανήτη (global warming) . Η αποψίλωση των δασών προκαλεί απορρύθμιση του κλίματος, καθώς τα δάση συντελούν στην απορρόφηση CO₂ και την παραγωγή οξυγόνου. Επιπρόσθετα η εντατική κτηνοτροφία πέραν του γεγονότος ότι διαταράσσει την αλυσίδα της πανίδας και της χλωρίδας, συμβάλλει καταλυτικά στην αύξηση των εκπομπών αερίων μεθανίου που εκλύεται κατά την πέψη της τροφής από τα ζώα.

Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι ορατές παντού γύρω μας. Από την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0,85°C στον πλανήτη, μέχρι το λιώσιμο των πάγων στους πόλους, την αύξηση της στάθμης της θάλασσας, που προκαλεί πλημμύρες στις παραθαλάσσιες περιοχές, μέχρι την αλλαγή του κλίματος, την εκδήλωση κυμάτων καύσωνα και ξηρασίας, και το ξέσπασμα πυρκαγιών σε δάση.

Όλοι οι τομείς της οικονομίας που στηρίζονται στο περιβάλλον, όπως η αγροτική παραγωγή, η αλιεία και ο τουρισμός επηρεάζονται έντονα από την κλιματική αλλαγή. Συνέπειες εκτός από την οικονομία όμως έχει και η ανθρώπινη υγεία, όπου η αεριομόλυνση δημιουργεί έξαρση σε αλλεργίες και παθήσεις σχετιζόμενες με αναπνευστικά προβλήματα, η διαταραχή της αλυσίδας της πανίδας και της χλωρίδας οδηγεί σε κατώτερης ποιότητας τροφή, με αποτέλεσμα τον υποσιτισμό του πληθυσμού.

Από όλα τα παραπάνω πρέπει να τονιστεί η συμβολή της εκπομπής αερίων CO₂ στην αύξηση της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα, γεγονός που έχει οδηγήσει στην θέσπιση του όρου αποτύπωμα άνθρακα (carbon footprint) για την μέτρηση και την παρακολούθηση των εκπομπών CO₂. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι πριν την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης, στα τέλη της δεκαετίας του 1880, η μετρούμενη τιμή CO₂ ήταν 280ppm, ενώ το 2016 η τιμή ήταν στα 405ppm. Στα 130 χρόνια βιομηχανικής παραγωγής η τιμή του CO₂ αυξήθηκε παραπάνω από 45%.

1.2 Ευρωπαϊκές Οδηγίες Εξοικονόμησης Ενέργειας - Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία

Από το Μάρτιο του 2008 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έθεσε σα στόχο με το πακέτο μέτρων ελέγχου του κλίματος και της ενέργειας [2], την μείωση του αποτυπώματος άνθρακα κατά 20% σε σχέση με τα μετρούμενα επίπεδα της δεκαετίας του 1990 μέχρι το 2020.

Η Οδηγία περί Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων -EPBD (2010/31/EU [2]), εισήγαγε τον στόχο του Κτιρίου Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (ZEB-Zero Energy Building) στις καινούριες κατασκευές κτιρίων με ορίζοντα επίτευξης την 31^η Δεκεμβρίου 2020 και για τα καινούρια δημόσια κτίρια την 31^η Δεκεμβρίου 2018. Επίσης τέθηκαν στόχοι και δόθηκαν κίνητρα ενεργειακής αναβάθμισης με ανακαίνιση (retrofit) στα υφιστάμενα ιδιωτικά και δημόσια κτίρια.

Η Οδηγία περί Ενεργειακής Απόδοσης - EED (2012/27/EU [4]) θεσπίζει την υποχρεωτική ανακαίνιση του 3% του συνολικού εμβαδού των δημοσίων κτιρίων ανά έτος, λειτουργώντας με αυτό

τον τρόπο σαν παράδειγμα προς μίμηση. Στην ίδια οδηγία θεσπίστηκε ο θεσμός του ενεργειακού ελέγχου και η εγκατάσταση συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επανεξέτασε και ενημέρωσε τις ανωτέρω οδηγίες με την ανανεωμένη συγκεντρωτική Οδηγία περί Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων -EPBD(2018/844/EU [5]) και επιπρόσθετα θέσπισε μακροπρόθεσμες στρατηγικές ανακαίνισης των κτιρίων έτσι ώστε να μετατραπούν σε Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (ZEB) μέχρι το 2050 με ενδιάμεσα ενδεικτικά ορόσημα το 2030 και 2040 . Το κυριότερο όμως είναι ότι επισημαίνει και δίνει έμφαση στα τεχνικά συστήματα του κτιρίου, στην αυτορρύθμιση της θέρμανσης και της ψύξης και στον δείκτη **ευφυούς ετοιμότητας των κτιρίων**, στο Παράρτημα 1^A, όπου προβλέπεται η χρήση ευφυών διασυνδεδεμένων συσκευών για την μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας, την ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας του αέρα, την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας και την διαλειτουργικότητα μεταξύ αυτών των συσκευών και την ενημέρωση του υπεύθυνου διαχείρισης του κτιρίου

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία [6] θέτει σαν στόχο την μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 50-55% σε σχέση με τα επίπεδα της δεκαετίας του 1990. Επίσης τονίζει τις δυνατότητες που προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες για την απομάκρυνση της κατανάλωσης ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα και τη χρήση καθαρών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μάλιστα θεσμοθετεί το πρόγραμμα Horizon Europe με κύριο σκοπό την έρευνα και ανάπτυξη λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας και βιώσιμης ανάπτυξης.

1.3 Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων και Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης

Η Ευρωπαϊκή ένωση δίνει μεγάλη βαρύτητα στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια για το λόγο ότι καταναλώνουν το μέγιστο ποσοστό ενέργειας περίπου στα 40% και εκπέμπουν περίπου το 36% των αερίων CO₂. Επιπρόσθετα το ένα τρίτο αυτών των κτιρίων είναι παραπάνω από 50 ετών και τα ποσοστά ανακαίνισης είναι χαμηλά από 0,4-1,2% [7]

Πώς όμως υπολογίζεται η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια και πώς λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια;

Στην Ελλάδα τα επίσημα στοιχεία που λαμβάνουμε για την ενεργειακή κατανάλωση στα κτίρια προέρχονται από τα πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης που κατατίθενται στο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, τα οποία είναι θεωρητικές τιμές που προκύπτουν από την καταγραφή του εξοπλισμού και αναγωγή με βάση τις εκτιμώμενες ώρες λειτουργίας σε σχέση με το μοντέλο τυπικού κτιρίου.

Η έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης θεσπίστηκε και τέθηκε σε εφαρμογή με τον κανονισμό ΚΕΝΑΚ (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων) στην Κ.Υ.Α. Αριθμ. Δ6/Β/οικ. 5825 το 2010 και τη μερική αναθεώρησή του με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 [8].

Σύμφωνα με τον αναθεωρημένο ΚΕΝΑΚ λοιπόν, η ενεργειακή απόδοση του κτιρίου υπολογίζεται με βάση τις εξής παραμέτρους μεταξύ άλλων :

- Το είδος της χρήσης του κτιρίου
- Τις επιθυμητές συνθήκες λειτουργίας (θερμοκρασία, υγρασία και αερισμό) με βάση τη χρήση του κτιρίου
- Τον αριθμό των χρηστών (αλλά όχι τη συμπεριφορά τους)
- Τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο
- Τα εσωτερικά δομικά στοιχεία του κτιρίου και το κελυφός του

- Τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα για θέρμανση, κλιματισμό ψύξη (ΘΨΚ) και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ)
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου
- Στα κτίρια του τριτογενή τομέα καταγράφονται και τα χαρακτηριστικά των φωτιστικών σωμάτων
- Ο μηχανικός και ο φυσικός αερισμός
- Τα παθητικά και τα υβριδικά ηλιακά συστήματα

Σύμφωνα με τον κανονισμό ΚΕΝΑΚ λοιπόν η ελληνική επικράτεια έχει διαχωριστεί 4 κλιματολογικές ζώνες ως εξής:

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή).
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κυκλίας, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΝΟΜΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ ΣΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

Η ενεργειακή απόδοση και η βαθμολόγηση του κτιρίου υπολογίζεται ως εξής:

- ο δείκτης R_R είναι ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από το κτίριο αναφοράς (όπου η πρωτογενής ενέργεια είναι η ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές που δεν έχει υποστεί κάποια μετατροπή)
- ο δείκτης E_P είναι η υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου υπό εξέταση
- Το δείκτης T υπολογίζεται από το πηλίκο του δείκτη E_P προς το R_R

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$E_P \leq 0,33 R_R$	$T \leq 0,33$
A	$0,33 R_R < E_P \leq 0,50 R_R$	$0,33 < T \leq 0,50$
B+	$0,50 R_R < E_P \leq 0,75 R_R$	$0,50 < T \leq 0,75$
B	$0,75 R_R < E_P \leq 1,00 R_R$	$0,75 < T \leq 1,00$
Γ	$1,00 R_R < E_P \leq 1,41 R_R$	$1,00 < T \leq 1,41$
Δ	$1,41 R_R < E_P \leq 1,82 R_R$	$1,41 < T \leq 1,82$
E	$1,82 R_R < E_P \leq 2,27 R_R$	$1,82 < T \leq 2,27$

Z	$2,27R_{Rr} < EP \leq 2,73R_{Rr}$	$2,27 < T \leq 2,73$
H	$2,73R_{Rr} < EP$	$2,73 < T$

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΣΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ

Όπως φαίνεται από τον ανωτέρω πίνακα η βέλτιστη κατηγορία είναι η A+ και η χειρότερη η κατηγορία H.

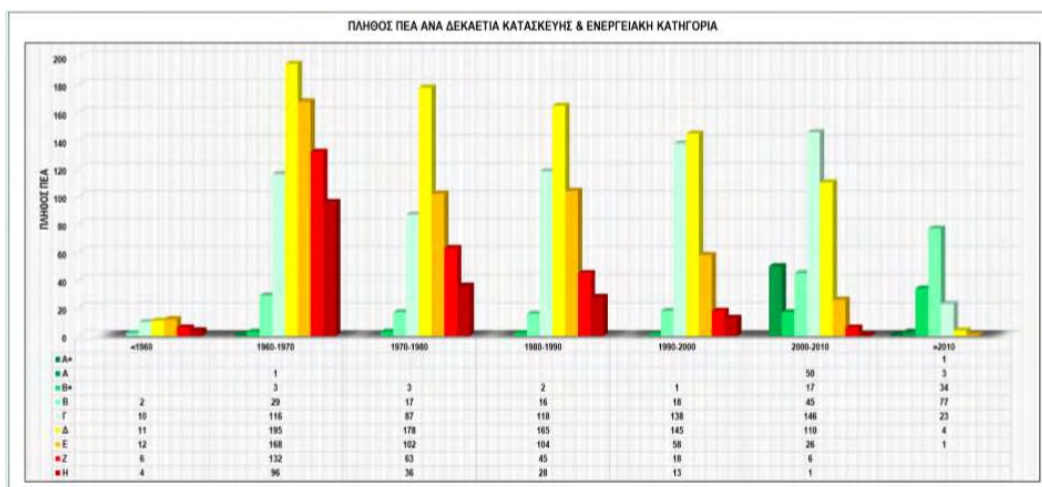
1.4 Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια του δημοσίου τομέα

Η εικόνα που έχουμε για την κατανάλωση ενέργειας στα δημόσια κτίρια προέρχεται όπως αναφέρθηκε νωρίτερα από τα Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης που έχουν υποβληθεί στο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

Μια αρκετά ενδιαφέρουσα ανάλυση του αποθεματικού των δημοσίων κτιρίων στην χώρα μας έχει ανέβει στην ιστοσελίδα του ΥΠΕΚΑ από την προϊσταμένη του Τμήματος Ενέργειας την κυρία Πετρολιάγκη, η οποία έχοντας στη διάθεσή της τα ενεργειακά πιστοποιητικά που έχουν υποβληθεί έχει συντάξει μια παρουσίαση πάνω σε αυτό το θέμα [9] το 2016.

Επιγραμματικά παραθέτουμε 3 χαρακτηριστικού πίνακες από την παρουσίαση, οι οποίοι συνοψίζουν την ενεργειακή κατάσταση των δημοσίων κτιρίων της χώρας, και διερευνούμε την ενεργειακή τους απόδοση με τρεις γνώμονες:

- Την ηλικία και το έτος κατασκευής του κτιρίου
- Την χρήση του κτιρίου
- Το είδος των καταναλώσεων του κτιρίου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑ ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, όσο παλαιότερης κατασκευής είναι το κτίριο, τόσο χαμηλότερη ενεργειακή αξιολόγηση έχει. Αναλυτικότερα προκύπτουν συμπεράσματα, όπως ότι όσο παλαιότερη η χρονολογία ανέγερσης του κτιρίου, τόσο χαμηλότερη η αξιολόγηση, οπότε και μεγαλύτερη η ανάγκη ενεργειακής αναβάθμισής του.

Εισαγωγή-Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια του δημοσίου τομέα

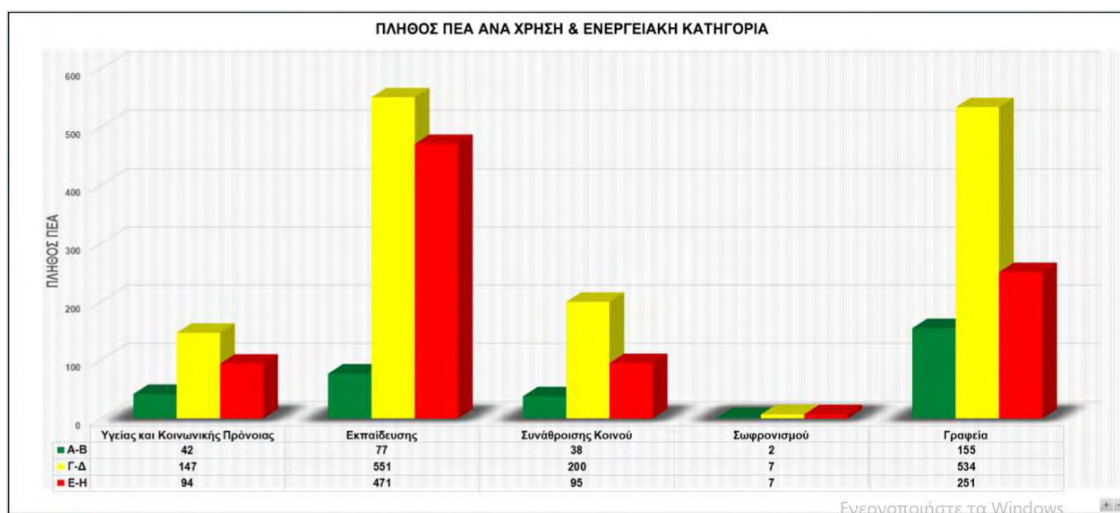
Σύμφωνα με τον αριθμό των πιστοποιητικών που έχουν υποβληθεί προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας:

Έτος κατασκευής Βαθμολόγηση	Παλαιότερα του 1960	Δεκαετία 1960- 1970	Δεκαετία 1970-1980	Δεκαετία 1980-1990	Δεκαετία 1990-2000	Δεκαετία 2000-2010	Νεώτερα του 2010
A+							1
A		1				50	3
B+		3	3	2	1	17	34
B	2	29	17	16	18	45	77
Γ	10	116	87	118	138	146	23
Δ	11	195	178	165	145	110	4
E	12	168	102	104	58	26	1
Z	6	132	63	45	18	6	
H	4	196	36	28	13	1	
	45	840	486	478	391	402	143

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

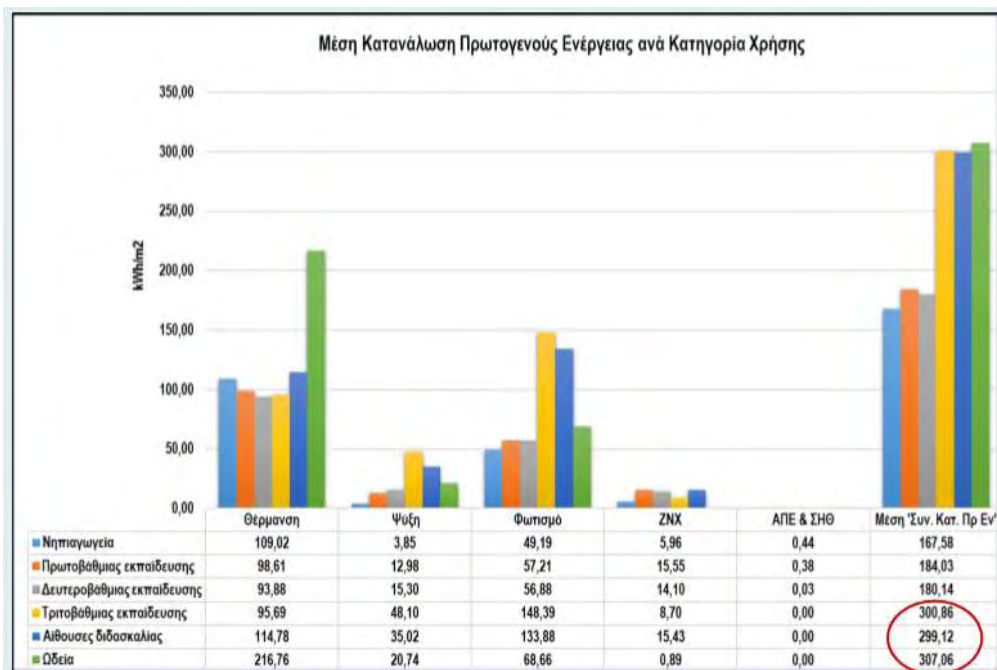
Όπως παρατηρούμε από τον παραπάνω πίνακα, η πλειονότητα του κτιριακού αποθέματος των κτιρίων κατά 78% είναι άνω των 20 ετών, γεγονός που αναδεικνύει την ανάγκη στοχευμένων επεμβάσεων όσο αφορά τον εξορθολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας

Αν θελήσουμε να ερευνήσουμε τις χρήσεις των δημοσίων κτιρίων και την ενεργειακή τους συμπεριφορά θα χρειαστεί να ανατρέξουμε στον παρακάτω πίνακα, όπου παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα αλόγιστης χρήσης ενέργειας παρατηρείται σε χώρους εκπαίδευσης και χώρους γραφείων.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗ

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει, για παράδειγμα στα κτίρια εκπαίδευσης, οι κατηγορίες ηλεκτρικών καταναλώσεων όπου εστιάζεται η ζήτηση ενέργειας. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας υπάρχει στους χώρους διδασκαλίας και τριτοβάθμιας εκπαίδευσης και προκαλείται από ζήτηση φωτισμού, θέρμανσης και σε λιγότερο βαθμό ψύξης.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΕΙΔΟΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Θα πρέπει να υπενθυμίσουμε σε αυτό το σημείο ότι τα ανωτέρα μεγέθη και τα παραπάνω συμπεράσματα προκύπτουν με βάση την ισχύ του εγκατεστημένου εξοπλισμού, και όχι με βάση τη χρήση αυτού σε πραγματικό χρόνο.

1.5 Βασικοί παράγοντες αναστολής της ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω στοιχεία, υπάρχει ένα πολύ μεγάλο απόθεμα δημοσίων κτιρίων που χρήσει ενεργειακής αναβάθμισης και επεμβάσεων. Παρά τους ευρωπαϊκούς στόχους όμως για την ενεργειακή αναβάθμιση του 3% των δημοσίων κτιρίων ανά έτος, παρατηρούμε ότι καθυστερούν οι δράσεις εκτέλεσης της ενεργειακής αναβάθμισης

Σύμφωνα με την μελέτη [10] που έχει εκπονήσει το Ευρωπαϊκό Κέντρο Εξειδίκευσης (European PPP Expertise Center) που λειτουργεί ως εξειδικευμένος σύμβουλος υπηρεσιών για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων, οι καθυστερήσεις εντοπίζεται ως εξής :

Τεχνικά προβλήματα Όπου ο χρήστης ή ο υπεύθυνος διαχείρισης του δημοσίου κτιρίου πρέπει να έχει το κατάλληλο υπόβαθρο για να κατανοήσει την τεχνολογία εξοικονόμησης ενέργειας και τη μεθοδολογία τεχνικής διαχείρισης του κτιρίου

Χρόνος απόσβεσης της προτεινόμενης επένδυσης Γενικά είναι δύσκολο να εκτιμήσει κάποιος σε τέτοιου είδους έργα τον χρόνο απόσβεσης της προτεινόμενης επένδυσης, καθώς απουσιάζουν οι μετρητικές διατάξεις που θα επέτρεπαν την σύγκριση της αρχικής κατανάλωσης ενέργειας, την

καταναλισκόμενη ενέργεια μετά τις ενεργειακές επεμβάσεις έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί η μεθοδολογία μέτρησης και επιβεβαίωσης ('M&V')-measurement and verification.

Αδυναμία εύρεσης πόρων χρηματοδότης της επένδυσης Οι περισσότεροι δημόσιοι οργανισμοί αντιμετωπίζουν προβλήματα στην εύρεση πόρων χρηματοδότησης και πολλές φορές ο ίδιος ο κρατικός μηχανισμός δεν μπορεί να διαχειριστεί το ύψος της δαπάνης, ή χρειάζεται να δώσει προτεραιότητα σε άλλες ανάγκες

Θέματα νομικής και διαχειριστικής αρμοδιότητας στη λήψη αποφάσεων Σε πολλές περιπτώσεις ένα δημόσιο κτίριο μπορεί να εντάσσεται σε διαφορετική δικαιοδοσία από της υπηρεσία που χρησιμοποιεί το κτίριο.

1.6 Εξοικονόμηση ενέργειας με κτιριακούς αυτοματισμούς

Η συμμετοχή των κτιριακών αυτοματισμών στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια και η εναρμόνισή με τον κανονισμό EPBD περιγράφεται από το πρότυπο EN15232 [11].

Αναλυτικά το πρότυπο περιγράφει τον τρόπο υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης με βάση τον κτιριακό και τεχνικό αυτοματισμό, λαμβάνοντας υπόψη του τον έλεγχο ψύξης/θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού, τον έλεγχο του φωτισμού και της προστασίας από τον ήλιο.

Η κατάταξη των κτιρίων (A, B, C, D) προκύπτει με βάσει τους παράγοντες BACS και TBM όπου το BACS αναφέρεται σαν Σύστημα Κτιριακού Αυτοματισμού και Ελέγχου (Building Automation and Control System) και το TBM αναφέρεται σαν Τεχνική Διαχείριση Κτιρίου (Technical Building Management).

Η λίστα των λειτουργιών ελέγχου στο κτίριο και η αξιολόγηση έχει ως εξής:

	Έλεγχος θέρμανσης/ψύξης	Έλεγχος αερισμού/ κλιματισμού	Φωτισμός	Ηλιοπροστασία
A	<ul style="list-style-type: none"> Μεμονωμένος έλεγχος δωματίου με επικοινωνία ανάμεσα στους ελεγκτές θερμοκρασίας Εσωτερικός έλεγχος της θερμοκρασίας του νερού διανομής Συνολική μανδάλωση ανάμεσα στον έλεγχο της θέρμανσης και της ψύξης 	<ul style="list-style-type: none"> Έλεγχος ροής του αέρα ανά δωμάτιο, όπου η ροή αέρα είναι ελεγχόμενη ανάλογα με την παρουσία ανθρώπου Μεταβαλλόμενο σημείο ρύθμισης με αντιστάθμιση της θερμοκρασίας του αέρα προσαγωγής ανάλογα το φορτίο Έλεγχος της υγρασίας ανά δωμάτιο ή ανά σημείο 	<ul style="list-style-type: none"> Αυτόματος έλεγχος λυκόφωτος (daylight control) Αυτόματος έλεγχος παρουσίας ατόμου στο χώρο με χειροκίνητη λειτουργία on/ αυτόματη off Αυτόματος έλεγχος παρουσίας ατόμου στο χώρο με αυτόματη λειτουργία on/αυτόματη off Αυτόματος έλεγχος 	<ul style="list-style-type: none"> Συνδυαστικός έλεγχος φωτισμού/ περσίδων/HVAC

		προσαγωγής ή απαγωγής αέρα	παρουσίας ατόμου στο χώρο με αυτόματη λειτουργία on/dimmed (όχι σβέση)	
B	<ul style="list-style-type: none"> Μεμονωμένος έλεγχος δωματίου με επικοινωνία ανάμεσα στους ελεγκτές θερμοκρασίας Εσωτερικός έλεγχος της θερμοκρασίας του νερού διανομής Μερική μανδάλωση ανάμεσα στον έλεγχο της θέρμανσης και της ψύξης (ανάλογα με το σύστημα HVAC) 	<ul style="list-style-type: none"> Έλεγχος ροής του αέρα ανά δωμάτιο, όπου ή ροή αέρα είναι ελεγχόμενη με χρονική ρύθμιση Μεταβαλλόμενο σημείο ρύθμισης με αντιστάθμιση της θερμοκρασίας του αέρα προσαγωγής ανάλογα το φορτίο Έλεγχος της υγρασίας ανά δωμάτιο ή ανά σημείο προσαγωγής ή απαγωγής αέρα 	<ul style="list-style-type: none"> Χειροκίνητος έλεγχος λυκόφωτος (daylight control) Αυτόματος έλεγχος παρουσίας ατόμου στο χώρο με χειροκίνητη λειτουργία on/ αυτόματη off Αυτόματος έλεγχος παρουσίας ατόμου στο χώρο με αυτόματη λειτουργία on/αυτόματη off Αυτόματος έλεγχος παρουσίας ατόμου στο χώρο με αυτόματη λειτουργία on/dimmed (όχι σβέση) 	<ul style="list-style-type: none"> Μηχανική (motorized) λειτουργία με αυτόματο έλεγχο περσίδων
C	<ul style="list-style-type: none"> Μεμονωμένος έλεγχος δωματίου με θερμοστατικές βαλβίδες ή ηλεκτρονικούς ελεγκτές Έλεγχος της θερμοκρασίας του νερού διανομής με αντιστάθμιση σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος 	<ul style="list-style-type: none"> Έλεγχος ροής του αέρα ανά δωμάτιο, όπου ή ροή αέρα είναι ελεγχόμενη με χρονική ρύθμιση Σταθερό σημείο ρύθμισης απόδοσης θερμοκρασίας Περιορισμός της υγρασίας στον αέρα προσαγωγής 	<ul style="list-style-type: none"> Χειροκίνητος έλεγχος λυκόφωτος (daylight control) Χειροκίνητος έλεγχος φωτισμού on/off με επιπρόσθετο σήμα κεντρικής σβέσης του φωτισμού (automatic sweeping signal) Χειροκίνητος έλεγχος on/off 	<ul style="list-style-type: none"> Μηχανική (motorized) λειτουργία με χειροκίνητο έλεγχο περσίδων

	<ul style="list-style-type: none"> Μερική μανδάλωση ανάμεσα στον έλεγχο της θέρμανσης και της ψύξης (ανάλογα με το σύστημα HVAC) 			
D	<ul style="list-style-type: none"> Κανένας αυτόματος έλεγχος Κανένας έλεγχος στη θερμοκρασία του νερού διανομής Καμία μανδάλωση στον έλεγχο θέρμανσης και ψύξης 	<ul style="list-style-type: none"> Κανένας έλεγχος στη ροή του αέρα σε επίπεδο δωματίου Κανένας έλεγχος της θερμοκρασίας του αέρα προσαγωγής Κανένας έλεγχος της υγρασίας του αέρα 	<ul style="list-style-type: none"> Χειροκίνητος έλεγχος λυκόφωτος (daylight control) Χειροκίνητος έλεγχος φωτισμού on/off με επιπρόσθετο σήμα κεντρικής σβέσης του φωτισμού (automatic sweeping signal) Χειροκίνητος έλεγχος on/off 	<ul style="list-style-type: none"> Χειροκίνητη λειτουργία περσίδων

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΤΑ EN15232

Το Τεχνικό Σύστημα Διαχείρισης (TBM) είναι ένα πλαίσιο διαχείρισης του κτιρίου που πρέπει να ικανοποιεί τις εξής συνθήκες:

Αύξηση της άνεσης και βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου Για παράδειγμα κάθε γραφείο πρέπει να είναι εξοπλισμένο με αυτόνομο έλεγχο του συστήματος θέρμανσης, δηλαδή ο χρήστης θα πρέπει να μπορεί μόνος του να ελέγχει (εντός ορίων) τη θερμοκρασία του χώρου

Καλύτερη διαχείριση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου με διαλειτουργικότητα και αλληλεπίδραση των ξεχωριστών συστημάτων. Για παράδειγμα η διασύνδεση του συστήματος access control με τον έλεγχο της θέρμανσης/ψύξης και φωτισμού στο χώρο, επιτρέπει τη λειτουργία αυτών των συστημάτων μόνο όταν υπάρχει αυτόματη ανίχνευση του χρήστη, ενώ σε περίπτωση απουσίας αυτού, τα φώτα σβήνουν ή μειώνεται η στάθμη τους, ενώ η θερμοκρασία πέφτει στο ελάχιστο επίπεδο συντήρησης άνεσης.

Άμεση καταγραφή σε πραγματικό χρόνο των τεχνικών δεδομένων του κτιρίου, όπως κατανάλωση ρεύματος, κατανάλωση νερού και φυσικού αερίου, ώρες λειτουργίες ψύξης και θέρμανσης, ώρες λειτουργίας των μηχανημάτων. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να σχεδιαστούν με αποδοτικότερο τρόπο οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας και πόρων.

Καταγραφή σε χρόνο 24 ώρες την ημέρα και 7 μέρες την εβδομάδα, όπου μπορεί να γίνει άμεση τηλεειδοποίηση αστοχιών και δυσλειτουργιών στο κτίριο, πριν προλάβουν πολλές φορές να το αντιληφθούν οι ίδιοι οι χρήστες, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο σε βελτιωμένη άνεση και εύρυθμη λειτουργία.

Διενέργεια διαγνωστικών ελέγχων και κατ' επέκταση ευκολότερη διεξαγωγή προληπτικής συντήρησης.

Οι κύριοι στόχοι ενός Τεχνικού Συστήματος Διαχείρισης Κτιρίου είναι η μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, μικρότερη μόλυνση του περιβάλλοντος και λιγότερη κατανάλωση οικονομικών και φυσικών πόρων διατηρώντας τις ίδιες συνθήκες άνεσης.

1.7 Διαχείριση Ζήτησης της Ενέργειας (Demand Side Management -DSM)

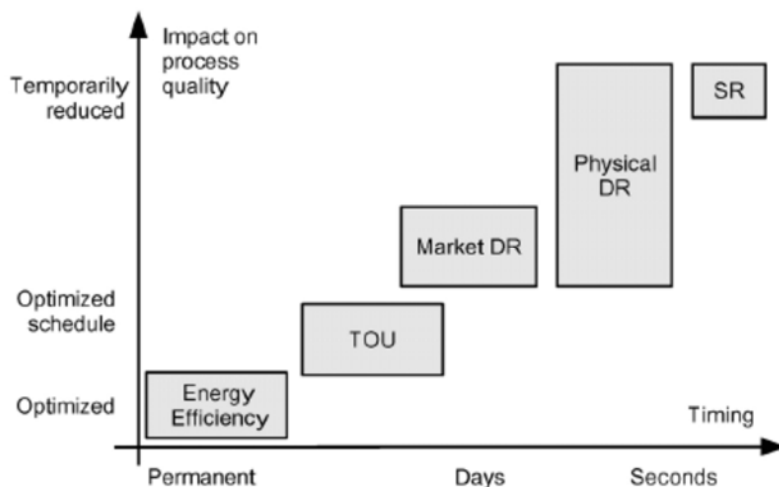
Ένα Τεχνικό Σύστημα Διαχείρισης Κτιρίου (TBM) συνεισφέρει άμεσα και αποτελεσματικά στη Διαχείριση Ζήτησης της Ενέργειας σε ένα Κτίριο.

Η έννοια της Διαχείρισης Ζήτησης της Ενέργειας παρουσιάστηκε κατά τις ενεργειακές κρίσεις των ετών 1973 και 1979 και αναφέρεται στην παροχή δυνατότητας στον τελικό χρήστη ενός κτιρίου να μεταβάλλει το ποσό της ενέργειας που ζητάει από τον πάροχο του δικτύου του, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η σταθερότητα του δικτύου μεταφοράς ενέργειας [12].

Με την τρέχουσα ενεργειακή κρίση, τις προσπάθειες μείωσης της κατανάλωσης και την στροφή προς την παραγωγή ενέργειας από πράσινες πηγές, επανέρχεται στο προσκήνιο η ανάγκη Διαχείρισης της Ζήτησης Ενέργειας [4].

Οι Κατακεμημένες Πηγές Ενέργειας (Distributed Energy Resources-DER) αναφέρονται σε όλα τα κτίρια που περιλαμβάνουν πηγές ενέργειας όπως συστοιχίες φωτοβολταϊκών, συστήματα αποθήκευσης ενέργειας κλπ [13].

Η Διαχείριση Ζήτησης Ενέργειας – DSM (ανάλογα με το αποτέλεσμα των ενεργειών και το χρονισμό των μέτρων που λαμβάνονται), μπορεί να κατηγοριοποιηθούν όπως φαίνονται και από την παρακάτω εικόνα ως εξής [14] :



ΕΙΚΟΝΑ 1:ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΟΥ DSM

- **Εξοικονόμηση Ενέργειας (Energy Efficiency - EE)** με δράσεις όπως η τα έξυπνα κτίρια.
- **Χρόνος Χρήσης (Time of Use TOUS)** με χρονική μετατόπιση του χρόνου χρήσης των καταναλώσεων, έτσι ώστε να αποφεύγονται οι ώρες αιχμής.
- **Διαχείριση Ζήτησης Απόκρισης (Demand – Response -DR)** η οποία στην παραπάνω εικόνα διαχωρίζεται σε Market DR και Physical DR

- **Αποθεματικό Περιστροφής (Spinning Reserve -SR)** το οποίο αναφέρεται σαν έλεγχο στο πρωτεύον (η έξοδος της πραγματικής ισχύος εξαρτάται άμεσα από την συχνότητα) και ο έλεγχος στο δευτερεύον (η αποκατάσταση της συχνότητας και της κατάστασης του δικτύου με επιπρόσθετη πραγματική ισχύ). Συνήθως αυτό το είδος ελέγχου ασκείται από τις αρχές διαχείρισης (πάροχο) του δικτύου. Το φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί ως «εικονικό» (ή αρνητικό) αποθεματικό περιστροφής, εφόσον γίνει συσχέτισμός της κατανάλωσης ενέργειας με την κατάσταση του δικτύου σε έναν έλεγχο «στατισμού» (droop control) ή άλλο ευφυή τρόπο.

Οι εσωτερικοί έλεγχοι που εκτελούνται από **το Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (DSM)** βρίσκουν καταρχήν εφαρμογή σε ένα ευφυές κτίριο, του οποίου οι λειτουργίες μπορούν να ελεγχθούν ηλεκτρικά. Από αυτή την άποψη οι έλεγχοι που διεξάγονται από τον εσωτερικό ελεγκτή αφορούν το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, την στρατηγική έλεγχου και την αρχιτεκτονική.

- **Το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων**, ανάλογα με τα δεδομένα που του παρέχονται, μπορεί να λειτουργήσει με βάση μιας σειράς παραδοχών που αφορούν το παρελθόν (ερμηνεία γνωστικής βάσης από τα ιστορικά δεδομένα, αναγνώριση μοτίβων με βάση πάλι τα ιστορικά δεδομένα), το παρόν(προσαρμογή online, με βάση δεδομένα πραγματικού χρόνου) και το μέλλον (με προγνωστικό έλεγχο)
- **Η Στρατηγική Ελέγχου** όπου ο ελεγκτής μπορεί να είναι αρκετά ευέλικτος, ώστε να αλλάζει την στρατηγική του κατά την ώρα λειτουργίας. Η στρατηγική έλεγχου μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως στατική, ευέλικτη ή επαναπρογραμματιζόμενη.
- **Διαχείριση αστοχιών**, όπου η ικανότητα γρήγορης επαναφοράς ενός συστήματος ελέγχου έτσι ώστε αυτό να συνεχίζει να είναι λειτουργικό με ασφαλή λειτουργία, παρά οποιαδήποτε παρεμβολή ή σφάλμα. Η διαχείριση των αστοχιών γίνεται με ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων (mask failures), έτσι ώστε αυτά να μην θέτουν σε κίνδυνο την ασφαλή λειτουργία του συστήματος, ή την ανοχή στις βλάβες, όπου ο ελεγκτής συνεχίζει να λειτουργεί, ακόμα και αν έχει αστοχήσει τμήμα του εσωτερικού ή εξωτερικού συστήματος.

Η εσωτερική Αρχιτεκτονική ενός ελεγκτή που διαχειρίζεται ένα Σύστημα Κατανεμημένης Ενέργειας μπορεί να είναι Επικεντρωμένη, Αποκεντρωμένη, Κατανεμημένη ή Ιεραρχημένη.

- **Στην Επικεντρωμένη Αρχιτεκτονική**, ο κεντρικός ελεγκτής έχει μια συνολική εικόνα του συστήματος και λαμβάνει αποφάσεις για την λειτουργία των μεμονωμένων ομάδων.
- **Στην Αποκεντρωμένη Αρχιτεκτονική**, η εργασία του ελέγχου αφαιρείται από τον κεντρικό ελεγκτή, κατανέμεται σε υποεργασίες και ανατίθεται σε διάφορα υποσυστήματα, τα οποία δεν έχουν καμία διασύνδεση μεταξύ τους και λειτουργούν αυτόνομα.
- **Στην Κατανεμημένη Αρχιτεκτονική** τα υποσυστήματα λαμβάνουν τοπικές αποφάσεις για τη λειτουργία τους με βάση δεδομένα που λαμβάνουν από άλλα υποσυστήματα.
- **Στην Ιεραρχημένη Αρχιτεκτονική** ένα σύστημα έχει διαφορετικά και πλήρως διακεκριμένα επίπεδα αφαίρεσης πολυπλοκότητας. Στα υψηλότερα επίπεδα, υπάρχουν γενικές πληροφορίες του συστήματος, ενώ στα χαμηλότερα εμφανίζονται τα πλήρως λεπτομερή χαρακτηριστικά του συστήματος.

1.8 Διαχείριση Ζήτησης - Απόκρισης (DR) & Αυτοματοποιημένη Διαχείριση Ζήτησης Ενέργειας (ADR)

Ειδική κατηγορία **DSM** είναι οι **μηχανισμοί διαχείρισης Ζήτησης-Απόκρισης (Demand-Response)** [15]. Το DR ορίζεται σαν η αλλαγή του προφίλ ενεργειακής κατανάλωσης του χρήστη, σε σχέση με την συνήθη του συμπεριφορά.

Η αλλαγή του προφίλ κατανάλωσης ενέργειας στο μηχανισμό **Διαχείρισης Ζήτησης-Απόκρισης** βασίζεται σε σήματα ή ενέργειες του παρόχου ενέργειας, είτε με βάση την οικονομικά αποτρεπτική τιμολογιακή πολιτική (**price-based**), είτε με βάση την παροχή κινήτρων (**incentive - based**).

Ενδεικτικά προγράμματα ελέγχου της **Διαχείρισης Ζήτησης – Απόκρισης (DR)** με βάση την **τιμολογιακή πολιτική** θα μπορούσαν να είναι:

- Έλεγχος Ανάλογα με την Ώρα Χρήσης -**Time Of Use pricing (TOU)** όπου σε προκαθορισμένες χρονικές περιόδους η τιμή μονάδας αυξάνεται κατά 100% (πχ σε ώρες αιχμής του δικτύου), σε σχέση με την κανονική τιμή χρέωσης.
- Έλεγχος σύμφωνα με τις Κρίσιμες Αιχμές του Δικτύου - **Critical Peak Pricing (CPP)** όπου η τιμή χρέωσης στις ώρες κρίσιμων αιχμών αυξάνεται από τον πάροχο κατά προκαθορισμένο ποσοστό (πχ 500%). Ο πάροχος ενημερώνει τον τελικό χρήστη 24 ώρες νωρίτερα.
- Χρέωση Πραγματικού Χρόνου – **Real Time Pricing (RTP)** όπου η τιμή χρέωσης καθορίζεται δυναμικά από τον πάροχο σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στα πραγματικά κοστολόγια παραγωγής της ενέργειας. Για να εξασφαλιστεί η ελαχιστοποίηση της αβεβαιότητας, η τιμή χρέωσης για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο γνωστοποιείται μια μέρα νωρίτερα και καθορίζεται από τα ιστορικά δεδομένα και τα δεδομένα που έχουν δημοσιοποιηθεί.

Ο μηχανισμός **Διαχείρισης Ζήτησης – Απόκρισης (DR)** με πολιτική **βάσει κινήτρων (incentive based)** παρέχει στους τελικούς καταναλωτές ανταμοιβές για την συμμετοχή τους σε αυτά τα προγράμματα. Ενδεικτικά παραδείγματα θα μπορούσαν να είναι:

- **Άμεσος Έλεγχος Φορτίου – Direct Load Control (DLC)**, όπου ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί απομακρυσμένα να θέσει εκτός κάποιες ενεργοβόρες καταναλώσεις, όπως τα κλιματιστικά και οι θερμαντήρες νερού, ή να προσαρμόσει τη λειτουργία τους, έτσι ώστε καταναλώνουν λιγότερο. Οι καταναλωτές λαμβάνουν εκπτώσεις, ή χρηματικό αντάλλαγμα για τη συμμετοχή τους σε τέτοια προγράμματα.
- **Προγράμματα Περικοπής Φορτίων – Load Curtailment Programs (LCP)**, όπου οι συμμετέχοντες χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας, συμφωνούν να μειώσουν την κατανάλωσή ενέργειας σε προκαθορισμένες τιμές τις ώρες αιχμής του δικτύου μεταφοράς, με αντάλλαγμα εκπτώσεις ή πιστώσεις στο λογαριασμό τους. Σε περίπτωση όμως αποτυχίας επίτευξης του προκαθορισμένου στόχου μπορεί να αντιμετωπίσουν ρήτρα ποινών ανάλογα με την συμφωνία που έχει υπογραφεί.
- **Υποβολή Προσφορών Ζήτησης - Demand Side Bidding (DSB)**, όπου αυτά τα προγράμματα έχουν οριστεί μία ημέρα πριν, και παρακινούν τους τελικούς πελάτες να υποβάλλουν προσφορές για την μείωση του ενεργειακού τους φορτίου. Η τιμή μπορεί να είναι τμήμα της υποβληθείσας προσφοράς, ή να καθορίζεται από τον πάροχο σύμφωνα με την τιμή πώλησης της χονδρικής. Οι συμμετέχοντες στο πρόγραμμα που υποβάλλουν προσφορές πρέπει είτε να επιτύχουν πραγματική μείωση της κατανάλωσης, είτε να αποδεχθούν ρήτρα ποινής.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η **Αυτόματη Διαχείριση Ζήτησης-Απόκρισης (Automated Demand-Response - ADR)**, όπου αυτοματοποιείται η διαδικασία **Ζήτησης – Απόκρισης** στα σήματα DR που προέρχονται από τον πάροχο με τη βοήθεια ηλεκτρικών συστημάτων ελέγχου [16].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση [17] έχει επιλέξει μια σειρά προτύπων επικοινωνίας από τους τομείς ηλεκτρικών εγκαταστάσεων (utilities), τηλεπικοινωνιών και των οικιακών συσκευών (home appliances), σαν βάση εργασίας για την εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφορετικών τομέων και των διαφορετικών κατασκευαστών, έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες για Automated Demand Response και Demand Side Flexibility.

- CEN 16836 (Zigbee SEP2)
- CENELEC EN 50491-11 Smart Metering
- CENELEC EN 50631-1 (SPINE)
- ETSI TS 103 264 (SAREF)
- ETSI TS 103 410-1 (SAREF4ENER)
- IEC 61968-9 CIM for metering
- IEC 61970 CIM Digital Single Market
- IEC/CENELEC 62056 COSEM
- CENELEC EN 50090 (KNX-System Mode)
- oneM2M TS 0012 Base Ontology

Για την εναρμόνιση των διαφορετικών πρωτοκόλλων χρησιμοποιούνται οι οντολογίες SAREF και SAREF4ENER [18].

1.9 Αντικείμενο και στόχοι της παρούσας εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκπόνηση πρότασης για την αντιμετώπιση της σπατάλης ενέργειας στα ενεργοβόρα δημόσια κτίρια.

Η πρόταση που συντάσσουμε καλείται να απαντήσει στις προκλήσεις που παρουσιάζει η εφαρμογή αυτοματισμών εξοικονόμησης ενέργειας σε αυτή την κατηγορία κτιριακού αποθέματος, όπως:

- Απρόσκοπτη συνέχιση της λειτουργίας του κτιρίου, το οποίο σημαίνει ότι δεν μπορούν να εκτελεστούν δομικές παρεμβάσεις στο κτίριο
- Ανομοιογένεια συστημάτων που δεν συνεργάζονται μεταξύ τους
- Προσθήκη δυναμικών και ασταθών φορτίων, όπως οι συστοιχίες φωτοβολταϊκών και σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

Με γνώμονα τους παραπάνω παράγοντες προβληματισμού, δημιουργούμε εφαρμογή συλλογής δεδομένων από ασύρματους κόμβους διαφορετικών πρωτοκόλλων. Διαπραγματευόμαστε μια σειρά γνωστών, στον κτιριακό αυτοματισμό, προτύπων ασύρματης επικοινωνίας, τα οποία επιτρέπουν γρήγορη τοποθέτηση χωρίς επεμβάσεις στο κτίριο, εξασφαλίζοντας τη συνέχιση της λειτουργίας του.

Ενσωματώνουμε διαφορετικά ασύρματα πρότυπα μεταξύ τους, έτσι ώστε να ξεπεράσουμε το πρόβλημα ανομοιογένειας που συναντούμε στα περισσότερα κτίρια, και να εξασφαλίσουμε το μέγιστο δυνατό εύρος λειτουργιών και εφαρμογών και απαιτήσεων.

Όπως αναφέραμε και στην αντίστοιχη ενότητα, οι κυριότερες εστίες σπατάλης της ηλεκτρικής ενέργειας στα δημόσια κτίρια, εντοπίζονται στην αλόγιστη χρήση θέρμανσης και φωτισμού, οπότε εστιάζουμε την εργασία μας στην εξορθολογισμένη χρήση αυτών των καταναλώσεων. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιούμε κατάλληλα αισθητήρια θερμοκρασίας, φωτεινότητας, ανίχνευσης κίνησης, και ενεργοποιητές, και επιχειρούμε να προτείνουμε τρόπους ενεργειακά ορθής χρήσης αυτών.

Η μέχρι τώρα θεώρηση της λειτουργίας του κτιρίου αφορούσε μια στατική οντότητα, η οποία ήταν ορισμένη και καθορισμένη μόνο από το στενό χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του, όσον αφορά τον έλεγχο και τον τρόπο λειτουργίας του. Με την εργασία μας σκοπεύουμε να αποδείξουμε ότι το κτίριο είναι δυναμική οντότητα και η λειτουργία του προσαρμόζεται ανάλογα με τις συνθήκες, την τοποθέτηση και τις ανάγκες του χρήστη.

Βασική παράμετρος στην εργασία μας είναι η δημιουργία διεπαφής χρήστη για την εμφάνιση των δεδομένων των μετρούμενων μεγεθών και της κατάστασης των ενεργοποιητών, το οποίο θα λειτουργήσει σαν Τεχνικό Σύστημα Διαχείρισης Κτιρίου (Technical Building Management) [19], και θα εμφανίζει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, καθώς και τη μεταβολή τους ως προς το χρόνο. Στο Τεχνικό Σύστημα Διαχείρισης του Κτιρίου μπορούν να ενσωματωθούν και ανοιχτά εξωτερικά δεδομένα, όπως τα μετεωρολογικά δεδομένα πρόβλεψης καιρού openweathermap. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης του κτιρίου αποκτά συνολική εικόνα και των εσωτερικών αλλά και των εξωτερικών συνθηκών στο κτίριο.

Τα δεδομένα των αισθητήρων, και οι λειτουργίες των ενεργοποιητών θα καταγράφονται σε βάση χρονικής σειράς με σκοπό να μπορούν να τύχουν κατάλληλης επεξεργασίας και αξιολόγησης. Η αξιολόγηση των δεδομένων που λαμβάνεται από την πειραματική μας εφαρμογή θα χρησιμεύει για την σύνθεση μιας συνολικής εικόνας όσον αφορά την λειτουργία του κτιρίου, τις τρέχουσες συνθήκες λειτουργίας και κατανάλωσης της ενέργειας. Θα δημιουργηθούν queries για να ληφθούν metrics και analytics για την κατανάλωση της ενέργειας, τις συνθήκες άνεσης του κτιρίου και τη συμπεριφορά των χρηστών.

Τέλος με βάση την ανάλυση των δεδομένων που έχουν ληφθεί, θα γίνει άμεσος έλεγχος φορτίου (Direct Load Control) σε συνάρτηση με την παρουσία του χρήστη και σε συνάρτηση με την εξωτερική θερμοκρασία.

2 Συναφείς Ερευνητικές Εργασίες και Δράσεις

2.1 Η συμβολή του IoT στην εξοικονόμηση ενέργειας

Ο κτιριακός αυτοματισμός στα κτίρια χρησιμοποιείται τουλάχιστον τα τελευταία 30 χρόνια, επιτρέποντας τον έλεγχο φωτισμού, ηλεκτρικών ρολών, κλιματισμού και συστημάτων ασφαλείας, είτε με τοπικό έλεγχο από προκαθορισμένα σημεία, είτε με κεντρικό έλεγχο από κάποια οθόνη φύλακα είτε υπεύθυνου συντήρησης.

Οι μεταβαλλόμενες ανάγκες των κτιρίων και των ανθρώπων που κατοικούν σε αυτά είναι διαρκώς εξελισσόμενες, και από πλευράς λειτουργικότητας και από πλευράς άνεσης. Η λειτουργία του κτιρίου έχει ενισχυθεί με νέες ανάγκες λειτουργικότητας όπως αναφέρθηκε και παραπάνω και αναφέρουμε χαρακτηριστικά την ανάγκη διαχείρισης των Συστημάτων Καταναεμένης Ενέργειας (Distributed Energy Systems) όπως για παράδειγμα της Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές ή και η σήμανση πλήρους φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

Για αυτό το λόγο υπάρχει ανάγκη εξέλιξης των υφιστάμενων συστημάτων BMS έτσι ώστε να υποστηρίζουν μηχανισμούς και λειτουργικότητα IoT [20]. Αν θέλουμε να κάνουμε μια σύγκριση στα υφιστάμενα συστήματα BMS και συστήματα BMS που υποστηρίζουν IoT παρατηρούμε τα εξής:

Χαρακτηριστικά	Υφιστάμενα BMS	BMS επόμενης γενιάς με λειτουργικότητα IoT
Σκοπός	Σύστημα (υπηρεσία) συγκεκριμένη για να εξυπηρετήσει ανάγκες συγκεκριμένων κτιρίων	Υποστηρίζει πλήρως ενσωματωμένες λειτουργίες πολλαπλών συστημάτων και πολλαπλών υπηρεσιών (διαχείριση ενέργειας, ασφάλειας και alarms)
Λειτουργία	Βασικές και προκαθορισμένες (σταθερές)	Στρατηγικά μεταβαλλόμενες ανάλογα με τις ανάγκες
Αισθητήρες	Χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένες λειτουργίες	Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για έλεγχο πληρότητας, αναγνώριση προσώπου, μέτρηση CO ₂ , υγρασία, θερμοκρασία και πολυλειτουργικούς αισθητήρες
Πρωτόκολλα	Πληθώρα πρωτοκόλλων	Πρωτόκολλα IP/βασιζόμενα σε IoT
Πρόσβαση	Κλειστή, τοπική	Ανοιχτή/ απομακρυσμένη (π.χ. μέσω εφαρμογής)
Ασφάλεια	Βασική	Εξελιγμένη
Αρχιτεκτονική	Κλειστή, μεμονωμένη	Ανοιχτή, μέσω δικτύου
Analytics	Αυτόνομη, περιορισμένα λειτουργικά analytics	Βασιζόμενα σε cloud, δεδομένα από πολλαπλές πηγές
Αποτελεσματικότητα ελέγχου	Βασική λειτουργικότητα	Πιο εκτεταμένη

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ BMS ΜΕ IoT ENABLED BMS

Στα Συστήματα Διαχείρισης Κτιρίου (BMS) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλο το κτίριο αισθητήρες IoT για έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών και δημιουργία analytics για την διαχείριση των πόρων του. Παρέχεται η δυνατότητα μέτρησης της κατανάλωσης της ενέργειας, πρόβλεψης ζήτησης της ενέργειας και ορισμού ενεργειών εξοικονόμησής της με βάση ορισμένες παραμέτρους και συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (για παράδειγμα χρονοπρογραμματισμός). Με αυτό τον τρόπο γίνεται καλύτερη διαχείριση του κτιρίου και μειώνονται τα λειτουργικά του κόστη. Παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας reports και metrics (μηνιαία ενεργειακή κατανάλωση κλπ),

δημιουργία πρόβλεψης των αναγκών ζήτησης για την λειτουργία και δημιουργία στόχων κατανάλωσης (πχ. για να επιτευχθούν οι στόχοι του LEED).

Στα Συστήματα Ελέγχου HVAC (κλιματισμός, θέρμανση, αερισμός) επεκτείνεται η δυνατότητα ελέγχου και διαχείρισης χρησιμοποιώντας τριτογενή κριτήρια, όπως η παρουσία και ο αριθμός των ανθρώπων ανά χώρο του κτιρίου, η εποχή του χρόνου που ζητείται ο κλιματισμός, οι εξωτερικές συνθήκες κ.λ.π. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει καλύτερη διαχείριση των αιχμών της ζήτησης και πρόβλεψη των αναγκών της.

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια ή στα εργοστάσια έχει σαν σημείο έναρξης την πληροφόρηση και τη λήψη στοιχείων για τις καταναλώσεις και τις διεργασίες που εκτελούνται (energy audit). Κάθε κτίριο έχει κρυμμένα σημεία όπου καταναλώνεται υπερβολική ενέργεια, μέσα από κακή ρύθμιση, αστοχία υλικού ή κακή χρήση. Τέτοια προβλήματα συνήθως παραβλέπονται, εκτός και αν υπάρχει κάποιο εργαλείο που να αναλύει την απόδοση της ενέργειας. Συνήθως ένα τέτοιο εργαλείο αποτελείται από τα εξής τμήματα [14]:

- Υποδομή λήψης δεδομένων από τις ηλεκτρικές καταναλώσεις (data acquisition) δηλαδή δίκτυα των αισθητήρων, καταγραφικά δεδομένων, gateways κλπ).

- Ένα διακομιστή εφαρμογής με την κατάλληλη βάση δεδομένων, τους αλγόριθμους υπολογισμών και ανάλυσης, τα alarms και τα reports..

- Τις διεπαφές χρήστη για οπτικοποίηση και ρύθμιση.

Οι κλασσικοί υπολογισμοί που εκτελούνται είναι οι εξής:

- **Σύγκριση μέσης τιμής φορτίου (baseline load) έναντι αιχμής φορτίου (peak load)** Για παράδειγμα μια υψηλή μέση τιμή φορτίου θα μπορούσε να προέρχεται από συσκευές που είναι σε standby ή παλιό (χαμηλής ενεργειακής κλάσης εξοπλισμό ή με κακή μόνωση).

- **Χρονικές σειρές με εβδομαδιαία σύγκριση:** Για παράδειγμα πολλές φορές ο φωτισμός ή ο εξαερισμός λειτουργεί κατά τη διάρκεια της νύχτας μέσα στα Σαββατοκύριακα.

- **Benchmarks:** Για παράδειγμα μπορεί να γίνει σύγκριση της απόδοσης της ενέργειας σε παρεμφερείς χώρους, όπως σε παρόμοια γραφεία ή σε παρόμοιους ορόφους.

- **Συσχετισμοί διεργασιών:** Για παράδειγμα αν συσχετίζεται η κατανάλωση ενέργειας με την απόδοση των φωτοβολταϊκών ή αν συσχετίζεται η λειτουργία της θέρμανσης με την εξωτερική θερμοκρασία.

2.2 Δράσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα ευφυή κτίρια

2.2.1 Το Ερευνητικό Πρόγραμμα Horizon 2020

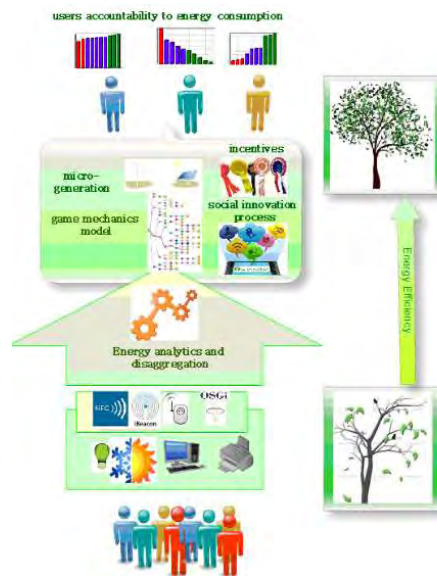
Το Πρόγραμμα Horizon 2020 [21] είναι το μεγαλύτερο χρηματοδοτικό πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με τομείς εφαρμογής από τις αγροτικές καλλιέργειες, μέχρι την ιατρική και την ασφάλεια. Στον τομέα της έρευνας στην ενέργεια η Ευρωπαϊκή Ένωση επικεντρώνεται στην ενσωμάτωση του ICT σε διάφορες μορφές διαχείρισης ενέργειας όπως αποθήκευση ενέργειας, τα έξυπνα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας και η εξοικονόμηση ενέργειας.

Στα πλαίσια του προγράμματος Horizon 2020 χρηματοδοτείται μια σειρά ερευνητικών δράσεων για την εξοικονόμηση ενέργειας σε υφιστάμενα κτίρια μέσω ανακαίνισης (retrofit).

2.2.1.1 Το πλαίσιο λογισμικού ChArGED

Το έργο ChArGED (CleAnweb Gamified Energy Disaggregation) εκτελέστηκε στα πλαίσια του Η2020 με χρόνο υλοποίησης από το 2016-2019, υπό την εποπτεία του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών . Διαπραγματεύεται την κατανάλωση ενέργειας στα δημόσια κτίρια και προτείνει ένα πλαίσιο λογισμικού που σκοπεύει στην μείωση της ενεργειακής σπατάλης από άσκοπη χρήση. Το πλαίσιο του λογισμικού εκμεταλλεύεται συσκευές χαμηλού κόστους (NFC ή και i-Beacon), IoT-enabled για την βελτίωση των μηχανισμών κατανομής ενεργειακών δαπανών σε επίπεδο συσκευής, περιοχής και τελικού χρήστη, έτσι ώστε να συλλεχθούν οι απαραίτητες πληροφορίες και να εξαχθούν τα απαραίτητα συμπεράσματα ευκαιριών εξοικονόμησης ενέργειας [22].

Οι δυνατότητες αποτροπής της σπατάλης ενέργειας εντοπίζονται από μία εφαρμογή κινητού με προσέγγιση παιχνιδιού, η οποία παρέχει στους τελικούς χρήστες προσωποποιημένες προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Η σχεδίαση αυτού του παιχνιδιού εφαρμόζει την προσέγγιση cleanweb και εφαρμόζει μια καινοτόμα κοινωνική διαδικασία που βασίζεται στους ανθρώπινους παράγοντες παρακίνησης και βοηθά τους χρήστες να κατανοήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συνηθειών τους και να υιοθετήσουν μία συμπεριφορά οικολογική, πιο συνεπή και πιο φιλική ως προς το περιβάλλον. Η αποδοτική (πράσινη) χρήση της ενέργειας μπορεί να γίνει προβλέψιμη και αυτή η δυνατότητα χρησιμοποιείται από την εφαρμογή παιχνιδιού ChArGED για να την αξιοποίηση της μικροπαραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά.



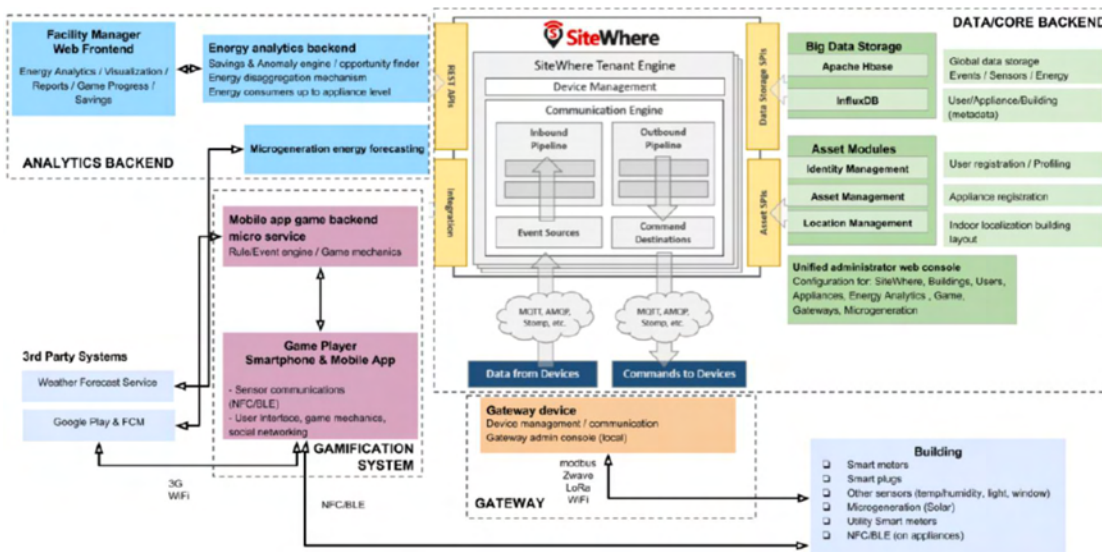
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ CHARGED

2.2.1.1.1 Συνοπτικό Διάγραμμα Αρχιτεκτονικής

Η λογική αρχιτεκτονική του συστήματος, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα αποτελείται από 4 ομάδες:

- Την ομάδα Data/Core Backend που είναι υπεύθυνη για να παρέχει ένα περιβάλλον στο οποίο αποθηκεύονται τα δεδομένα, τα assets, και οι χρήστες. Εκεί γίνεται επίσης και η διαχείρισή τους. Τα τμήματα του backend παρέχουν την υποδομή λογισμικού πάνω στην οποία έχει δημιουργηθεί και η εφαρμογή του παιχνιδιού.
- Η ομάδα του Gateway είναι υπεύθυνη για την ενσωμάτωση (integration) της χρήσης της ενέργειας και την των περιβαλλοντικών δεδομένων στο σύστημα Backend, έτσι ώστε να οριστούν οι μεταβολές της ενέργειας εντός κτιρίου.

- Το Backend τμήμα των Ενεργειακών Analytics είναι υπεύθυνο για την παροχή πληροφοριών που επιτρέπουν στην εφαρμογή του παιχνιδιού να παρέχει προσωποποιημένη και στοχευμένη πληροφορία και παρακίνηση στους τελικούς χρήστες.
- Το σύστημα παιχνιδιοποίησης είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των δεδομένων πεδίου και τις πληροφορίες που προέρχονται από αυτά τα δεδομένα για την λήψη αποφάσεων ως προς την εξέλιξη το παιχνιδιού για κάθε χρήστη, π.χ. το επόμενο βήμα για επιπρόσθετη εξοικονόμηση ενέργειας. Σε αυτή την ομάδα επίσης ανήκει και η εφαρμογή κινητού, με την οποία αλληλοεπιδρούν οι τελικοί χρήστες και λειτουργεί σαν διεπαφή ανάμεσα στον χρήστη και στο σύστημα. Ενημερώνει τον χρήστη για την κατάσταση το παιχνιδιού και παρέχει πληροφορίες στο σύστημα για την συμπεριφορά του χρήστη ως προς την ολοκλήρωση των προκλήσεων που έχει αναλάβει ως προς την εξοικονόμηση ενέργειας.



ΕΙΚΟΝΑ 3: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ CHARGED

Η αρχιτεκτονική επίσης περιλαμβάνει ένα εξωτερικό σύστημα που χρησιμοποιείται για την δημιουργία πρόβλεψης παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά με βάση τις μετεωρολογικές προβλέψεις και ιστορικά μετεωρολογικά στοιχεία για τη δεδομένη γεωγραφική τοποθεσία. Υποβοηθά τη μείωση της καθημερινής ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου, παρακινώντας τους συμμετέχοντες στο παιχνίδι να μετατοπίσουν χρονικά την λειτουργία ανελαστικών καταναλώσεων, σε ώρες που το ενεργειακό ισοζύγιο είναι πλεονάζον (μικροπαραγωγή φωτοβολταϊκού πλέον της κατανάλωσης) και δεν παρέχεται αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

2.2.1.1.2 Το σύστημα Backend Data/Core

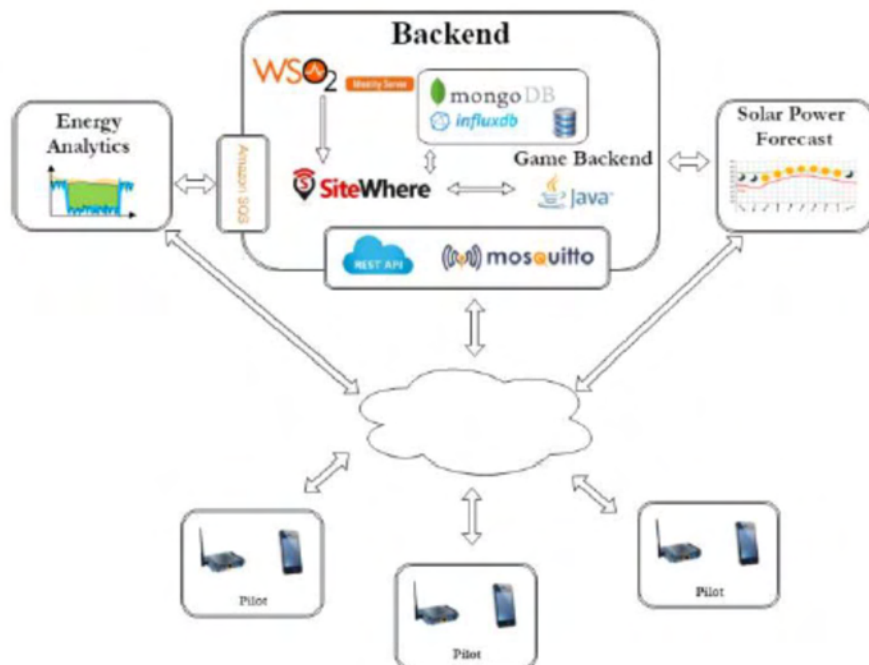
Τα τμήματα και η υποδομή του συστήματος Data/Core Backend επιτρέπουν στο σύνολο της πλατφόρμας να λειτουργεί σύμφωνα με τις προκλήσεις του παιχνιδιού. Έχει επιλεγεί το SiteWhere ως το σύστημα Data/Core Backend για την εφαρμογή, καθώς παρέχει πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα με έναν αριθμό κανόνων και μηχανισμών λειτουργίας και ανταλλαγής δεδομένων. Η κύρια λειτουργικότητα του SiteWhere είναι η λειτουργία του middleware JAVA SPRING ανάμεσα στις υποδομές των αισθητήρων και τα διάφορα τμήματα του συστήματος και λειτουργεί σαν ελεγκτής για την επεξεργασία των δεδομένων των συσκευών. Συνδέεται με βάσεις δεδομένων χρονικής σειράς και NoSQL για να παρέχει συνεχή ροή δεδομένων από τους αισθητήρες και μπορεί να αναπτυχθεί σε κλίμακα με έναν μεγάλο αριθμό συσκευών με τρόπο τέτοιο ώστε να διατηρείται το συνολικό ιστορικό των δεδομένων των αισθητήρων και να μπορεί να προσπελαστεί οποιαδήποτε στιγμή.

Επίσης παρέχει ένα μηχανισμό διαχείρισης οντοτήτων έτσι ώστε να υπάρχει μια δομή στις συσκευές και κατηγοριοποίησή τους ανάλογα με το είδος τους, την τοποθεσία τους, πού ανήκουν και παρέχει πλήρη έλεγχο του κύκλου ζωής των συσκευών. Επίσης παρέχει μία εφαρμογή κονσόλας web based για τη διαχείριση και έλεγχο των δεδομένων του συστήματος. Οι διαθέσιμες λειτουργικότητες είναι:

- Σε κάθε καινούριο asset ή οντότητα (π.χ. συσκευή ανίχνευσης, εξοπλισμός, μία συγκεκριμένη περιοχή, ένας χρήστης) αποδίδεται ένα μοναδικό id και μπορεί να καταγραφεί αυτόνομα μέσω εξωτερικού λογισμικού. Ειδικότερα παρέχεται ένα μοντέλο για κάθε συσκευή για τα τυπικά είδη δεδομένων που έχουν δημιουργηθεί από συμβάντα (το οποίο περιλαμβάνει τις μετρήσεις, τα alerts που έχουν δημιουργηθεί και η ενημέρωση της τοποθεσίας της συσκευής). Τα αποθηκευμένα συμβάντα αποθηκεύονται σε επεκτάσιμες βάσεις δεδομένων σειράς (InfluxDB).
- Οι συσκευές (εξοπλισμός όπως εκτυπωτές, κλιματιστικά, υπολογιστές κλπ) μπορούν να συσχετιστούν με άλλες οντότητες. Μία συσκευή μπορεί να συσχετιστεί με έναν χρήστη, μια τοποθεσία ή με μια άλλη συσκευή αισθητηρίου της υποδομής που έχει δημιουργηθεί, και να δημιουργηθεί κυριότητα χώρου/metadata περιοχής και να δημιουργηθεί με αυτό τον τρόπο αντιστοίχιση κυριότητας.
- Οι συσκευές μπορούν να ομαδοποιηθούν ανάλογα με έναν κοινό ρόλο που εκπληρώνουν. Βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο την απόδοση απλοποιώντας των τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα των συσκευών μπορούν να προσπελαστούν από άλλες υπηρεσίες διεργασίας στο backend.
- Κάθε οντότητα ανώτερου επιπέδου μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένοικος του κτιρίου και μπορεί να έχει τελείως διαφορετική διαμόρφωση και δομή, χωρίς να επηρεάζει τους άλλους ενοίκους. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση υποδομών οι οποίες δεν έχουν κάποιο συσχετισμό μεταξύ τους, π.χ. διαφορετικές τοποθεσίες, κτίρια, power users κ.λ.π. στον ίδιο server.

Το SiteWhere παρέχει μια εκτενή λίστα πλαισίων λογισμικού τρίτων και εργαλείων λογισμικού τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν για να επεκτείνουν τις δυνατότητές του. Οι επιλογές περιλαμβάνουν διαφορετικές βάσεις δεδομένων, πλαίσια λογισμικού διαχείρισης ταυτοτήτων, ροές συμβάντων, επεξεργαστές συμβάντων, εταιρικούς διαύλους υπηρεσιών κ. ά. Καθώς είναι μια λύση λογισμικού ανοιχτού κώδικα, μπορούν να δημιουργηθούν διεπαφές με άλλα εργαλεία λογισμικού και υπηρεσίες, ανάλογα με τις ανάγκες που εντοπίζονται. Μπορεί να επιτευχθεί εξωτερική επικοινωνία με το SiteWhere μέσω ενσωματωμένων REST APIs. Υλοποιείται διεπαφή επικοινωνίας που βασίζεται στο MQTT πρωτόκολλο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από συσκευές και άλλα ενσωματωμένα συστήματα για να αποστέλλουν ή να δέχονται ειδοποιήσεις αναφορικά με νέα συμβάντα, όπως για παράδειγμα δεδομένα αισθητήρων (ειδοποιήσεις BLE/NFC και μετρήσεις ενέργειας).

Η ενσωμάτωση και η σύνδεση των κύριων τμημάτων του συστήματος εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα. Ο Server WSO2 (Διακομιστής Επαλήθευσης Ταυτότητας -Identity Server) διαχειρίζεται την ταυτότητα και την επαλήθευση των χρηστών, το Backend του Παιχνιδιού εφαρμόζει την λογική της ενημέρωσης της εξέλιξης των χρηστών στο παιχνίδι (π.χ. σκορ, ολοκληρωμένες προκλήσεις, κ.λ.π.), αφού έχει επεξεργαστεί τις ενέργειες των χρηστών. Το Backend των Ενεργειακών Analytics εκτελεί εκτιμήσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας των χρηστών και είναι υπεύθυνο για την καταγραφή της ενέργειας του κτιρίου, και η εφαρμογή του κινητού λειτουργεί ως frontend για το σύνολο του συστήματος και ως το κύριο διαδραστικό σημείο με τους χρήστες.



ΕΙΚΟΝΑ 4: ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SITEWHERE

2.2.1.1.3 Μέτρηση Ενέργειας και Υποδομές IoT

Σκοπός του έργου είναι η μεταβολή της συμπεριφοράς κατανάλωσης ενέργειας σε ατομικό και συλλογικό επίπεδο. Σαν αποτέλεσμα η κατανάλωση ενέργειας σε κάθε συσκευή πρέπει να συσχετιστεί με συγκεκριμένους εργαζομένους στο δημόσιο κτίριο.

Χρησιμοποιούνται ευφυείς μετρητές ενέργειας ράγας ηλεκτρικού πίνακα, πολλαπλών καναλιών (N-Channel) της εταιρείας Accuenergy. Αυτό το είδος μετρητή επιτρέπει και την μονοφασική συνδεσμολογία, για την λήψη μετρήσεων από μονοφασικά κυκλώματα φωτισμού, ρευματοδοτών και τριφασική συνδεσμολογία για την λήψη μετρήσεων από τριφασικά κυκλώματα εξοπλισμού, όπως τα fan coil κλιματισμού, ο ανεκμιστήρας και η συστοιχία των φωτοβολταϊκών. Κάθε μετρούμενο κύκλωμα εξοπλίζεται με τον κατάλληλο μετασχηματιστή έντασης (CT) για την επίτευξη όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ακρίβειας στη διεξαγωγή των μετρήσεων.

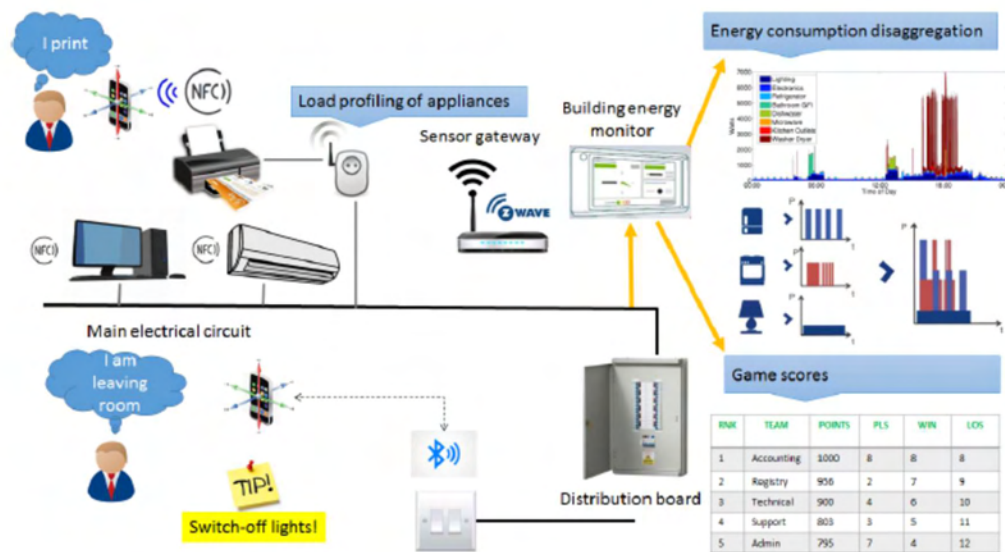
Οι καταναλώσεις στους χώρους των γραφείων μπορούν να είναι είτε προσωπικές (συσχετιζόμενες με συγκεκριμένο σταθμό εργασίας, δηλαδή ατομικός φωτισμός ή ατομική πρίζα προσωπικού υπολογιστή), είτε ομαδικές (φωτισμός χώρου γραφείων, κλιματισμός χώρου γραφείων κ.λ.π). Επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται έξυπνοι ρευματοδότες Zwave της εταιρείας Fibaro για την καταγραφή της κατανάλωσης ενέργειας σε κοινές γραμμές φορτίων, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί και η μέτρηση ενέργειας σε επίπεδο τερματικής συσκευής κατανάλωσης.

Χρησιμοποιούνται συσκευές beaconing Bluetooth Low Energy (BLE) της εταιρείας Estimote στους χώρους των γραφείων για την διενέργεια ελέγχων εγγύτητας. Η απόσταση του smartphone ενός υπαλλήλου από την συσκευή BLE beaconing υπολογίζεται σε σχέση με την ισχύ εκπομπής και αυτή η πληροφορία προωθείται στο σύστημα Backend Data/Core. Με αυτό τον τρόπο και εφόσον έχουν εγκατασταθεί κατάλληλα, οι συσκευές BLE beaconing μπορούν να ανιχνεύσουν την παρουσία ατόμων σε ένα συγκεκριμένο δωμάτιο ή σε μια συγκεκριμένη περιοχή υπό την προϋπόθεση ότι τα άτομα έχουν μαζί τους το κινητό με ενεργοποιημένη την υπηρεσία bluetooth. Επιπρόσθετα ένα αυτοκόλλητο NFC συσχετίζεται με κάθε συσκευή (και διακόπτη φωτισμού). Οι χρήστες του κτιρίου ενημερώνουν για τις ενέργειες εξοικονόμησης που εκτελούν το σύστημα κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού, περνώντας το κινητό τους πάνω από τα σημεία που βρίσκονται τα αυτοκόλλητα NFC, έτσι ώστε να τους αποδοθούν οι πόντοι που τους αναλογούν για την ηλεκτρική ενέργεια που

εξοικονομήθηκε. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στο γεγονός ότι οι κινήσεις στα αυτοκόλλητα NFC είναι διεκδίκηση ενεργειών εξοικονόμησης από τους μεμονωμένους χρήστες. Το Backend των ενεργειακών analytics επικυρώνει την διεκδίκηση πόντων έναντι των δεδομένων των μετρήσεων και ενημερώνει το Σύστημα του Παιχνιδιού μέσω του Data/Core Backend. Μόνο τότε πιστώνονται οι πόντοι στον χρήστη που εκτέλεσε αυτές τις ενέργειες.

Στους χώρους του κτιρίου έχουν εγκατασταθεί αισθητήρες Zwave της εταιρείας Fibaro, όπως Sensor 4-in-1 (Θερμοκρασίας, υγρασίας, φωτεινότητας και κίνησης/παρουσίας) εγκατεστημένα ανά περιοχή, έτσι ώστε να υποβοηθήσουν στο συσχετισμό των ενεργειών με συγκεκριμένους χρήστες και να ανιχνεύσουν δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας στο κτίριο.

Η προσέγγιση που έχει προτιμηθεί στο έργο, είναι αυτή της μη παρεμβατικής καταμέτρησης και κατανομής της κατανάλωσης ενέργειας σε επίπεδο συσκευών και φορτίων, ως η πιο αποδοτική αντιμετώπιση από πλευράς οφέλους κόστους. Η μεμονωμένη καταμέτρηση κατανάλωσης των φορτίων και η συνεχής καταγραφή των κινήσεων του προσωπικού θα ήταν υπερβολικά ακριβές εφαρμογές από πλευράς κόστους, χωρίς να προσφέρονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας.



ΕΙΚΟΝΑ 5: ΙoT και οι ΥΠoΔoμeς ΜeτρήσHς Eνεργείας για ΠρoσωΠoΠoιHμeνη ΚατaνoμH EνεργειακώΝ ΔαΠανώΝ

2.2.1.2 Η Εργαλειοθήκη HEART - Το άθροισμα όλων των πραγμάτων

Ένα άλλο έργο που χρηματοδοτήθηκε από το Horizon 2020 είναι η εργαλειοθήκη HEART [23] στα πλαίσια του H2020-EEB-2017 με χρόνο υλοποίησης από το 2017-2021.

Η λέξη HEART είναι το ακρωνύμιο των λέξεων HOLISTIC ENERGY AND ARCHITECTURAL RETROFIT TOOLKIT, δηλαδή Εργαλειοθήκη Ανακαίνισης με Ολιστική Ενεργειακή και Αρχιτεκτονική Προσέγγιση και βρίσκεται υπό την εποπτεία της Πολυτεχνικής Σχολής του Μιλάνου.

Χωρίζεται σε 5 υποκατηγορίες, όπως είναι τα συστήματα ICT (Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών), τα BEMS (Building Management Energy Systems - Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας του Κτιρίου), τα συστήματα HVAC (κλιματισμός-θέρμανση-αερισμός) και τα BIPV (Building Integrated Photovoltaics – Ενσωματωμένα στο Κτίριο Φωτοβολταϊκά Συστήματα).

Ο κεντρικός πυρήνας του συστήματος αποτελείται από μια υπολογιστική πλατφόρμα cloud-based, η οποία συγκεντρώνει την λειτουργική και διαχειριστική λογική για την υποστήριξη της λήψης

αποφάσεων κατά τη σχεδίαση και την κατασκευή, καθώς και την βελτίωση της διαχείρισης της ενέργειας και την παρακολούθηση των τιμών κατά την λειτουργία. Η Εργαλειοθήκη παρέχει δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, βελτιστοποίησης των διακυμάνσεων στην ενέργεια, ανταλλαγής δεδομένων, ενεργή εμπλοκή των stakeholders και αλληλεπίδραση με το Smart Grid. Έχουν ενσωματωθεί στην Εργαλειοθήκη τεχνολογίες κτιρίων και εγκαταστάσεων: όπως οι επεμβατικές λύσεις στο κέλυφος (θερμομόνωση και παράθυρα) εξασφαλίζουν μείωση των θερμικών φορτίων, ενώ τα τεχνικά συστήματα (BEMS, BIPV, αντλίες θερμότητας, fan coils, ελεγκτές ενέργειας και συστήματα αποθήκευσης) εξασφαλίζουν την ενεργειακή απόδοση και την κατάλληλη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών. Όλα τα τεχνικά συστήματα και τα τμήματα του κτιρίου έχουν δομηθεί ανάλογα με το οικονομικό τους κόστος, την συμβατότητα μεταξύ τους, την πρακτικότητα και το μειωμένο χρόνο εγκατάστασης.

Η συνεισφορά του έργου HEART στην βελτίωση της διαδικασίας ανακαίνισης του έργου, μπορεί να αναφερθεί συνοπτικά μέσα από τα κάτωθι χαρακτηριστικά:

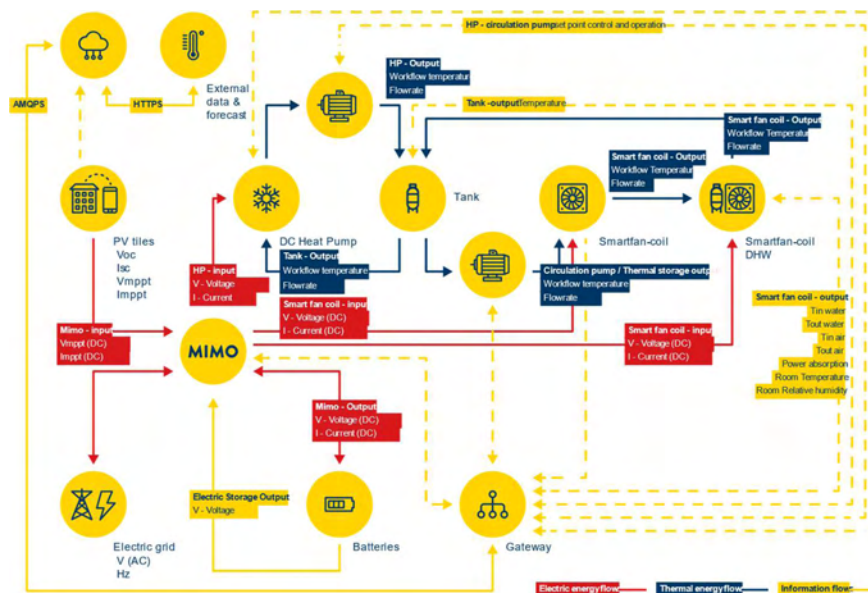
- Σχεδίαση της ανακαίνισης και βελτίωση της διαδικασίας της εφαρμογής.
- Μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης.
- Βελτίωση της εκμετάλλευσης της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές
- Εξορθολογισμός των ενεργειακών ροών μέσα στο κτίριο και ανάμεσα στο κτίριο και τα Smart Grids
- Άμεση εμπλοκή των stakeholders
- Υποστήριξη της ενεργειακής χρηματοδότησης.

2.2.1.2.1 Συνοπτικό Διάγραμμα Αρχιτεκτονικής

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε μια σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου λειτουργίας της Εργαλειοθήκης HEART.

Παρατηρούμε ότι ο έλεγχος του κλιματισμού στο κτίριο εκτελείται μέσω ενσωματωμένης λογικής (στο gateway) ελέγχοντας παραμέτρους όπως είναι και η εξωτερική και η εσωτερική θερμοκρασία, και σε συνδυασμό με την στάθμη της παραγόμενης ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα ο ελεγκτής MIMO (Multiple Input-Multiple Output) επιλέγει αν θα τροφοδοτηθεί το σύστημα κλιματισμού (στην συγκεκριμένη περίπτωση η αντλία θερμότητας) από το δίκτυο πόλης ή από το φωτοβολταϊκό σύστημα.

Με την εκκίνηση της αντλίας θερμότητας, η Εργαλειοθήκη HEART αξιολογεί αν η παραγόμενη ενέργεια πρέπει να διοχετευτεί σε δεξαμενή αποθήκευσης ενέργειας (tank), ή αν πρέπει να διοχετευτεί στα έξυπνα fan coils μέσω της αντλίας ανακυκλοφορίας, ή προς την αντλία παροχής ζεστού νερού χρήσης (DHW).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΘΗΚΗΣ HEART

Το σύστημα ελέγχου του HEART βελτιστοποιεί την συνολική ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, διευκολύνοντας τις συνέργειες ανάμεσα στα διαφορετικά υποσυστήματα και την λειτουργία ανάλογα με την ενσωματωμένη λογική. Το σύστημα διαχειρίζεται σε ικανοποιητικό βαθμό τις διαφορετικές ενεργειακές ροές, οι οποίες είτε παράγονται τοπικά από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ή παρέχονται από το δίκτυο, και τις διανέμει ανάλογα με την άμεση ζήτηση, την θερμική ή την ενεργειακή αποθήκευση, ή τις τροφοδοτεί στο δίκτυο smart grid, ανάλογα με τη χρονική συγκυρία, την τιμή του ρεύματος και τη ζήτηση συνολικά του εξωτερικού δικτύου smart grid. Από αυτή την άποψη ο χρήστης του κτιρίου μετατρέπεται από καταναλωτής σε παραγωγός και πάροχος ενέργειας. (Με την έννοια θερμική αποθήκευση εννοούμε την αποθήκευση ενέργειας σε θερμικό φορτίο-κλιματισμός. Με την έννοια ενεργειακής αποθήκευσης εννοούμε την αποθήκευση της μπαταρίας σε συστοιχίες μπαταριών (battery racks)).

2.2.1.2.2 Το μοντέλο προσαρμογής πρόβλεψης ενέργειας

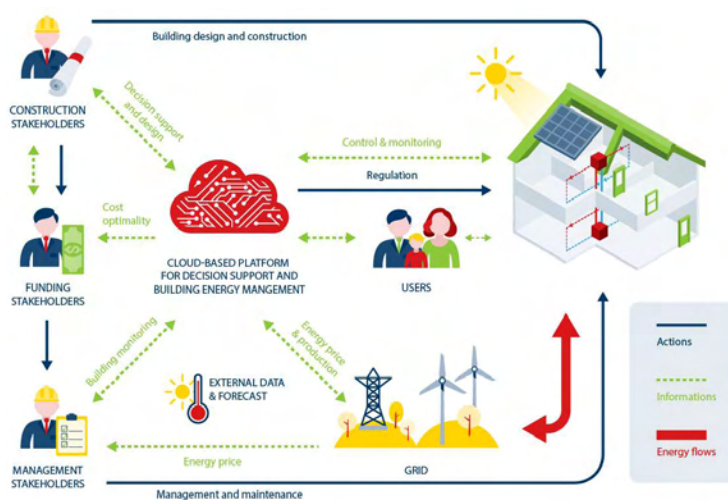
Χρησιμοποιώντας και αξιολογώντας εξωτερικά δεδομένα (όπως η πρόγνωση του καιρού, οι τιμές πώλησης της ενέργειας ανανεώσιμων κλπ) και εσωτερικά δεδομένα, (είσοδοι και αναδράσεις από τους χρήστες του κτιρίου), η πλατφόρμα WEB μειώνει την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου και βελτιώνει τις αλληλεπιδράσεις με το δίκτυο πόλης. Η πλατφόρμα καθορίζει τις λειτουργίες της Εργαλειοθήκης HEART, εφαρμόζοντας ένα μοντέλο λογικής προσαρμογής πρόβλεψης για τη ρύθμιση της απόδοσης ενέργειας του κτιρίου.

Αυτό το είδος λογικής εκμεταλλεύεται πλήρως τα παθητικά χαρακτηριστικά του κτιρίου. Για παράδειγμα, ανάλογα με τις προκαθορισμένες συνθήκες, ή τις συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου, η λογική μονάδα μπορεί να βελτιστοποίηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού για χρήση της ενέργειας για θέρμανση, ή το θερμικό φορτίο του κελύφους του κτιρίου για τη μείωση της ζήτησης και το χειμώνα και το καλοκαίρι.

Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί μια λειτουργία αυτοεκμάθησης (self-learning), η οποία βελτιώνει την απόδοση στο χρόνο συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με αυτά της

πρόβλεψης, σε σχέση με τη συνεχή ροή δεδομένων του κτιρίου και από τους χρήστες, με σκοπό την βαθμονόμηση των παραμέτρων υπολογισμού.

Η παρακολούθηση των δεδομένων γίνεται μέσα από στρατηγικά τοποθετημένους αισθητήρες (θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, παρουσίας, CO₂, κλπ), οι οποίοι εξασφαλίζουν μια συνεχόμενη επίβλεψη της απόδοσης του κτιρίου. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο της εσωτερικής λογικής μονάδας του HEART σημαίνει ότι μπορεί να μειωθεί ο αριθμός των σημείων μέτρησης (μαζί με τα σχετιζόμενα κοστολόγια προμήθειας, εγκατάστασης και συντήρησης). Αυτά τα σημεία μέτρησης χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση και βαθμονόμηση του ως επί το πλείστον εικονικού αλλά ιδιαίτερα αξιόπιστου συστήματος καταγραφής της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτή η πληροφορία μας βοηθάει να διαχειριστούμε τις συνθήκες λειτουργίας, την κατανάλωση ενέργειας, του τρόπου χρήσης της εγκατάστασης, τις αστοχίες του υλικού, τις ανάγκες συντήρησης κλπ. Επίσης τα BEMS επιτρέπουν την άμεση αλληλεπίδραση του κτιρίου με τους χρήστες του, οι οποίοι μπορούν να έχουν ενημέρωση για την απόδοση του κτιρίου, καθώς και έλεγχο των λειτουργιών του μέσω εξειδικευμένων εφαρμογών σε φορητές συσκευές.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

2.2.1.2.3 Το «γλωσσάρι» του έργου HEART

Η ερευνητική ομάδα του έργου HEART συνέταξε ένα γλωσσάρι [16] για το αντικείμενο των ευφυών κτιρίων όπου αναλύονται κάποιες κομβικές έννοιες των κτιρίων και της εξοικονόμησης ενέργειας, όπως το EPBD, BAS, BEMS και TBS, έννοιες που αναλύσαμε διεξοδικά στην εισαγωγή μας.

BAS – BUILDING AUTOMATION SYSTEM

Σύστημα Κτιριακού Αυτοματισμού

Είναι ένα σύστημα με αυτοματοποιημένο κεντρικό έλεγχο της θέρμανσης του κτιρίου, του εξαερισμού και κλιματισμού, του φωτισμού και άλλων συστημάτων. Η κεντρική λειτουργία του BAS είναι η διατήρηση του κλιματισμού του κτιρίου σε ένα συγκεκριμένο εύρος, η παροχή φωτισμού στους χώρους ανάλογα με τη παρουσία ανθρώπου, η επίβλεψη της απόδοσης του κτιρίου και των αστοχιών των συσκευών του σε όλα τα συστήματα και η αποστολή alarms αστοχίας στο προσωπικό συντήρησης του κτιρίου.

Ο στόχος είναι η βελτίωση της άνεσης των χρηστών του κτιρίου, η αποδοτική λειτουργία των συστημάτων αυτοματισμού, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και του κόστους λειτουργίας, και

η βελτίωση του χρόνου ζωής των συστημάτων. Ένα κτίριο που ελέγχεται από ένα BAS συχνά αναφέρεται σαν “smart building” ή ευφύες κτίριο. Τα περισσότερα κτίρια του τριτογενούς τομέα που έχουν κατασκευαστεί μετά το 2000 περιέχουν ένα Σύστημα Κτιριακού Αυτοματισμού BAS.

Η εφαρμογή στο έργο HEART: Το BAS είναι ενσωματωμένο τμήμα του BEMS και βασίζεται στην εξελικτική νοημοσύνη του συστήματος cloud του HEART.

BEMS – BUILDING ENERGY MANagements SYSTEMS

Κτιριακά Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας

Είναι τηλεπικοινωνιακά συστήματα ελέγχου και επίβλεψης της λειτουργίας, τα οποία ενσωματώνονται στις υφιστάμενες ροές δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας της υποδομής του κτιρίου, όπως είναι η θέρμανση, ο εξαερισμός και ο κλιματισμός (HVAC) και τα συστήματα φωτισμού και παρέχουν οπτικοποίηση και ανάλυση αυτών των δεδομένων, με σκοπό την διευκόλυνση της λήψης καλύτερων αποφάσεων σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας.

Μέσα στους λόγους που μπαίνει κάποιος στη διαδικασία να χρησιμοποιήσει BEMS είναι η διαχείριση ενέργειας και κοστολογίων χρήσης, η επιτήρηση αυτών των μεγεθών και ο έλεγχος της χρήσης και της κατανάλωσης της ενέργειας, η δημιουργία alert σε περίπτωση προβλημάτων και αστοχιών, ο έλεγχος και η επιτήρηση καταναλώσεων και του εξοπλισμού.

Η εφαρμογή στο έργο HEART: Οι χρήστες του κτιρίου είναι σε θέση να βελτιώνουν την διαχείριση της ενέργειας και να ανιχνεύουν αστοχίες σε πρώιμο στάδιο.

EPBD – ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS DIRECTIVE

Οδηγία Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων

Η οδηγία EPBD είναι το κύριο νομοθετικό όργανο της Ευρωπαϊκής Ένωσης με σκοπό την προώθηση της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στην Ευρώπη. Συντάχθηκε μετά την υπογραφή της Συνθήκης του Κιότο, η οποία δεσμεύει την Ευρωπαϊκή Ένωση και τα μέλη της να θέσουν στόχους μείωσης των εκπομπών αερίου.

TBS -TECHNICAL BUILDING SYSTEMS

Τεχνικά Κτιριακά Συστήματα

Σύμφωνα με την EPBD, τα Κράτη Μέλη πρέπει να βελτιώσουν την χρήση της ενέργειας στα Τεχνικά Κτιριακά Συστήματα και να θεσμοθετήσουν Τεχνικές Προδιαγραφές στα Συστήματα που είναι εγκατεστημένα σε υφιστάμενα κτίρια. Οι Τεχνικές Προδιαγραφές θα πρέπει να καλύπτουν τουλάχιστον τα συστήματα θέρμανσης, παροχής ζεστού νερού χρήσης, κλιματισμού και μεγάλων μονάδων εξαερισμού, ή συνδυασμού αυτών των συστημάτων.

Η εφαρμογή στο έργο HEART :Ενσωματωμένη Βελτίωση του Συνολικού Συστήματος

Αναφέρονται όμως και επιπρόσθετα νέες παράμετροι, τις οποίες δεν είχαμε συνυπολογίσει μέχρι τώρα όπως:

AMQPS – ADVANCED MESSAGE QUEUING PROTOCOL

Εξελιγμένο Πρωτόκολλο Ακολουθίας Μηνυμάτων

Έχει σχεδιαστεί ένα σύστημα ακολουθίας μηνυμάτων για να μπορούν να συνδέονται servers μεταξύ τους (S2S). Οι συσκευές στα ευφυή κτίρια πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους (D2D). Τα δεδομένα των συσκευών πρέπει να συλλέγονται και να αποστέλλονται στις υποδομές του server

Συναφείς Ερευνητικές Εργασίες και Δράσεις-Δράσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα ευφυή κτίρια

(D2S). Η ίδια υποδομή των server πρέπει να μοιράσει δεδομένα από συσκευές (S2S), πίσω σε άλλες συσκευές, ή σε προγράμματα ανάλυσης, ή σε χρήστες του κτιρίου.

DSS – DECISION SUPPORT SYSTEM Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων

Ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) είναι ένα σύστημα πληροφοριών το οποίο υποστηρίζει τις ενέργειες λήψης αποφάσεων σε επίπεδο εταιρείας ή οργανισμού.

Η εφαρμογή στο έργο HEART: το DSS επικεντρώνεται στη μείωση του χρόνου της προσομοίωσης και βελτίωσης της φάσης της σχεδίασης των συστημάτων και τεχνολογιών, εκμεταλλευόμενο τις διαδικασίες βαθμονόμησης. Οι ενέργειες θα είναι επίσης στοχευμένες για την μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της στρατηγικής διαχείρισης της ενέργειας με το μοντέλο της προσαρμοζόμενης πρόβλεψης ζήτησης, με χρήση εξωτερικών πληροφοριών (όπως η πρόβλεψη του καιρού και οι τιμές της ενέργειας κλπ).

IEQ – INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY

Ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος

Αναφέρεται στην ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος σε σχέση με την υγεία και την ευεξία των χρηστών του χώρου. Το IEQ καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του φωτισμού, της ποιότητας του αέρα και τις συνθήκες υγρασίας

3 Συστήματα IoT Ασύρματων Κόμβων – Τεχνικό Υπόβαθρο

Όλες οι εφαρμογές IoT παράγουν πάρα πολλά δεδομένα, τα οποία αν δεν μπορούμε να τα επεξεργαστούμε με κατάλληλο τρόπο για να εξάγουμε πληροφορίες και συμπεράσματα, δεν έχουν κάποια χρησιμότητα. Καθώς ο όγκος των δεδομένων μπορεί να είναι σημαντικά μεγάλος, η διαδικασία της μετατροπής των ακατέργαστων δεδομένων σε χρήσιμες πληροφορίες, πρέπει να είναι αυτοματοποιημένος. Οι υποδομές IoT παρουσιάζουν γενικά κάποια κοινά προκλήσεις ως εξής:

1. Έχουν να αντιμετωπίσουν ετερογένειες στο είδος και τα πρότυπα των ασύρματων κόμβων
2. Χρησιμοποιούν κόμβους που διαθέτουν περιορισμένους πόρους από πλευράς ενέργειας και υπολογιστικής ισχύος
3. Είναι συνήθως εφαρμογές που απαιτούν άμεση αντίδραση άρα και άμεση επεξεργασία δεδομένων
4. Ανήκουν συνήθως σε δίκτυα μεγάλης έκτασης με μεγάλο αριθμό και συσκευών και συμβάντων
5. Υπάρχει ανάγκη για δυναμική αυτορρύθμιση του εκάστοτε δικτύου
6. Είναι συνήθως εφαρμογές με επίγνωση θέσης και ταυτότητας του κάθε κόμβου του δικτύου
7. Υπάρχει ανάγκη για κατανομημένη ευφυΐα (distributed intelligence)

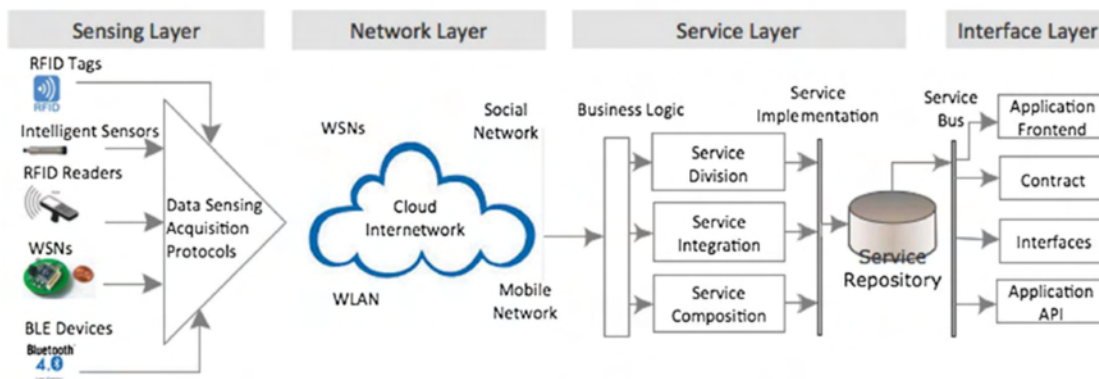
Σε ένα παράδειγμα εφαρμογής IoT [18], που είναι προσανατολισμένη σε υπηρεσίες, μπορούν να οριστούν τα εξής επίπεδα.

(1) Επίπεδο Αίσθησης (Sensing layer): είναι ενσωματωμένο στο υλικό που υφίσταται και επιτρέπει την ανίχνευση (αίσθηση) της κατάστασης των πραγμάτων

(2) Επίπεδο Δικτύου (Network layer): παρέχει την υποδομή για την ζεύξη ασύρματων και ενσύρματων συνδέσεων.

(3) Επίπεδο Υπηρεσίας (Service layer): δημιουργεί και διαχειρίζεται τις υπηρεσίες που απαιτούνται από τους χρήστες ή τις εφαρμογές.

(4) Επίπεδο Διεπαφής (Interface layer): αποτελείται από τις μεθόδους αλληλεπίδρασης ανάμεσα στους χρήστες ή τις εφαρμογές.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΙΟΤ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

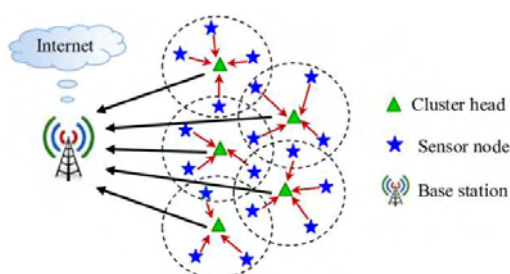
Η προτεινόμενη από εμάς λύση για την συγκέντρωση και ανάλυση των δεδομένων ασύρματων κόμβων αισθητήρων αποτελείται από τρεις διαφορετικές μεταξύ τους διαδικασίες.

- Τη δημιουργία των δικτύων ασύρματων αισθητήρων των διαφορετικών πρωτοκόλλων
- Την λήψη και συγκέντρωση (data acquisition) των δεδομένων των αισθητήρων σε εφαρμογή ανώτερου επιπέδου
- Την εισαγωγή (data aggregation), ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων σε βάση δεδομένων χρονικής σειράς Influxdb

- Την δημιουργία dashboards και User Interfaces για τον έλεγχο της εφαρμογής και την ανάλυση των δεδομένων

3.1 Δίκτυα ασύρματων αισθητήρων

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων προσφέρει προτερήματα σε σχέση με τις ενσύρματες λύσεις δικτύων. Ξεκινώντας ότι προσφέρει πολύ μεγαλύτερη ευελιξία στον χρήστη, από το γεγονός ότι δεν χρειάζονται επεμβάσεις στην καλωδίωση του κτιρίου, άρα είναι πιο εύκολο στην εγκατάσταση και τη θέση του σε λειτουργία. Μπορεί εύκολα να επεκταθεί με νέους αισθητήρες, και μάλιστα όχι μόνο σταθερούς, αλλά και κινούμενους (mobile), χωρίς να γίνει κάποια επαναρρύθμιση του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι δεν λαμβάνουμε μόνο στοιχεία για σταθερούς αισθητήρες σε ένα κτίριο, αλλά και από γεωγραφικά μεταφερόμενους, όπως αισθητήρες Bluetooth ή άλλοι αισθητήρες σε wearable μορφή από τον άνθρωπο που χρησιμοποιεί το κτίριο.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΤΥΠΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΝΟΣ WSN

3.1.1 Πρωτόκολλο και Αρχιτεκτονική δικτύου Ασύρματων Αισθητήρων.

Η τυπική αρχιτεκτονική ενός δικτύου Ασύρματων Αισθητήρων (WSN-Wireless Sensor Network) ακολουθεί το μοντέλο OSI και αποτελείται από πέντε επίπεδα (layers), το φυσικό επίπεδο (Physical Layer), το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων (Datalink Layer), το επίπεδο δικτύου (Network Layer) και το επίπεδο εφαρμογής (Application Layer) [19]

Μια σύγκριση μεταξύ της αρχιτεκτονικής OSI και του WSN έχει ως εξής:

Μοντέλο OSI	Δίκτυο Ασύρματων αισθητήρων
Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer)	Εφαρμογή WSN
Επίπεδο Μεταφοράς (Transport Layer)	Πρωτόκολλα Μεταφοράς WSN
Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)	Πρωτόκολλα δρομολόγησης WSN
Επίπεδο Διασύνδεσης (Datalink Layer)	Έλεγχος Σφάλματος WSN Πρωτόκολλα MAC
Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer)	Πομποδέκτης

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΣΤΟΙΒΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ WSN

Επίπεδο Εφαρμογής (Application layer): Αυτό είναι το επίπεδο στο οποίο γίνεται η ταυτοποίηση των συμμετεχόντων στην επικοινωνία. Λαμβάνεται υπόψη ο έλεγχος ταυτότητας του χρήστη και η ιδιωτικότητά του. Αυτό το επίπεδο δεν είναι η ίδια η εφαρμογή, παρά το γεγονός ότι κάποιες εφαρμογές εκτελούν λειτουργίες του επιπέδου εφαρμογής. Αναπαριστάνει τις υπηρεσίες, οι οποίες υποστηρίζουν άμεσα τις εφαρμογές όπως το λογισμικό για μεταφορές αρχείων, πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων κλπ.

Επίπεδο Μεταφοράς (Transport layer): Τα πρότυπα σε αυτό το επίπεδο εξασφαλίζουν ότι όλα τα πακέτα έχουν αφιχθεί. Αυτό το επίπεδο επίσης απομονώνει το ανώτερο επίπεδο, το οποίο διαχειρίζεται τις απαιτήσεις του χρήστη και της εφαρμογής, από τις λεπτομέρειες που αφορούν την σύνδεση end-to-end.

Επίπεδο Δικτύου ή Δρομολόγησης (Network (or Routing) layer): Αυτό το επίπεδο χειρίζεται τη δρομολόγηση των δεδομένων, τα μηνύματα διευθύνσεων και μεταφράζει τις λογικές διευθύνσεις και τα ονόματα σε φυσικές διευθύνσεις. Επίσης καθορίζει την δρομολόγηση από την πηγή στον προορισμό και διαχειρίζεται προβλήματα κίνησης(έλεγχος ροής), όπως η διακοπή (switching), η δρομολόγηση και ο έλεγχος της συμφόρησης των πακέτων δεδομένων.

Επίπεδο Διασύνδεσης Δεδομένων (Data Link layer): Είναι το επίπεδο το οποίο διασυνδέει το hardware και το software. Το επίπεδο διασύνδεσης διαχωρίζεται σε δύο υποεπίπεδα:

- Το άνω υποεπίπεδο LLC (Logical Link Control- Έλεγχος Λογικής Διασύνδεσης)
- Και το κάτω υποεπίπεδο- MAC (Media Access Control- Έλεγχος Πρόσβασης Μέσων)

Το υποεπίπεδο LLC λειτουργεί σαν interface ανάμεσα στο υποεπίπεδο MAC και το επίπεδο δικτύου. Η κύρια του αρμοδιότητα είναι η παροχή υπηρεσιών στα πρωτόκολλα του επιπέδου δικτύου και ειδικότερα ο έλεγχος του συγχρονισμού των πλαισίων (frames) των δεδομένων, ο έλεγχος της ροής και ο έλεγχος των σφαλμάτων. Το υποεπίπεδο MAC καθορίζει την πρόσβαση στα μέσα ελέγχοντας τις συσκευές hardware και παρέχει την ανάλυση δεδομένων με βάση τις απαιτήσεις της φυσικής σηματοδότησης του μέσου.

Φυσικό Επίπεδο (Physical layer): Χαρακτηρίζει τις ηλεκτρικές, μηχανολογικές, διαδικαστικές και λειτουργικές προδιαγραφές για την ενεργοποίηση, συντήρηση και απενεργοποίηση της φυσικής διασύνδεσης ανάμεσα στα συστήματα end to end. Χαρακτηριστικά όπως τα επίπεδα τάσης, ο χρονισμός των εναλλαγών τάσης, οι ταχύτητες των φυσικών δεδομένων, οι μέγιστες αποστάσεις μετάδοσης, οι φυσικοί σύνδεσμοι και άλλα αντίστοιχα χαρακτηριστικά.

3.1.2 Η τοπολογία ενός δικτύου ασύρματων κόμβων

Ένα δίκτυο ασύρματων κόμβων συνήθως αποτελείται από:

Κόμβους Αισθητήρων

Ένας κόμβος αισθητήρα [21] είναι ένας ευφυής αισθητήρας ο οποίος είναι σε θέση να συλλέγει δεδομένα, να εκτελεί επεξεργασία αυτών και την επικοινωνία με τους άλλους συνδεδεμένους κόμβους στο δίκτυο. Πλατφόρμες αισθητήρων όπως το Arduino επιτρέπουν σε χρήστες να συνδέουν τον αισθητήρα και τις μονάδες επικοινωνίας σε μια πλατφόρμα βάσης. Η δυνατότητα της χωρίς προβλήματα εναλλαγής hardware ραδιομονάδων σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν όχι μόνο να αλλάξουν το πρωτόκολλο επικοινωνίας, αλλά και την τοπολογία του δικτύου που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα η αντικατάσταση μιας μονάδας Wi-Fi module με ένα XBEE 868, επιτρέπει στον χρήστη το δίκτυο αστέρα με ένα δίκτυο πλέγματος αυτοαποκατάστασης (self-healing mesh network) με μεγαλύτερο εύρος ανίχνευσης.

Συναθροιστές (Aggregators), Σταθμοί Βάσης (Base Stations), και Πύλες (Gateways)

Οι κόμβοι των αισθητήρων χρειάζονται ένα σημείο συλλογής, όπου μπορούν να επεξεργαστούν τα δεδομένα, να αποθηκευτούν ή να προωθηθούν σε άλλα δίκτυα, ενσύρματα ή ασύρματα μεγαλύτερης εμβέλειας και ταχύτητας. Χρησιμοποιείται μια ποικιλία όρων για την συλλογή και μεταφορά δεδομένων στα δίκτυα αισθητήρων. Υπολογιστικές συσκευές (computing devices), όπως οι συσκευές M2M ή τα PC, μπορούν να ρυθμιστούν για να λειτουργήσουν είτε σαν συναθροιστές, είτε σαν πύλες, είτε σαν γέφυρες είτε σαν σταθμοί βάσης, είτε σαν συντονιστές κόμβοι, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση για το νόημα κάθε όρου. Η πολυπλοκότητα της κάθε αρχιτεκτονικής

ή ο τομέας στον οποίο εφαρμόζεται το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, μπορούν να επηρεάσουν τον όρο που χρησιμοποιείται. Για λόγους αποσαφήνισης παραθέτουμε τους ακόλουθους ορισμούς.

Οι **γέφυρες (bridges)** συνδέουν δύο ή περισσότερους τομείς δικτύου πάνω στο επίπεδο διασύνδεσης (datalink layer - OSI layer 2) για να δημιουργήσουν ένα αθροιστικό δίκτυο.

Οι **συναθροιστές (aggregators)** είναι συλλέκτες κόμβοι (sink nodes), οι οποίοι λαμβάνουν ακατέργαστα δεδομένα από τους κόμβους του δικτύου των αισθητήρων και μειώνουν το συνολικό μέγεθος των δεδομένων συμπύσσοντας περισσεύοντα ή συσχετιζόμενα δεδομένα. Αυτό μειώνει το συνολικό όγκο της κίνησης του δικτύου και την κατανάλωση ενέργειας, οπότε κατ' επέκταση μειώνεται και το κόστος λειτουργίας του.

Στα WSN, ένας σταθμός βάσης (σταθμός βάσης) είναι ένας κόμβος, ο οποίος έχει πολύ περισσότερους υπολογιστικούς, ενεργειακούς και επικοινωνιακούς πόρους από τους άλλους κόμβους. Ένας σταθμός βάσης τυπικά λειτουργεί σαν μια πύλη (gateway) ανάμεσα στους άλλους κόμβους και τον τελικό χρήστη, για να προωθηθούν δεδομένα από το WSN στον server.

Σε ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων, ο κόμβος συντονισμού (coordinator) είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση του συνόλου του δικτύου. Ειδικότερα ο coordinator λειτουργεί πάνω στο επίπεδο δικτύου για να επιλέξει το κανάλι συχνότητας που θα χρησιμοποιηθεί, εκκινεί το δίκτυο και επιτρέπει σε άλλους κόμβους να συνδεθούν στο δίκτυο. Ο coordinator επίσης επιτρέπει την δρομολόγηση των μηνυμάτων, την διαχείριση της ασφάλειας και τις άλλες υπηρεσίες.

3.2 Λήψη και συγκέντρωση δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων είναι μία από τις κύριες λειτουργίες που εκτελούνται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs). Αν και έχουν προταθεί διάφορες ενδιαφέρουσες προσεγγίσεις την τελευταία δεκαετία, παραμένει ένα πεδίο εστίασης της έρευνας, καθώς υπάρχει μεγάλος αριθμός προκλήσεων που δεν έχουν ικανοποιηθεί [22]. Η συνεχιζόμενη μείωση στο μέγεθος και στο κόστος, καθώς και το πλήθος των διαθέσιμων αισθητήρων στην αγορά, και τα τεράστια πλεονεκτήματα της τεχνολογίας ασύρματης επικοινωνίας έχουν διευρύνει των αντίκτυπο και τις δυνατότητες των WSNs. Η επέκταση του IoT είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων ετερογενών δεδομένων, τα οποία παράγονται σε εκθετικό ρυθμό και έχουν ενδιαφέρον και από οικονομική και από τεχνική άποψη. Αυτό το γεγονός καθιστά τη συλλογή και την ανάλυσή τους ιδιαίτερα σημαντική.

3.2.1 Προκλήσεις της ανάλυσης δεδομένων

Χωρίς τη χρήση της ανάλυσης των δεδομένων σε ένα WSN [23], οι κόμβοι των αισθητήρων θα έδιναν αναφορά ακόμα και για ακατέργαστα δεδομένα στον κόμβο συλλογής (sink node). Συνήθως τέτοια δεδομένα είναι είτε πλεονάζοντα είτε συσχετιζόμενα, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση αρκετών μειονεκτημάτων:

- Τα πλεονάζοντα δεδομένα είναι αυτά που δεν έχουν καμία σχέση με την εφαρμογή που κατασκευάζεται
- Αυξάνονται πάρα πολύ οι πιθανότητες συμφόρησης του δικτύου
- Σπαταλείται η χωρητικότητα του δικτύου
- Αυξάνεται η κατανάλωση ενέργειας του δικτύου δραματικά

Γενικά μιλώντας, ένα πρωτόκολλο συνάθροισης (aggregation protocol) έχει τρεις κύριους στόχους: **Εξοικονόμηση ενέργειας:** Η ανάλυση δεδομένων μειώνει τις πλεονάζουσες ή συσχετιζόμενες εκπομπές σε ένα δίκτυο, οδηγώντας άμεσα στη συνολική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου.

Παράδειγμα πλεονάζουσας εκπομπής δεδομένων σε ένα δίκτυο, είναι η συνεχόμενη αποστολή της θερμοκρασίας χώρου. Η θερμοκρασία χώρου είναι ένα μέγεθος το οποίο μεταβάλλεται με αργό ρυθμό, και σαν αποτέλεσμα δεν χρειάζεται να αποστέλλεται κάθε λεπτό στο δίκτυο.

Παράδειγμα συσχετιζόμενων εκπομπών είναι η αποστολή δεδομένων από δύο κοντινά αισθητήρια θερμοκρασίας, τα οποία εξαιτίας της κοντινής απόστασης μεταξύ τους, στέλνουν ίδια δεδομένα, οπότε δεν υπάρχει λόγος να εκπέμπουν και τα δύο.

Ακρίβεια δεδομένων: Η ακρίβεια των δεδομένων είναι η ακρίβεια ανάμεσα στα δεδομένα που έχουν ληφθεί σε σχέση με τα πρωτογενή δεδομένα που θα απέστειλε ο κόμβος. Κατά τη φάση της συλλογής, επεξεργασίας και σύνοψης των δεδομένων, μπορεί κάποια από αυτά να παραληφθούν ή να αλλοιωθούν, και να προκύψουν αποκλίσεις από τα αρχικά δεδομένα. Σαν αποτέλεσμα υπάρχει απαίτηση να γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας στο δίκτυο διασφαλίζοντας ικανή ακρίβεια στα δεδομένα που λαμβάνονται.

Για παράδειγμα ο περιορισμός της λήψης δεδομένων από ένα BLE beacon

Εξοικονόμηση χωρητικότητας του δικτύου: Οι περιορισμοί του εύρους ζώνης του δικτύου των κόμβων των αισθητήρων περιορίζουν την χωρητικότητα του δικτύου των WSNs, οπότε η εξοικονόμηση της χωρητικότητας έχει διερευνηθεί συχνότατα. Η συλλογή και αξιολόγηση των δεδομένων, μπορεί να εξοικονομήσει χωρητικότητα στο δίκτυο, αποστέλλοντας λιγότερα πακέτα στον κόμβο συλλέκτη. Το πόση χωρητικότητα εξοικονομείται στο δίκτυο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δείκτης της απόδοσης του πρωτοκόλλου συνάθροισης.

3.2.2 Η αρχιτεκτονική του Middleware στα WSN

Η έννοια Middleware συνήθως αναφέρεται σε λογισμικό που είναι τοποθετημένο πάνω από το λειτουργικό σύστημα και τα δίκτυα πρωτοκόλλων και κάτω από το επίπεδο εφαρμογής. Κρύβει τις λεπτομέρειες του hardware χαμηλού επιπέδου, διευκολύνει την ανάπτυξη και διαχείριση του λογισμικού και εξυπηρετεί τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Το Middleware διαχειρίζεται τους πόρους του δικτύου με πιο εύκολο και ευέλικτο τρόπο .

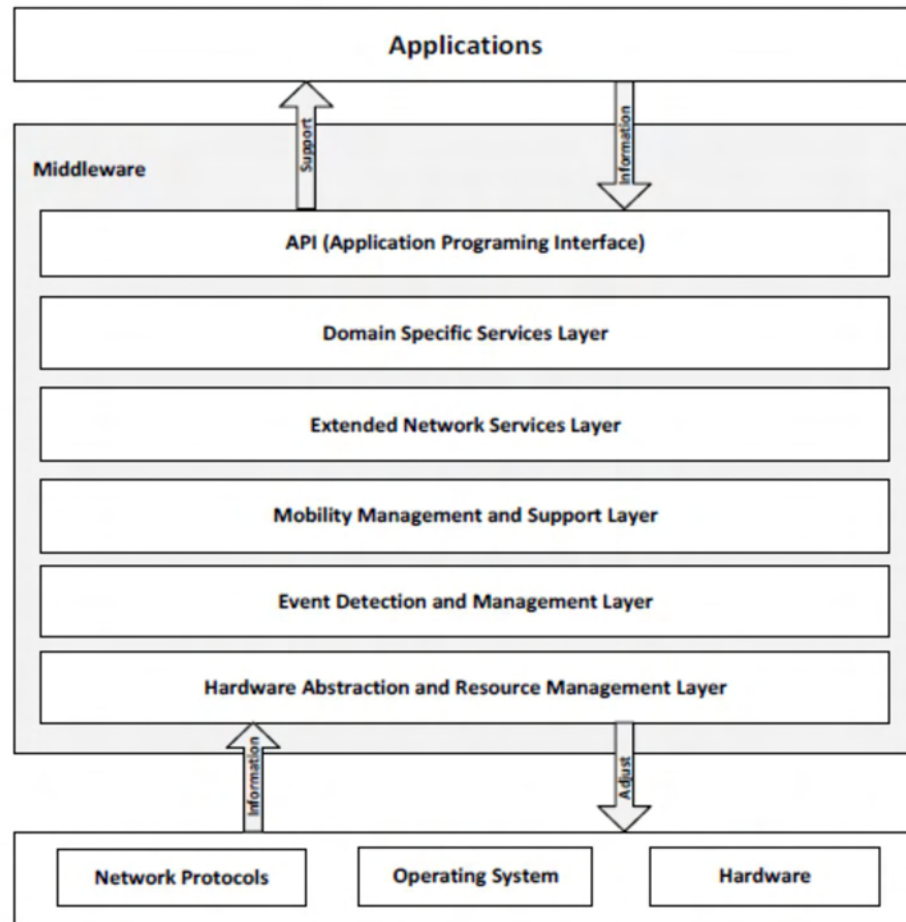
Αρκετά προβλήματα μπορούν να επιλυθούν σχεδιάζοντας ένα middleware. Η διαχείριση των πόρων στο επίπεδο του middleware είναι πιο εύκολη και ευέλικτη σε σύγκριση με το επίπεδο του OS και της εφαρμογής. Η προσθήκη στοιχείων ασφάλειας είναι πιο εύκολη σε επίπεδο middleware και υποστηρίζει περισσότερες εφαρμογές. Η ενσωμάτωση του WSN με άλλες τεχνολογίες και δίκτυα είναι εφικτή με τη χρήση middleware και το ίδιο το middleware μπορεί να παρέχει περιβάλλον run time για την υποστήριξη πολλαπλών εφαρμογών.

Υπάρχουν διάφορα είδη προσέγγισης απέναντι στη σχεδίαση και χρήση του Middleware. Επιγραμματικά αναφέρουμε:

- event-based
- service-oriented
- VM-based
- agent-based
- tuple-spaces
- database-oriented
- application specific

Στα **event-based middlewares** η αλληλεπίδραση μεταξύ του middleware, των εξαρτημάτων και των εφαρμογών γίνεται μέσω γεγονότων (events). Κάθε γεγονός (event) είναι συγκεκριμένου τύπου, και έχει ένα σετ συγκεκριμένων παραμέτρων, των οποίων οι ειδικές τιμές περιγράφουν την αλλαγή κατάστασης του producer. Τα γεγονότα μεταδίνονται από τα τμήματα της εφαρμογής που τα αποστέλλουν (producers) στα τμήματα της εφαρμογής που απευθύνονται (consumers). Ένα σύστημα γεγονότων (event service) μπορεί να αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό τμημάτων εφαρμογής (entities), τα οποία παράγουν (produce) και καταναλώνουν (consume) γεγονότα.

Η επικρατούσα τάση στο Middleware που απευθύνεται σε δίκτυα ασύρματων κόμβων είναι αυτή του μηχανισμού Publish/Subscribe και της αρχιτεκτονικής event-based για την ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα στους κόμβους των αισθητήρων και τους κόμβους συλλέκτες. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης βασίζεται στο γεγονός ότι στα ασύρματα δίκτυα που βασίζονται σε events υποστηρίζεται η ασύγχρονη μετάδοση, η οποία βοηθάει στην εξοικονόμηση ενέργειας στο δίκτυο.



ΕΙΚΟΝΑ 6: Η ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΣ WSN MIDDLEWARE

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, το middleware του WSN μπορεί να αφαιρέσει τις κοινές ιδιότητες των εφαρμογών και να παρέχει υπηρεσίες γενικής χρήσης, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Γενικά μια λύση middleware μπορεί να αποτελείται από τρία τμήματα: διαχείριση πόρων, το οποίο είναι ένα λειτουργικό στοιχείο που ελέγχει την κατάσταση του δικτύου και λαμβάνει τις απαιτήσεις της εφαρμογής, ανίχνευση και διαχείριση γεγονότος το οποίο χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και διαχείριση γεγονότων και API (Application Programming Interface), τα οποία καλούνται από τις εφαρμογές για να χρησιμοποιήσουν υπηρεσίες του middleware και να πετύχουν την κατάλληλη απόδοση και τις παραμέτρους QoS.

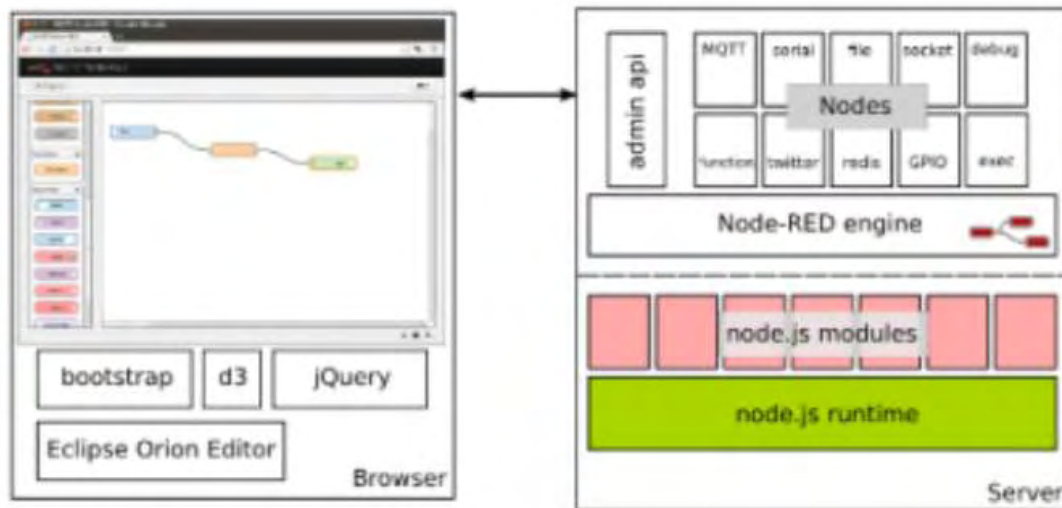
3.2.3 Η πλατφόρμα middleware Node-Red

Για τη δημιουργία εφαρμογών στο IoT, χρειάζεται να γίνει integration σε συσκευές διαφορετικού hardware, σε APIs και online services. Η συγγραφή κώδικα για την διασύνδεση διαφορετικών συστημάτων είναι αρκετά χρονοβόρα, ακόμα και για την απλή διασύνδεση σε μία σειριακή θύρα. Για αυτό το λόγο χρειάζονται εργαλεία για τους developers όλων των επιπέδων να συνδυάσουν τις ροές όλων των events, και σε φυσικό και σε ψηφιακό επίπεδο.

Το Node-Red είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης ανοιχτού κώδικα με δημιουργία ροών για την προσομοίωση virtual συσκευών IoT [24], APIs (Application Programming Interfaces), και για την ενσωμάτωση συσκευών IoT φυσικού hardware. Είναι έναν δωρεάν εργαλείο το οποίο έχει δημιουργηθεί από την IBM με βάση το middleware NodeJS, μια πλατφόρμα Javascript, η οποία χρησιμοποιεί μια μονάδα I/O, η οποία είναι event-driven και nonblocking και λειτουργεί σε κατανεμημένο υπολογιστικό περιβάλλον. Μπορεί να λειτουργήσει στο edge του δικτύου, καθώς έχει πολύ χαμηλό αποτύπωμα.

Παρέχει έναν editor μέσα σε browser(οπότε αναφερόμαστε σε visual programming) ως επιφάνεια χρήστη. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία ειδών κόμβου (Node-RED nodes) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι, έξοδοι, αποθήκευση ή και επιφάνεια χρήστη (user interface), οι οποίοι μπορούν να τοποθετηθούν στον editor με drag και drop και να συνδεθούν μεταξύ τους με καλώδια. Οι κόμβοι επί της ουσίας είναι τμήματα κώδικα που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και απλουστεύουν και επιταχύνουν την ανάπτυξη του λογικού.

Το Node-Red προσφέρει διάφορα είδη λειτουργικότητας, όπως η παρακολούθηση της ροής των δεδομένων ανάμεσα στους κόμβους της καρτέλας πληροφόρησης και αυτής του debugging. Οι ροές που έχουν δημιουργηθεί μπορούν να εξαχθούν ως αρχεία JSON. Το Node-RED επιτρέπει στους χρήστες την διασύνδεση κόμβων εισόδων και εξόδων για τη δημιουργία της ροής των δεδομένων και τη δημιουργία των μηνυμάτων (alerts), σε μορφή ήχου, μηνύματος email, ή άλλης ενέργειας, αφού έχουν επεξεργαστεί τα δεδομένα.



ΕΙΚΟΝΑ 7: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ NODE-RED

Η κύρια δομική μονάδα του Node-Red είναι ο κόμβος (Node), η οποία είναι μια γραφική αναπαράσταση ενός μπλόκ κώδικα JavaScript, ο οποίος έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί μία συγκεκριμένη λειτουργία μιας συσκευής IoT (π.χ. ανάγνωση μιας συγκεκριμένης τιμής).

Το κύριο πλεονέκτημα του Node-RED [25], είναι ότι πρόκειται για ένα οπτικό εργαλείο, το οποίο απλοποιεί την θέση σε λειτουργία των συσκευών IoT, ιδιαίτερα αν οι κόμβοι αυτών των συσκευών IoT έχουν ήδη δημιουργηθεί και δημοσιευθεί από άλλους. Το οπτικό εργαλείο στο Node-RED

επιτρέπει στους χρήστες το drag-and-drop των block που αναπαριστούν τμήματα ενός μεγαλύτερου συστήματος. Με αυτό τον τρόπο λοιπόν το Node-RED υποστηρίζει τη δημιουργία εφαρμογών IoT. Η μηχανή σύνθεσης (composition engine) λειτουργεί σαν συνδετικό ανάμεσα στις συσκευές IoT, οι οποίες αναπαρίστανται σαν κόμβοι (Nodes). Για να λειτουργεί μια συσκευή ή υπηρεσία στο Node-RED πρέπει να υπάρχουν τα κατάλληλα APIs για την επικοινωνία με τη συσκευή σαν βιβλιοθήκες (libraries) node.js ή σαν μονάδες που μπορούν να προσπελαστούν μέσω του Node-RED. Παρέχεται μια ελάχιστη μορφή ασφάλειας μέσω της επικύρωσης κωδικού (password authentication). Η ομάδα του Node-RED οραματίζεται το crowdsourcing μονάδων ή βιβλιοθηκών node.js για ετερογενείς συσκευές IoT, μέσω κοινωνικών δικτύων για Node-RED developers.

Το Node-RED δεν παρέχει ανίχνευση υπηρεσίας (service discovery). Βασίζεται στο node.js, το οποίο είναι μια νέα πλατφόρμα με περιορισμένες βιβλιοθήκες και μονάδες, των οποίων η λειτουργικότητα έχει κωδικοποιηθεί μέσω απλής JavaScript και έχει εκτελεστεί με χρήση του υπολογιστικού μοντέλου (computation model) που είναι ενσωματωμένο στο Node-RED για αλληλεπίδραση με τις φυσικές συσκευές σε πραγματικό χρόνο.

3.3 Εισαγωγή, ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων σε βάση InfluxDB

Τα δεδομένα χρονικής σειράς (time series data) είναι μια κατηγορία δεδομένων, η οποία αναπαριστά την μεταβολή του παρατηρούμενου μεγέθους σε σχέση με το χρόνο. Χρησιμοποιείται σε μεγάλο εύρος σε εφαρμογές μετρήσεων από δεδομένα αισθητηρίων IoT, βιομηχανικού IoT, ή ακόμα και συστήματα Βασικής Λειτουργίας και Συντήρησης (O&M).

Τα δεδομένα χρονικής σειράς έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Κάθε νέο δεδομένο αποθηκεύεται σαν νέα εγγραφή
- Τα δεδομένα αποθηκεύονται συνήθως σε χρονολογική σειρά
- Όλα τα δεδομένα έχουν χρονολογική σήμανση

Μια βάση δεδομένων χρονικής σειράς (TSDB) λειτουργεί δημιουργώντας εγγραφές χρόνου μαζί με τις αντίστοιχες δυναμικές τιμές. Η αποθήκευση των δεδομένων χρονικής σειράς δεν είναι πρόβλημα ακόμα και για τις παραδοσιακές βάσεις δεδομένων (relational databases). Η πρόκληση βρίσκεται στην αξιοποίηση συλλογή και ανάλυση των δεδομένων.

Η συνηθισμένη κατηγορία βάσης δεδομένων που ήταν σε χρήση μέχρι τώρα ήταν η SQL (Structured Query Language). Στην περίπτωση όμως των δεδομένων χρονικής σειράς, υπάρχει δυσκολία, καθώς αυτό το είδος βάσης δεδομένων δεν έχει σχεδιαστεί για να διαχειρίζεται μεγάλο όγκο δεδομένων.

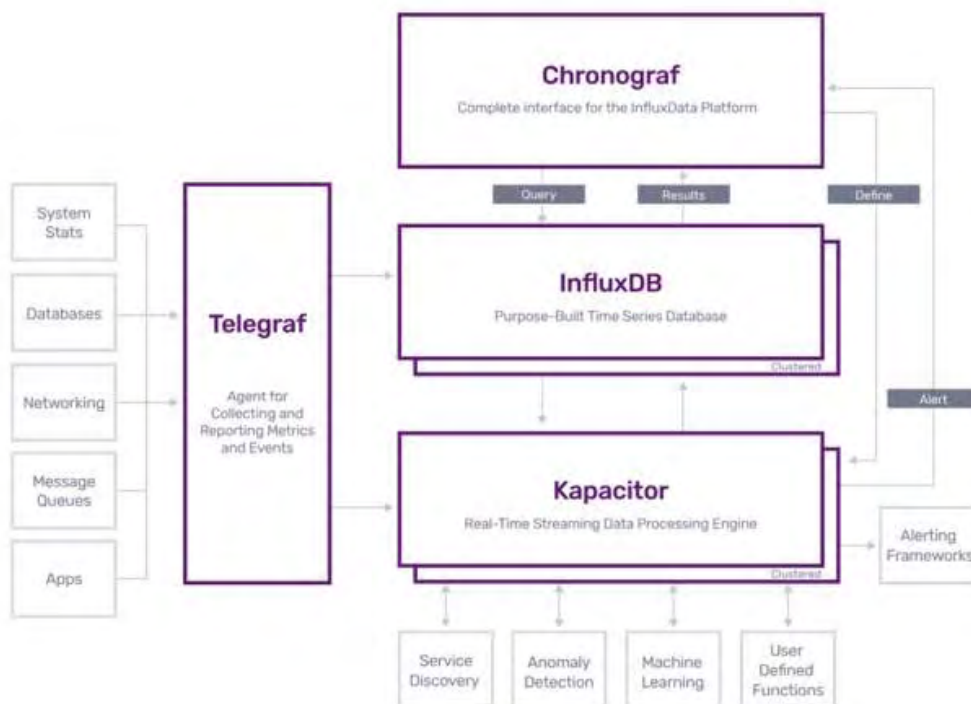
Οι καταναμημένες βάσεις δεδομένων NoSQL είναι μια επεκτάσιμη λύση για την αποθήκευση και διαχείριση τέτοιων υψηλών όγκων δεδομένων. Το βασικό πλεονέκτημα της βάσης δεδομένων NoSQL είναι ότι μπορεί να προσθέσει χωρητικότητα με οριζόντιο τρόπο (προσθέτοντας περισσότερες υπολογιστικές μηχανές). (Ενώ για παράδειγμα οι βάσεις SQL θα απαιτούσαν περισσότερη RAM και CPU στο ίδιο μηχάνημα που έχουν εγκατασταθεί, ακολουθώντας τον περιορισμό αυτού του μηχανήματος).

Στην εφαρμογή που διαπραγματευόμαστε χρησιμοποιούμε τη σειριακή βάση δεδομένων InfluxDB, της στοίβας TICK, για την αποθήκευση των δεδομένων των μετρήσεων, καθώς παρέχει μια σειρά πλεονεκτημάτων, όπως το εύκολο deployment σε λίγα λεπτά, εύκολη στη χρήση με μεγάλες δυνατότητες επέκτασης, διατηρώντας την βέλτιστη ταχύτητα και απόδοση.

Η στοίβα TICK είναι μια συλλογή διαφορετικών λογισμικών σε ανοιχτό κώδικα, τα οποία συνδυάζονται και δημιουργούν μια πλατφόρμα για την εύκολη αποθήκευση, οπτικοποίηση και καταγραφή δεδομένων χρονικής σειράς, όπως οι μετρήσεις και τα γεγονότα. Η στοίβα αποτελείται από: το **Telegraf**, έναν παράγοντα διακομιστή για τη συλλογή και αναφορά μετρήσεων, την **InfluxDB**, μια βάση δεδομένων χρονικής σειράς υψηλής απόδοσης, το **Chronograf**, μια διεπαφή χρήστη για την πλατφόρμα, και το **Kapacitor**, μία μηχανή ανάλυσης δεδομένων, η οποία διαχειρίζεται τα δεδομένα.

Συστήματα IoT Ασύρματων Κόμβων – Τεχνικό Υπόβαθρο-Εισαγωγή, ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων σε βάση InfluxDB

Βασίζεται στο μοντέλο διαχείρισης δεδομένων rpush, όπου ο διακομιστής είναι αυτός που ξεκινάει την επικοινωνία στους επιμέρους clients. Η καρδιά του συστήματος είναι η InfluxDB, η οποία είναι μία από τις βάσεις δεδομένων χρονικής σειράς με την καλύτερη απόδοση. Η στοίβα υποστηρίζεται από την InfluxData, και παρά το γεγονός ότι χρειάζεται η επαγγελματική της έκδοση για κάποιες λειτουργίες, όπως η κατηγοριοποίηση των βάσεων δεδομένων, ακόμα και η δωρεάν διατιθέμενη έκδοση είναι μια πολύ καλή επιλογή για την καταγραφή δεδομένων.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΗΨΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩ NODE-RED

Η **InfluxDB** είναι μια βάση δεδομένων χρονικής σειράς που έχει γραφτεί από το μηδέν για να διαχειρίζεται μεγάλο όγκο εγγραφής δεδομένων και επεξεργασίας μετρήσεων. Είναι μια διαμορφούμενη βάση αποθήκευσης δεδομένων, η οποία έχει γραφτεί ειδικά για δεδομένα με χρονική σήμανση και είναι ιδιαίτερα εύχρηστη σε περιπτώσεις όπως η καταγραφή DevOps, καταγραφή IoT και ανάλυση δεδομένων πραγματικού χρόνου. Γίνεται εξοικονόμηση χώρου στην υπολογιστική μηχανή, ρυθμίζοντας την InfluxDB να διατηρεί τα δεδομένα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, όπου όταν αυτό λήγει να τα διαγράφει από το σύστημα. Επίσης η InfluxDB παρέχει μια γλώσσα επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων τύπου SQL.

Το **Telegraf** είναι ένας παράγοντας διακομιστή που βασίζεται σε πρόθετο (plugin-driven server agent) για τη συλλογή και τη δημιουργία αναφορών δεδομένων. Τα πρόσθετα (plugins) του Telegraf λαμβάνουν ένα πλήθος δεδομένων άμεσα από την υπολογιστική μηχανή στην οποία έχει στηθεί, εξάγοντας στοιχεία από APIs τρίτων για τη συλλογή και αναφορά μετρήσεων. Τα πρόσθετα (plugins) του Telegraf λαμβάνουν ένα πλήθος μετρήσεων άμεσα από το σύστημα στο οποίο είναι στημένο, τραβώντας μετρήσεις από APIs τρίτων, ή ακόμα ακούνε μετρήσεις μέσω υπηρεσιών client μέσω StatsD και Kafka. Επίσης έχει πρόσθετα εξόδου για να αποστέλλει μετρήσεις σε άλλα datastores, υπηρεσίες και ακολουθίες μηνυμάτων, συμπεριλαμβανομένων και της Influxdb, του Graphite, της OpenTSDB, του Datalog, της Librato, της Kafka, του MQTT, NSQ και πολλών άλλων.

Συστήματα IoT Ασύρματων Κόμβων – Τεχνικό Υπόβαθρο-Εισαγωγή, ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων σε βάση InfluxDB

Το **Chronograf** είναι η επιφάνεια διαχείρισης του χρήστη και η μηχανή οπτικοποίησης της στοιβάδας. Διευκολύνει την εγκατάσταση, συντήρηση, παρακολούθηση και δημιουργία alerts. Είναι εύκολη στη χρήση και συμπεριλαμβάνει πρότυπα και βιβλιοθήκες που επιτρέπουν την γρήγορη δημιουργία dashboards με οπτικοποίηση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και εύκολη δημιουργία κανόνων για alerts και αυτοματισμό.

Το **Kapacitor** είναι μια πρωτογενής μηχανή επεξεργασίας δεδομένων. Μπορεί να επεξεργαστεί δεδομένα ροής ή πακέτα δεδομένων που προέρχονται από την Influxdb. Το Kapacitor επιτρέπει τον προγραμματισμό προσαρμοσμένης λογικής στα queries των δεδομένων και ρυθμισμένων λειτουργιών από τον χρήστη για την επεξεργασία των alerts με δυναμικά όρια (thresholds), το ταίριασμα των μετρήσεων με μοτίβα, ο υπολογισμός στατιστικών ανωμαλιών, και η εκτέλεση συγκεκριμένων ενεργειών με βάση αυτά τα alerts, όπως η δυναμική ανακατανομή του φορτίου. Το Kapacitor μπορεί να ενσωματωθεί με το HipChat, το OpsGenie, το Alerta, το Sensu, το PagerDuty, το Slack και πολλά άλλα.

4 Περιγραφή Προτεινόμενου Συστήματος IoT Ασύρματων Κόμβων

Στην προτεινόμενη εφαρμογή IoT που μελετούμε, παρουσιάζουμε την λειτουργία ανομοιογενών ασύρματων κόμβων και επιχειρούμε να συνδυάσουμε δεδομένα ξεχωριστών πρωτοκόλλων, έτσι ώστε να παρουσιάσουμε σε λειτουργία πραγματικού χρόνου, την πρότυπη λειτουργικότητα καταναλώσεων φωτισμού και θέρμανσης, καθώς και τις δυνατότητες ενεργειακά ορθολογικής τους χρήσης.

Ειδικότερα ενσωματώνουμε ανομοιογενείς ασύρματους κόμβους μεταξύ τους :

- Επιδεικνύουμε το χειρισμό του φωτισμού από διακόπτη KNX RF ενεργοποιώντας την 1^η έξοδο στον ενεργοποιητή ZWave
- Δημιουργούμε θερμοστάτη χειρισμού θέρμανσης σε high level, συνδυάζοντας εντολή on/ pff από το μπουτόν KNX RF, ελέγχοντας τις θερμοκρασιακές συνθήκες του χώρου μέσω του αισθητηρίου Zigbee. Ο χρήστης εισάγει την επιθυμητή θερμοκρασία χώρου στην διεπαφή χρήστη του Node-RED που λειτουργεί στην εφαρμογή μας ως Τεχνικό Σύστημα Διαχείρισης του κτιρίου. Η εφαρμογή που κατασκευάζουμε ελέγχει την επιθυμητή θερμοκρασία σε σχέση με την θερμοκρασία που εισάγει ο χρήστης, ελέγχει αν το μπουτόν θέρμανσης είναι πατημένο ή όχι, και ανάλογα ενεργεί τη 2^η έξοδο του ενεργοποιητή Zwave.

Δημιουργούμε διεπαφή χρήστη που λειτουργεί ως Τεχνικό Σύστημα Διαχείρισης Κτιρίου (TBMS):

- Δημιουργούμε διεπαφή χρήστη στο Node-RED, η οποία λειτουργεί ως Τεχνικό Σύστημα Διαχείρισης του Κτιρίου. Συνθέτουμε dashboards όπου αναγράφονται οι καταναλώσεις ισχύος και ενέργειας στο φωτισμό και στη θέρμανση, τις περιβαλλοντικές συνθήκες εσωτερικά (θερμοκρασία, υγρασία και φωτεινότητα) και εξωτερικά (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ατμοσφαιρική πίεση) του κτιρίου.
- Εμφανίζουμε την κατάσταση λειτουργίας των ασύρματων κόμβων (linkquality, στάθμη μπαταρίας κλπ), έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε την απρόσκοπτη λειτουργία τους.
- Εμφανίζουμε και επιτηρούμε την συνδεσιμότητα των RF adapters, έτσι ώστε να εξασφαλίζουμε την σταθερότητα και των διαφορετικών μεμονωμένων ασύρματων δικτύων.

Εισάγουμε τον χρήστη του κτιρίου σαν ενσωματωμένη λειτουργική οντότητα του κτιρίου

- Καταγράφουμε τους χρήστες του κτιρίου σε βάση δεδομένων χρονικής σειράς, διερευνώντας τις MAC Addresses που ανιχνεύονται από τα BLE beacons των χρηστών. Απομονώνουμε τον χρήστη με MAC Address d35c72e7db69 και παρατηρούμε την παρουσία του στο χώρο (ανάλογα με το αν υπάρχουν μετρήσεις RSSI από αυτό το beacon). Με αυτόν τον τρόπο (αν υπάρχουν μετρήσεις RSSI για το MAC Address d35c72e7db69) μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για το χρόνο προσέλευσης και αποχώρησης του χρήστη αυτού, για τη διάρκεια της απουσίας του κ.λ.π.
- Καθώς είναι ο μόνος χρήστης που έχει φυσική πρόσβαση στο χώρο που έχει εγκατασταθεί η πειραματική διάταξη, θεωρούμε ότι οι ενέργειες που εκτελούνται στο μπουτόν KNX RF, αφορούν χειρισμούς και μπορούν να αποδοθούν στον ίδιο χρήστη. Καταγράφουμε σε βάση δεδομένων χρονικής σειράς τους χειρισμούς του χρήστη όσον αφορά το φωτισμό και τη θέρμανση. Αυτή η καταγραφή μας επιτρέπει να διασταυρώσουμε και να συσχετίσουμε τις ενέργειές του.

Αποθηκεύουμε τα μετρούμενα μεγέθη των περιβαλλοντικών συνθηκών και λειτουργίας σε εξωτερική βάση δεδομένων χρονικής σειράς και δημιουργούμε κατάλληλα dashboards, τα οποία λειτουργούν σαν κέντρο λήψης αποφάσεων για την κτιριακή εγκατάσταση:

- Καταγράφουμε όλα τα μετρούμενα κλιματολογικά μεγέθη εσωτερικά του κτιρίου, όπως η θερμοκρασία, υγρασία και το επίπεδο φωτεινότητας.

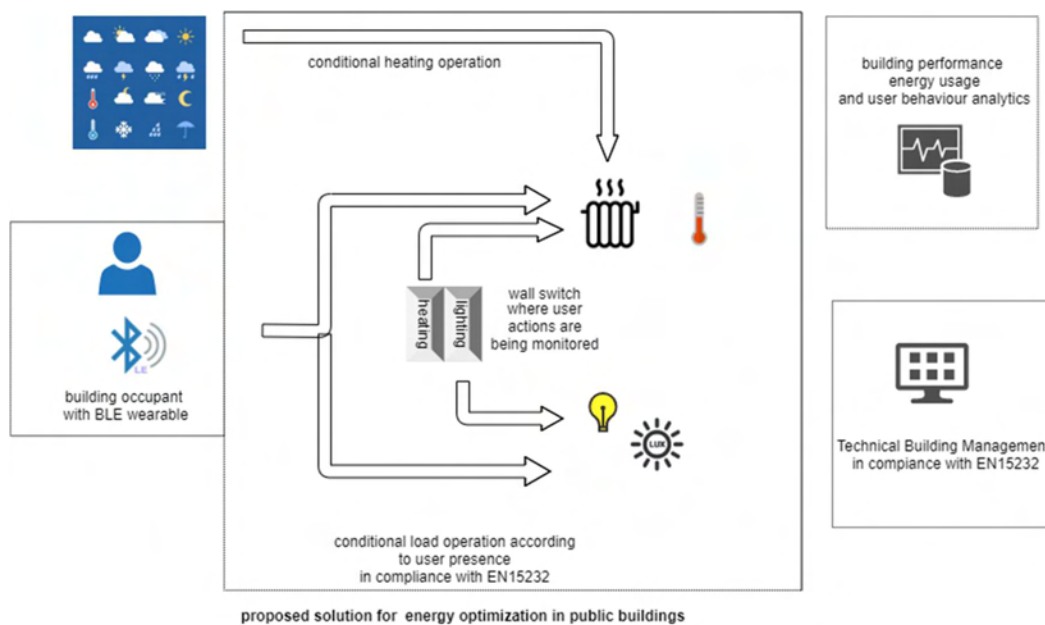
Περιγραφή Προτεινόμενου Συστήματος IoT Ασύρματων Κόμβων-Το hardware και τα components του προτεινόμενου Συστήματος IoT

- Καταγράφουμε όλα τα μετρούμενα κλιματολογικά μεγέθη εξωτερικά του κτιρίου, όπως η εξωτερική θερμοκρασία, η υγρασία, η κατεύθυνση του ανέμου και η ατμοσφαιρική πίεση.
- Καταγράφουμε τις ενέργειες του χρήστη d35c72e7db69, όσον αφορά το χειρισμό της θέρμανσης και του φωτισμού
- Καταγράφουμε τις ώρες προσέλευσης και αποχώρησης του χρήστη d35c72e7db69.
- Καταγράφουμε τα δεδομένα ηλεκτρικής κατανάλωσης και ισχύος σε σχέση με τη θέρμανση και τον φωτισμό.

Παρουσιάζουμε **παραδείγματα χειρισμών Demand Side Management με Direct Load Control**:

- Ανάλογα με την απουσία του χρήστη με MAC Address d35c72e7db69 απενεργοποιούμε τις καταναλώσεις φωτισμού και θέρμανσης με Direct Load Control για να αποφευχθεί η άσκοπη χρήση της ενέργειας.
- Επιτηρούμε την εξωτερική θερμοκρασία στην περιοχή που βρίσκεται το κτίριο ανά τακτά χρονικά διαστήματα, και εφόσον αυτή είναι μεγαλύτερη από 20°C, απενεργοποιούμε κεντρικά τη θέρμανση.

Το σύνολο της προτεινόμενης λύσης συνοψίζεται στο παρακάτω λειτουργικό διάγραμμα:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΛΥΣΗΣ

4.1 Το hardware και τα components του προτεινόμενου Συστήματος IoT

Για την επίτευξη του ανωτέρου σεναρίου λειτουργίας του κτιρίου, επιλέγουμε εξοπλισμό αυτοματισμού, αισθητήρια θερμοκρασίας, υγρασίας, ενεργοποιητή και μπουτόν χειρισμού, έτσι ώστε να μμηθούμε τις μεμονωμένες λειτουργίες φωτισμού και θέρμανσης.

Η επιλογή των υλικών γίνεται με γνώμονα να εφαρμόσουμε τα πιο γνωστά πρωτόκολλα ασύρματων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, που χρησιμοποιούνται στον κτιριακό αυτοματισμό και τις ανακαινίσεις, είναι το KNX RF, το Zigbee, και το ZWave.

Επιπρόσθετα χρησιμοποιούμε και το πρωτόκολλο Bluetooth, καθώς η διάδοσή του σε φορητές συσκευές και wearables μας διευκολύνει να αναλύσουμε τη συμπεριφορά του κάθε χρήστη στο κτίριο, καθώς έχουμε τη δυνατότητα να συσχετίσουμε τον κάθε χρήστη με χώρους τους κτιρίου και κατ' επέκταση συγκεκριμένους χειρισμούς στο κτίριο.

Περιγραφή Προτεινόμενου Συστήματος IoT Ασύρματων Κόμβων-Το hardware και τα components του προτεινόμενου Συστήματος IoT

Standard	Max TX Range ¹	Max Data Rate	Application Throughput	Band	Application	Topology	
ZigBee	IEEE 802.15.4	100 m	500 kbps	35.0 kbps	2.4 GHz	Wireless Sensors	Star, Mesh
Z-Wave	Proprietary	100 m	100 kbps	6 kbps	900 MHz 2.4 GHz	Wireless Sensors	Mesh
ANT+	Proprietary	30 m	60 kbps	260kbps	2.4 GHz	Wireless Sensors	Star, Tree, P2P, Mesh
Bluetooth	IEEE 802.15.1	10 m	1-3 Mbps	2.1Mbps	2.4 GHz	Wireless Sensors	P2P, Star
Bluetooth 4.0 LE	IEEE 802.15.1	100 m	2 Mbps	305 kbps	2.4 GHz	Wireless Sensors	P2P, Mesh, Star, Broadcast
Bluetooth 5.0 LE	IEEE 802.15.1	400 m	2 Mbps	1360 kbps	2.4 GHz	Wireless Sensors	P2P, Mesh, Star, Broadcast
Wi-Fi	IEEE 802.11a WLAN	5 km	54 Mbps	20 Mbps	5 GHz	PC based data acquisition	Star, Tree, P2P
Wi-Fi 4	IEEE 802.11n	250 m	600 Mbps	72 Mbps	2.4 GHz	PC based data acquisition	Star, Tree, P2P
WiMAX	IEEE 802.16 WWAN	15 km	75 Mbps	4-8 Mbps	2.3-5.8 GHz	MobileInternet	Star, Tree, P2P

¹ (open-air outdoor).

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ [32]

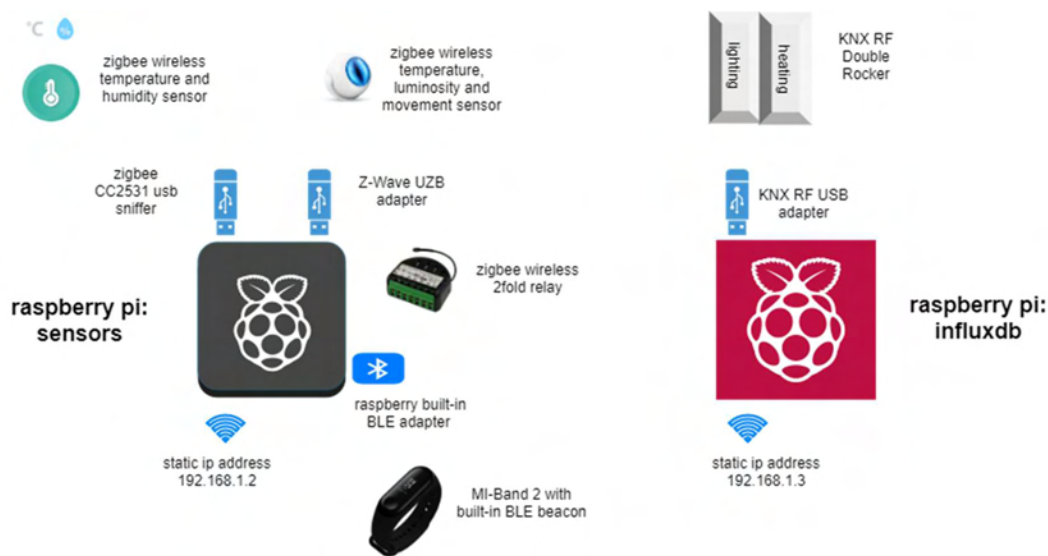
Για τη μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας, επιλέγουμε αισθητήρα μπαταρίας ασύρματο, της εταιρείας Xiaomi που λειτουργεί με πρωτόκολλο Zigbee, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό του θερμοστάτη σε high level.

Για την λειτουργία φωτισμού και θέρμανσης, χρησιμοποιούμε ενεργοποιητή 2 εξόδων της εταιρείας Fibaro που λειτουργεί με πρωτόκολλα Z-Wave, όπου η 1^η έξοδος του ενεργοποιητή θα χρησιμοποιηθεί για τον φωτισμό, ενώ η 2^η θα χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση.

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, φωτεινότητας και έλεγχου της κίνησης, επιλέγουμε αισθητήρα ασύρματο μπαταρίας της εταιρείας Fibaro που λειτουργεί με πρωτόκολλο Z-Wave, για επιπρόσθετη ένδειξη και καταγραφή των παραπάνω μεγεθών.

Για το χειρισμό του φωτισμού και της θέρμανσης επιλέγουμε ασύρματο μπουτόν KNX RF της εταιρείας ZF Cherry.

Για την παρακολούθηση του χρήστη του κτιρίου χρησιμοποιούμε το wearable BLE της εταιρείας Xiaomi.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ HARDWARE ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Περιγραφή Προτεινόμενου Συστήματος IoT Ασύρματων Κόμβων-Αρχιτεκτονική του προτεινόμενου Συστήματος IoT

Στο παραπάνω διάγραμμα εμφανίζουμε το σύνολο του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή και θέση σε λειτουργία της διάταξης συγκέντρωσης και επεξεργασίας δεδομένων από αισθητήρια ασύρματων κόμβων.

Για την εγκατάσταση της πλατφόρμας Node-RED για την διασύνδεση των διαφορετικών πρωτοκόλλων μεταξύ τους , και την δημιουργία εφαρμογής Τεχνικής Διαχείρισης Κτιρίου, καθώς και την εγκατάσταση της βάσης δεδομένων InfluxDB για την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων, θα χρησιμοποιήσουμε 2 Raspberry Pi 3.

Το 1ο Raspberry με την ονομασία sensors και στατική IP 192.168.1.2 θα το χρησιμοποιήσουμε σαν σημείο λήψης δεδομένων (data acquisition) από τα δίκτυα Zigbee, BLE, και Z-Wave όπου και θα τοποθετήσουμε τα αντίστοιχα adapters στις θύρες USB του Raspberry. Το σύνολο των δεδομένων από όλα τα ασύρματα δίκτυα θα καταλήγει στο middleware Node-RED που είναι προεγκατεστημένο πάνω στο λειτουργικό Debian Buster.

Το 2^ο Raspberry με την ονομασία influxdb και στατική IP 192.168.1.3 θα το χρησιμοποιήσουμε σαν σημείο λήψης δεδομένων KNX RF. Επιπρόσθετα θα χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση σε βάση δεδομένων InfluxDB και επεξεργασία των στοιχείων των ασύρματων κόμβων.

4.2 Αρχιτεκτονική του προτεινόμενου Συστήματος IoT

Για τη λήψη των δεδομένων και την επεξεργασία τους, θα χρησιμοποιήσουμε όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη ενότητα το middleware Node-RED, ενώ για τη διασύνδεση των διαφορετικών πρωτοκόλλων μεταξύ τους θα προγραμματίσουμε bridges έτσι ώστε τα διαφορετικά, ετερογενή μεταξύ τους, πρωτόκολλα αυτοματισμού, να μπορούν να αποστείλουν τα δεδομένα τους σε κοινά αποδεκτή μορφοποίηση JSON. Για αυτό το σκοπό θα χρησιμοποιήσουμε κόμβους επικοινωνίας node-RED για κάθε πρωτόκολλο ξεχωριστά, μαζί με τις κατάλληλες βιβλιοθήκες του NodeJS που λειτουργούν σαν APIs .

Στο παρακάτω διάγραμμα εμφανίζουμε την αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος IoT, που θα υλοποιήσουμε, έτσι ώστε να μπορούμε να έχουμε το σύνολο των δεδομένων σε κοινή πλατφόρμα διεπαφής χρήστη.

Αναλυτικότερα:

Για τη λειτουργία του δικτύου BLE θα χρησιμοποιήσουμε τα node-red-contrib-noble και node-red-contrib-blebeacon-scanner μαζί με τις βιβλιοθήκες bluetooth-hci-socket, και τα APIs @abandonware/noble και noble.

Για τη λειτουργία του δικτύου KNX RF θα χρησιμοποιήσουμε το node-red-contrib-knx με το API knxjs και το Debian package knxd. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επικοινωνία μεταξύ του knxjs και του knxd υλοποιείται μέσω KNXnet/IP tunneling.

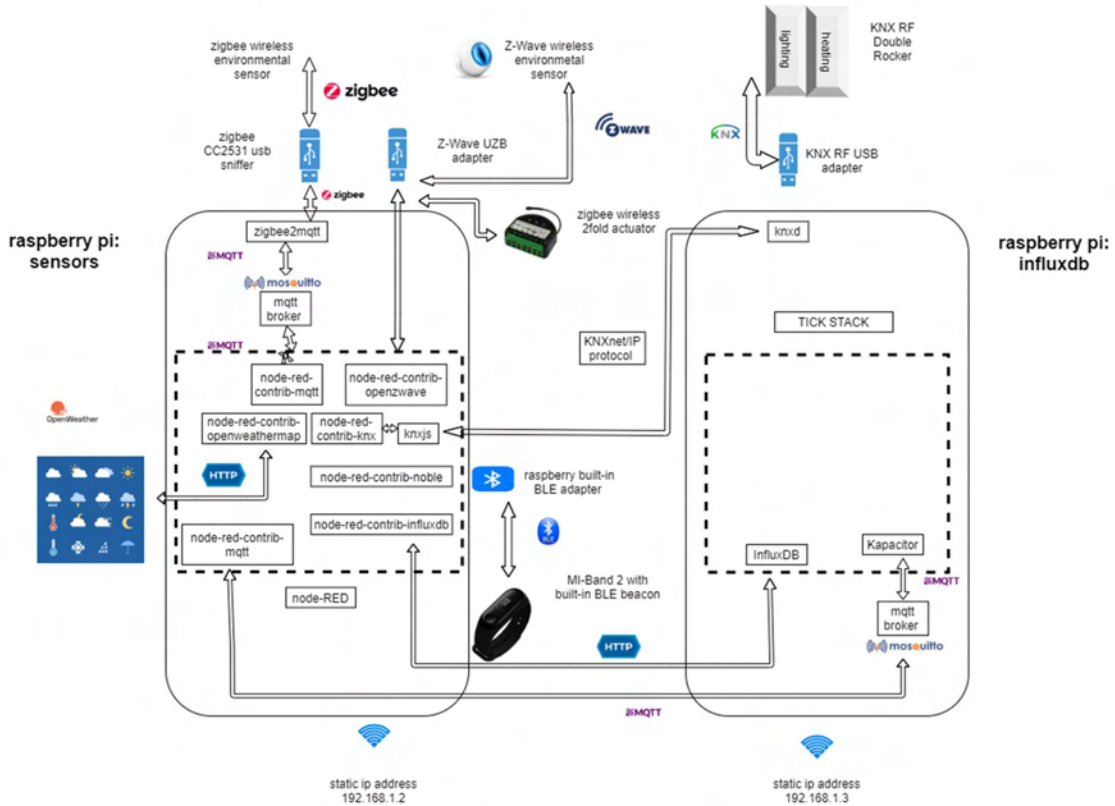
Για τη λειτουργία του δικτύου Zigbee θα χρησιμοποιήσουμε το node-red-contrib-mqtt , τη βιβλιοθήκη mosquito (raspberrypi sensors και raspberrypi influxdb) και το API zigbee2mqtt.

Για τη λειτουργία του δικτύου Z-Wave θα χρησιμοποιήσουμε το node-red-contrib-openzwave και το API openzwave-shared.

Για τη λειτουργία του web service openweathermap θα χρησιμοποιήσουμε το node-red-contrib-openweathermap.

Περιγραφή Προτεινόμενου Συστήματος IoT Ασύρματων Κόμβων-Αρχιτεκτονική του προτεινόμενου Συστήματος IoT

Με αυτό τον τρόπο θα ενσωματώσουμε τα δεδομένα από τους αισθητήρες στο Node-RED και θα επιλέξουμε τα δεδομένα που είναι χρήσιμα για την δημιουργία λειτουργιών και συσχετισμών σε σχέση με το κτίριο.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ IoT

Για τη συγκέντρωση και επεξεργασία των δεδομένων όλων των αισθητήρων και ενεργοποιητών των ασύρματων δικτύων θα εγκαταστήσουμε στο raspberry influxdb βάση δεδομένων influxdb, το engine kapacitor, το plugin telegraf και το user interface Chronograf.

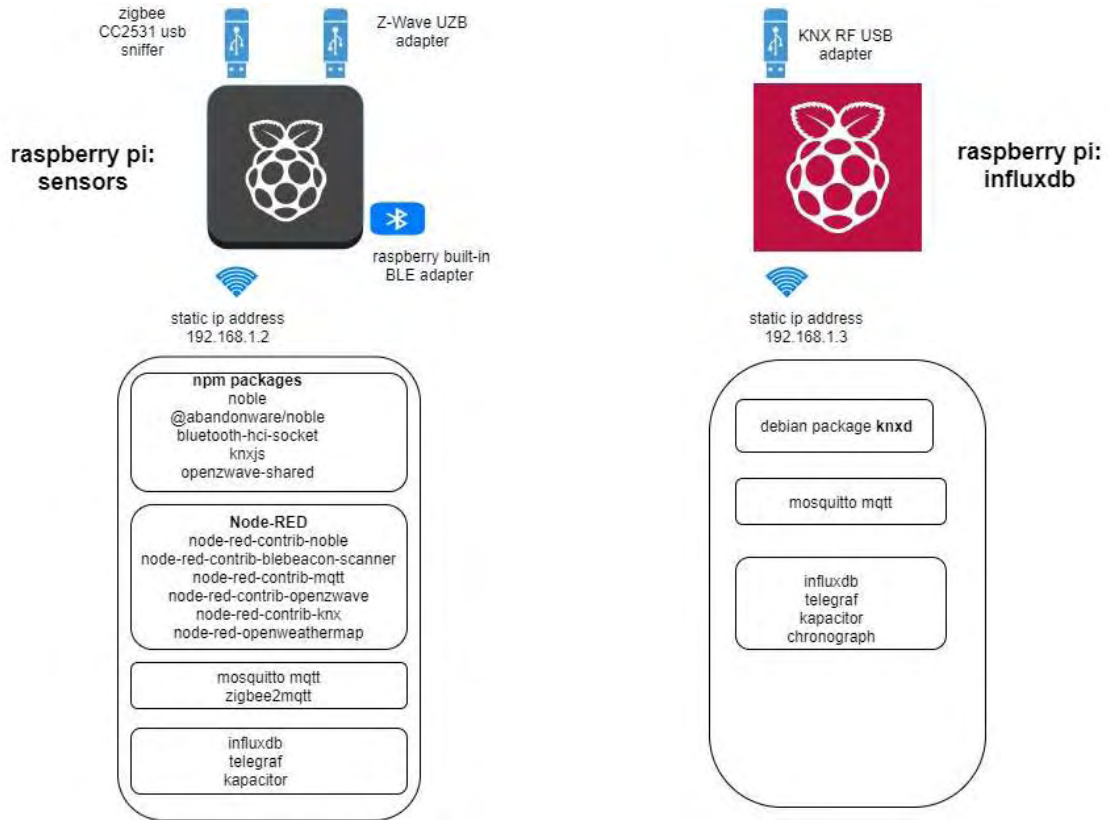
Τα δεδομένα που μας ενδιαφέρουν θα οδηγηθούν μέσω κατάλληλων measurements και του κόμβου node-red-contrib-influxdb από το raspberry sensors στο raspberry influxdb, μέσω του πρωτοκόλλου http.

Για την επιτήρηση της λειτουργίας των πόρων του raspberry sensors θα εγκαταστήσουμε τη βάση δεδομένων influxdb, το engine kapacitor και το plugin telegraf.

Με σκοπό την αξιολόγηση των δεδομένων που λαμβάνουμε από το δίκτυο των αισθητήρων θα ενεργοποιήσουμε το mqtt alert handler στο engine του kapacitor, έτσι ώστε να μπορέσουμε να κάνουμε το Direct Load Control του φωτισμού και της θέρμανσης σε συνάρτηση με την παρουσία του χρήστη και την εξωτερική θερμοκρασία. μέσω διαφορετικών topics στον mqtt broker .

Στο παρακάτω διάγραμμα παραθέτουμε αναλυτικά το λογισμικό που έχει εγκατασταθεί σε κάθε raspberry.

Περιγραφή Προτεινόμενου Συστήματος IoT Ασύρματων Κόμβων-Αρχιτεκτονική του προτεινόμενου Συστήματος IoT



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΘΕΙ ΣΕ ΚΑΘΕ RASPBERRY

5 Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT

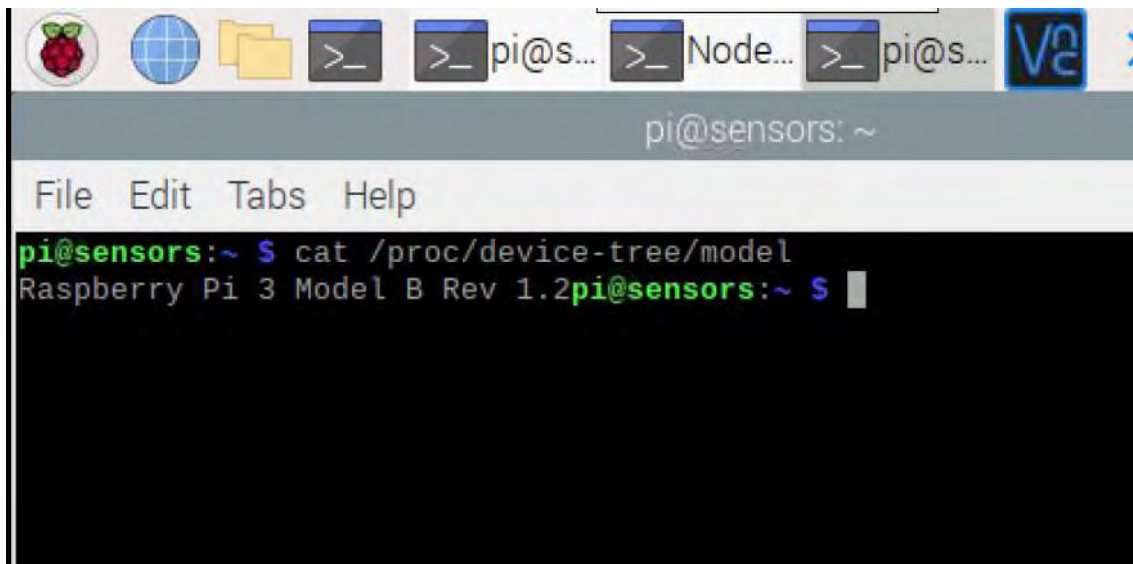
Στις επόμενες ενότητες θα αναλύσουμε κάθε πρωτόκολλο ασύρματου δικτύου ξεχωριστά, και θα περιγράψουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του, πώς γίνεται το deployment κάθε δικτύου και πώς το διαχειριζόμαστε στο Node-RED.

5.1 Διακομιστές της εφαρμογής

Για τον προγραμματισμό της εφαρμογής backend και frontend χρησιμοποιούμε 2 Raspberry Pi, πάνω στα οποία έχουμε εγκαταστήσει λειτουργικό σύστημα linux, Debian buster.

Όπως αναγνωρίζουμε στο command line, χρησιμοποιούμε Raspberry Pi 3 Model B, με τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά (σύμφωνα με το www.raspberrypi.org)

- Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
- Μνήμη 1GB RAM
- Ενσωματωμένο adapter BCM43438 για wireless LAN
- Ενσωματωμένο adapter Bluetooth Low Energy (BLE)
- Θύρα 100 Base Ethernet
- 40 Pins γενικής χρήσης (40-pin extended GPIO)
- 4 θύρες USB 2.0
- Θύρα HDMI πλήρους μεγέθους
- Θύρα για CSI camera port για την σύνδεση της κάμερας του Raspberry Pi
- Θύρα ενδείξεων DSI για σύνδεση οθόνης αφής
- Θύρα Micro SD για την φόρτωση του λειτουργικού συστήματος και αποθήκευση των δεδομένων
- Αναβαθμισμένη διακοπτόμενη λήψη για Micro USB μέχρι 2.5A



```
pi@sensors: ~  
File Edit Tabs Help  
pi@sensors:~ $ cat /proc/device-tree/model  
Raspberry Pi 3 Model B Rev 1.2pi@sensors:~ $
```

ΕΙΚΟΝΑ 8: ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ HARDWARE ΣΤΟ CLI

Το Raspberry Pi [33] είναι μια ιδιαίτερα δημοφιλής λύση, για κατασκευή συστημάτων και εφαρμογών IoT, καθώς εκτός του χαμηλού του κόστους και του μικρού του μεγέθους, παρουσιάζει μια σειρά πλεονεκτημάτων, όπως είναι η μνήμη που διαθέτει, οι θύρες επικοινωνίας (ethernet και WiFi) παρέχουν πρόσβαση στο Internet, οπότε και απομακρυσμένο έλεγχο.

5.2 Το πρωτόκολλο Bluetooth

Το πρωτόκολλο Bluetooth αρχικά επινοήθηκε από τον Dr. Jaap Haartsen στην Ericsson το 1994. Ονομάστηκε έτσι σύμφωνα με έναν διαβόητο Viking και βασιλιά ο οποίος ένωσε το 10^ο αιώνα την Δανία με την Νορβηγία. Εκείνη την εποχή επινοήθηκε προς αντικατάσταση των καλωδίων επικοινωνίας RS-232, ένα πολύ παλιό πρότυπο της δεκαετίας του 1960. Το Bluetooth χρησιμοποιεί μικρής εμβέλειας ραδιοκύματα UHF, μεταξύ 2.4 και 2.485 GHz. Παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιεί κοντινές συχνότητες στο Wi-Fi, το πρωτόκολλο Bluetooth έχει σχεδιαστεί για μικρότερες εμβέλειες με χαμηλότερη ισχύ εκπομπής.

Φυσική εξέλιξη του κλασικού προτύπου Bluetooth [34], το οποίο είχε σαν πρωταρχικό στόχο την παροχή υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης για την μετάδοση ήχου και δεδομένων, είναι η δημιουργία του Bluetooth Low Energy (BLE). Το BLE εξελίχθηκε με σκοπό την δημιουργία τεχνολογίας χαμηλής ταχύτητας δεδομένων, κατάλληλης για εφαρμογές IoT σε εξοπλισμό περιορισμένων πόρων.

5.2.1 Η αναγνώριση του hardware του BLE adapter

```

pi@sensors:~$ btmgmt info
Index list with 1 item
hci0: Primary controller
      addr B8:27:EB:93:CD:24 version 7 manufacturer 15 class 0x4c0000
      supported settings: powered connectable fast-connectable discoverable bondable link-security ssp br/edr hs le advertising secure-conn debug-keys privacy static-addr
      current settings: powered bondable ssp br/edr le secure-conn
      name sensors
      short name
    
```

ΕΙΚΟΝΑ 9: ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ BLE ADAPTER ΣΤΟ CLI

Από την παραπάνω εικόνα αναγνωρίζουμε ότι ο ble adapter του Raspberry Pi με το όνομα sensors φέρει τα εξής χαρακτηριστικά στο current settings:

- Φέρει MAC Address: B8:27:93:CD:24
- Υποστηρίζει version 7 του Bluetooth, το οποίο ανάγεται στην έκδοση Bluetooth 4.1
- Υποστηρίζει BLE- Bluetooth Low Energy, καθώς βλέπουμε ότι
- powered -> Είναι ενεργοποιημένο
- ssp -> Υποστηρίζει το μηχανισμό Secure Simple Pairing για την ζεύξη του adapter με συσκευές Bluetooth. (Το SSP βελτιώνει τη διαδικασία ζεύξης και βελτιώνει την ασφάλεια του Bluetooth)
- bondable -> Ο adapter είναι σε bondable mode, το οποίο σημαίνει ότι δέχεται τα αιτήματα ζεύξης που ενεργοποιούνται από το απομακρυσμένο εξάρτημα bluetooth
- br/edr -> Υποστηρίζει τη λειτουργία BR/EDR

Η μεταφορά ασύρματων δεδομένων (Ο Βασικός Ρυθμός/Βελτιωμένος Ρυθμός Δεδομένων - Basic Rate / Enhanced Data Rate (BR/EDR) στο Φυσικό Επίπεδο (physical layer ή PHY) λειτουργεί στην μπάντα ISM χωρίς άδεια των 2.4 GHz. Το σύστημα χρησιμοποιεί έναν πομποδέκτη μετατόπισης συχνότητας (frequency hopping transceiver) για να αποφύγει τις παρεμβολές και τη μείωση του σήματος. Η βασική λειτουργία Βασικού Ρυθμού (BR) χρησιμοποιεί μια σχηματισμένη δυαδική ρύθμιση συχνότητας για να μειώσει την πολυπλοκότητα του πομποδέκτη. Ο ρυθμός των συμβόλων είναι 1 Megabyte ανά δευτερόλεπτο (Ms/s), υποστηρίζοντας τον ρυθμό bit (bit rate) 1 Megabit ανά δευτερόλεπτο (Mb/s) ή, με τον Βελτιωμένο Ρυθμό Δεδομένων (EDR), με έναν χονδρικό ρυθμό δεδομένων στον αέρα της τάξεως των 2 ή 3Mb/s. Αυτοί οι τρόποι λειτουργίας είναι γνωστοί αντίστοιχα ως Λειτουργία Βασικού Ρυθμού (BR) και Λειτουργία Βελτιωμένου Ρυθμού Δεδομένων (EDR) αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας ένα φυσικό ραδιοκάνάλι διαμοιράζεται ανάμεσα σε μια ομάδα συσκευών, οι οποίες έχουν συγχρονιστεί με ένα κοινό πρότυπο χρονισμού και μετατόπισης συχνότητας.

Ένα εξάρτημα παρέχει την αναφορά συγχρονισμού και αυτό είναι γνωστό σαν master. Όλα τα άλλα εξαρτήματα που έχουν συγχρονιστεί στο ρολόι του master και στο πρότυπο μετατόπισης συχνότητας ονομάζονται slaves. Μια ομάδα εξαρτημάτων που έχουν συγχρονιστεί με αυτό τον τρόπο σχηματίζουν ένα piconet (μικροδίκτυο) Αυτή είναι η βασική μορφή της επικοινωνίας στην ασύρματη τεχνολογία Bluetooth BR/EDR .

- secure-conn -> secure connections only σημαίνει ότι ο adapter επιτρέπει μόνο τη χρήση ασφαλών αλγορίθμων FIPS στη φυσική μεταφορά BR/EDR.

Σαν θεώρηση εργασίας, παρακολουθούμε την ανίχνευση από τον bluetooth adapter του raspberry pi sensors φορητή συσκευή (fitness tracker) ονόματος MI Band 2

5.2.2 Η σύγκριση μεταξύ του πρωτοκόλλου Bluetooth και BLE

	Bluetooth Low Energy (LE)	Bluetooth Basic Rate/ Enhanced Data Rate (BR/EDR)
Ζώνη Συχνοτήτων	2.4GHz ISM Band (2.402 – 2.480 GHz Utilized)	2.4GHz ISM Band (2.402 – 2.480 GHz Utilized)
Κανάλια	40 κανάλια με απόσταση 2 MHz (3 κανάλια advertising /37 κανάλια δεδομένων)	79 κανάλια με απόσταση 1 MHz
Χρήση Καναλιών (Channel Usage)	Μετατόπιση Συχνότητας Ευρέως Φάσματος (Frequency-Hopping Spread Spectrum) (FHSS)	Μετατόπιση Συχνότητας Ευρέως Φάσματος (Frequency-Hopping Spread Spectrum) (FHSS)
Ρύθμιση (Modulation)	GFSK	GFSK, π/4 DQPSK, 8DPSK
Κατανάλωση Ισχύος (Power Consumption)	~0.01x to 0.5x of reference (depending on use case)	1 (reference value)
Ρυθμός Δεδομένων (Data Rate)	LE 2M PHY: 2 Mb/s LE 1M PHY: 1 Mb/s LE Coded PHY (S=2): 500 Kb/s LE Coded PHY (S=8): 125 Kb/s	EDR PHY (8DPSK): 3 Mb/s EDR PHY (π/4 DQPSK): 2 Mb/s BR PHY (GFSK): 1 Mb/s
Μέγιστη ισχύς εκπομπής (Max Tx Power)	Class 1: 100 mW (+20 dBm) Class 1.5: 10 mW (+10 dbm) Class 2: 2.5 mW (+4 dBm) Class 3: 1 mW (0 dBm)	Class 1: 100 mW (+20 dBm) Class 2: 2.5 mW (+4 dBm) Class 3: 1 mW (0 dBm)

Τοπολογίες Δικτύου	Point-to-Point (συμπεριλαμβανομένης της piconet) Broadcast Mesh	Point-to-Point (συμπεριλαμβανομένης της piconet)
--------------------	--	---

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΣΥΓΚΡΙΣΗ BLUETOOTH ΚΑΙ BLE

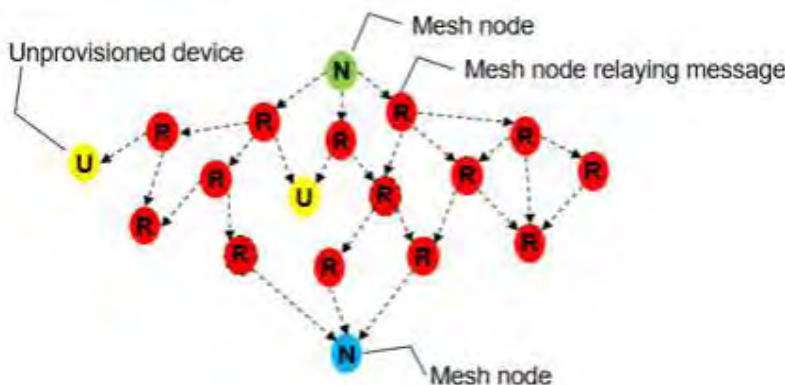
5.2.3 Η τοπολογία ενός δικτύου Bluetooth

Για την ικανοποίηση των αναγκών ασύρματης συνδεσιμότητας σε ένα ποικίλο πληθυσμό developers, η τεχνολογία Bluetooth υποστηρίζει πολλαπλές επιλογές τοπολογίας.

Από απλές συνδέσεις point to point (1:1) για το streaming μουσικής από κινητό smartphone σε ηχείο, μέχρι την εκπομπή συνδέσεων που επιτρέπουν την εύρεση της διαδρομής σε ένα αεροδρόμιο, σε συνδέσεις πλέγματος που υποστηρίζουν μεγάλης κλίμακας κτιριακό αυτοματισμό, το Bluetooth τις κάτωθι επιλογές τοπολογίας, έτσι ώστε να μπορεί να ικανοποιηθεί κάθε δυνατή εφαρμογή.

Τοπολογία Πλέγματος (Mesh Networking)

Το πλέγμα είναι μια τοπολογία δικτύου που χρησιμοποιείται για την δημιουργία πολλών προς πολλών (many to many – m:m) συνδέσεων επικοινωνίας. Η τοπολογία πλέγματος που διατίθεται στο Bluetooth LE επιτρέπει την δημιουργία δικτύων μεγάλου εύρους με πολλές συσκευές και είναι κατάλληλο για τον έλεγχο, καταγραφή και δημιουργία κτιριακών αυτοματισμών.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ (MESH) [35]

5.2.4 Δημιουργία ζεύξεων στο δίκτυο bluetooth (pairing συσκευών)

Για την δημιουργία ζεύξεων στο δίκτυο bluetooth εισάγουμε τις εξής εντολές στο commandline του debian, και αφού έχουμε εγκαταστήσει το πακέτο bluez, δίνουμε τις εξής εντολές:

Systemctl start bluetooth (Αφορά την εκκίνηση της υπηρεσίας bluetooth).

Bluetoothctl και power on (Αφορά την εκκίνηση του adapter).

agent on για την εκκίνηση της υποστήριξης των λειτουργιών του bluetooth

default agent για την ανάθεση του agent που βρίσκεται ήδη σε λειτουργία ως προκαθορισμένου

discoverable on για να είναι ορατός ο bluetooth adapter του raspberry σε άλλες συσκευές

scan on για την ανίχνευση των συσκευών bluetooth που βρίσκονται στο χώρο της εμβέλειας του raspberry

info <DEVICE-MAC-ADDRESS> παρέχει στοιχεία για τις λειτουργίες μιας συσκευής bluetooth με συγκεκριμένο MAC ADDRESS

connect <DEVICE-MAC-ADDRESS> ετοιμάζει συσκευή bluetooth με συγκεκριμένο MAC ADDRESS για σύζευξη με τον adapter του raspberry

pair <DEVICE-MAC-ADDRESS> δημιουργεί σύζευξη με συσκευή bluetooth με συγκεκριμένο MAC ADDRESS για σύζευξη με τον adapter του raspberry

trust <DEVICE-MAC-ADDRESS> επιτρέπει σε συσκευή bluetooth με συγκεκριμένο MAC ADDRESS για επαναληπτική αυτόματη σύζευξη με τον adapter του raspberry εφόσον διακοπεί η πρώτη

5.2.5 Η διαχείριση του Bluetooth στο Node-RED

Το σκεπτικό στην εφαρμογή που θέλουμε να παρουσιάσουμε είναι η ανίχνευση των φορητών συσκευών bluetooth που είναι στην εμβέλεια του bluetooth adapter του raspberry και σε συνδυασμό με άλλες λειτουργίες της εφαρμογής να παρακολουθήσουμε τη συμπεριφορά του χρήστη.

Οπότε στο root directory του Node-RED εγκαθιστούμε το module node-red-contrib-noble, καθώς και το npm module noble, και τα κάνουμε deployed. Για να έχει τα κατάλληλα δικαιώματα το noble να ξεκινήσει στο scanning στον ble adapter του raspberry είναι σημαντικό να θέσουμε:

```
sudo setcap cap_net_raw+eip $(eval readlink -f `which node`)
```

Με αυτό τον τρόπο παρέχουμε δικαιώματα cap_net_raw στον κόμβο, το οποίο είναι απαραίτητο μετά κάθε αναβάθμιση του nodejs.

Στην κονσόλα του συστήματος εμφανίζεται το κάτωθι payload, το οποίο μας ενημερώνει για την συσκευή που ανιχνεύτηκε.

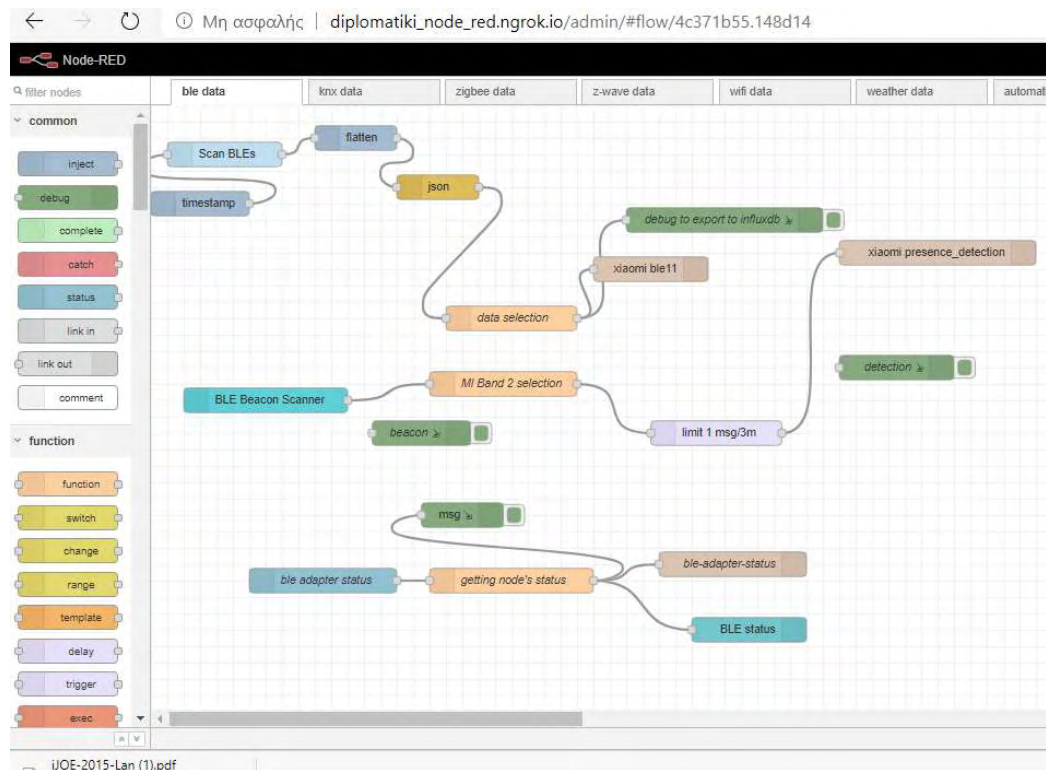
```
{"payload":{"Uuid":"641cae41c189","At":1590494053017,"By":"sensors","Name":"[TV] Samsung 7 Series (50)","Tx Power":0,"RSSI":-100},"_msgid":"46aa1312.131aec"}
```

Μας παρέχει πληροφορίες για το **Uuid** (Uuid- Universal Unique Identifier- της συσκευής που έχει ανιχνευτεί, με το **By** για τον adapter που έχει κάνει την ανίχνευση, στην δικιά μας περίπτωση το raspberry με το όνομα sensors, το όνομα της συσκευής που γίνεται advertised, την ισχύ εκπομπής με το **Tx Power**, το **RSSI** που αναφέρεται στην ισχύ του σήματος που έχει ληφθεί και άλλα. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι όσο μεγαλύτερο είναι το RSSI (λαμβάνοντας υπόψη και το αρνητικό πρόσημο), τόσο πιο κοντά στον bluetooth adapter βρίσκεται η συσκευή που ανιχνεύουμε.

Φιλτράροντας τα στοιχεία που θέλουμε να καταγράψουμε σε σειριακή βάση δεδομένων καταλήγουμε στην μετατροπή των δεδομένων από json σε javascript και επιλογή των παραμέτρων **At, By, Name, RSSI, Uuid, και Tx Power**, για να έχουμε μια συνολική εικόνα των συσκευών που ανιχνεύονται.

Τα δεδομένα αυτά οδηγούνται σε βάση δεδομένων time series influxdb που έχει εγκατασταθεί στο raspberry pi με το όνομα influxdb. Εκεί έχει δημιουργηθεί ένας server με το όνομα xiaomi και τα δεδομένα που καταγράφονται καταχωρούνται στο measurement με το όνομα ble11.

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Το πρωτόκολλο Bluetooth



ΕΙΚΟΝΑ 10: ΚΑΡΤΕΛΑ ΒΛΥΕΤΟΟΤΗ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ NODE-RED

Το node `node-red-contrib-noble` μας παρέχει ενημέρωση για το ποιοι δέκτες BLE βρίσκονται στην εμβέλεια του `ble adapter` του `raspberry`.

Όταν όπως θέλουμε να παρακολουθήσουμε τη συμπεριφορά του χρήστη `ble` είναι σκόπιμο να εγκαταστήσουμε το `node-red-contrib-blebeacon-scanner`

Το συγκεκριμένο node εμφανίζει payload της μορφής

```
{"id":"4cc133a2475e","address":"4c:c1:33:a2:47:5e","localName":null,"txPowerLevel":12,"rssi":-57,"beaconType":"other","other":[76,0,16,5,81,28,242,215,42]}
```

Με την εισαγωγή `function` node επιλέγουμε τα στοιχεία που θέλουμε να καταγράψουμε, δηλαδή το `id` της συσκευής BLE, το `localName` και το `rssi`.

```
var newmsg50 = {payload: {"id": msg.payload.id, "Local Name": msg.payload.localName, "RSSI": msg.payload.rssi}};
if (msg.payload.localName === "MI Band 2"){
  return newmsg50;
}
```

Χρησιμοποιώντας το node `delay`, περιορίζουμε τη συχνότητα εκπομπής payload στο `raspberry` σε 1 μήνυμα ανά 3 λεπτά.

Τα δεδομένα αυτής της ροής οδηγούνται στο `raspberry influxdb` και αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων `xiaomi` με το `measurement presence_detection`.

Μέσω του status node επιτηρούμε την κατάσταση της συνδεσιμότητας του ble beacon scanner, και αποστέλλουμε τα δεδομένα στη βάση δεδομένων χιαοmi και το measurement ble-adapter-status. Μέσω του node ui_text αποστέλλουμε την κατάσταση της σύνδεσης του ble beacon scanner

5.3 Το πρωτόκολλο KNX RF

Το KNX είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο (open standard not open source), κατά EN 50090 και ISO/IEC 14543), κατάλληλο για οικιακό και κτιριακό αυτοματισμό. Οι συσκευές KNX μπορούν να χειριστούν φωτισμό, ηλεκτρικά ρολά και περσίδες, εγκαταστάσεις HVAC, συστήματα ασφαλείας και διαχείριση ενέργειας. Το KNX εξελίχθηκε από τρία παλαιότερα πρότυπα, το European Home Systems Protocol (EHS), το BatiBUS, και European Installation Bus (EIB ή Instabus). Μπορεί να χρησιμοποιήσει σαν φυσικό μέσο επικοινωνίας το συνεστραμμένο καλώδιο (twisted pair) σε τοπολογία δενδροειδή, γραμμής ή αστέρα, το καλώδιο ισχύος (powerline), ραδιοκύματα (RF), ή συνδέσεις IP. Σε αυτό το δίκτυο, οι κόμβοι χρησιμοποιούν καταναμημένες εφαρμογές (distributed applications) και είναι εφικτή η αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μοντέλων διεργασίας με τυποποιημένα είδη datapoints και αντικείμενα που μοντελοποιούν λογικά κανάλια συσκευών.

Οι συσκευές KNX RF μπορούν να ρυθμιστούν είτε απευθείας μέσω USB-RF dongle, είτε μέσω προσαρμοστή μέσου TP/RF.

Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη KNX RF, Ready και Multi. Ενώ το KNX RF Ready χρησιμοποιεί ένα μεμονωμένο κανάλι, το KNX RF Multi, μπορεί να λειτουργήσει χρησιμοποιώντας πέντε διαφορετικά κανάλια, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την προστασία έναντι παρεμβολών. Από αυτά τα πέντε κανάλια, τα τρία λειτουργούν σαν γρήγορα κανάλια, ενώ τα δύο είναι αργά κανάλια, κάτι που είναι τέλειος συνδυασμός για την βελτίωση της απόδοσης εκπομπής, ανάλογα με τις απαιτήσεις του εξαρτήματος. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες θερμοκρασίας απαιτούν μόνο αργά κανάλια για να εκπέμψουν τις μετρήσεις θερμοκρασίας χώρου.

Όσον αφορά τις συσκευές που χρησιμοποιούν μπαταρίες, ή τις αυτοτροφοδοτούμενες (energy harvesting), το KNX RF μπορεί να υποστηρίξει και τα δύο. Το πρωτόκολλο KNX είναι κατάλληλο να υποστηρίξει μπουτόν αφής ή αισθητήρες θερμοκρασίας, αυτοτροφοδοτούμενα μέσω energy harvesting.

5.3.1 Η αναγνώριση του hardware KNX

```
[ 2.153679] usb 1-1.4: New USB device found, idVendor=28c2, idProduct=0008, bcdDevice= 1.20
[ 2.153691] usb 1-1.4: New USB device strings: Mfr=1, Product=2, SerialNumber=3
[ 2.153702] usb 1-1.4: Product: TAPKO KNX RF+
[ 2.153711] usb 1-1.4: Manufacturer: TAPKO GmbH
[ 2.153720] usb 1-1.4: SerialNumber: 0072FB0001B3
[ 2.160162] hid-generic 0003:28C2:0008.0001: hiddev96,hidraw0: USB HID v1.11 Device [TAPKO GmbH TAPKO KNX RF+] on usb-3f980000.usb-1.4/input0
[ 15.745676] usbcore: registered new interface driver brcmfmac
pi@influxdb:~$
```

ΕΙΚΟΝΑ 11: ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ KNX USB INTERFACE

Έχοντας συνδέσει το KNX RF Interface στην θύρα USB του raspberry pi με το όνομα influxdb και με την επιλογή sudo dmesg | grep usb αναγνωρίζονται οι συνδεδεμένες USB συσκευές στο raspberry.

Χρησιμοποιούμε KNX USB RF Interface της εταιρείας TAPKO [30], το οποίο είναι βασιζόμενο πάνω σε πρωτόκολλο cEMI και είναι πιστοποιημένο κατά KNX RF+



ΕΙΚΟΝΑ 12: KNX RF USB INTERFACE

Δεδομένα επικοινωνίας KNX RF USB Interface

KNX RF	Σειριακός αριθμός	Χρησιμοποιείται επίσης σαν σειριακός αριθμός USB
	KNX Ready	RF1.R (πρόσβαση στο μέσο με Ακρόαση πριν την Ομιλία - with Listen Before Talk medium access)
	KNX Multi	Δεν υποστηρίζεται
	Τρόπος Ρύθμισης	S-Mode (προγραμματισμός μέσω υπολογιστή)
	Συσκευές Bibat	Δεν υποστηρίζεται
	Μέγιστο μήκος APDU	208 bytes (CRC-16 bytes included) 178 bytes (bus monitor mode)
Απόδοση RF	Κεραία RF	Ενσωματωμένη στο κύκλωμα
	Εμβέλεια RF	Max. 100m (σε κλειστό χώρο 30m)
	Εύρος συχνότητας	868.3 MHz +/- 300 kHz
	Ρύθμιση	FSK
	Tx transmit power	+3.7 dBm
Πρωτόκολλο	Over HID (USB HID)	KNX cEMI
KNX cEMI	Έκδοση μάσκας	2711h
	Προαιρετικό είδος φίλτρου (Optional filtering mode)	Μεμονωμένη διεύθυνση (Individual address, επανάληψη (repetition), διεύθυνση τομέα (domain address), εκτεταμένη διεύθυνση ομάδας (extended Group address)
	Υποστηριζόμενα είδη επικοινωνίας	Ακατέργαστα Δεδομένα (Raw Mode), Παρακολούθηση τηλεγραφημάτων Bus (Bus Monitor Mode), Επικοινωνία μέσω Data Link (Data Link Layer Mode)

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ KNX RF USB ADAPTER

Το KNX USB RF Interface θα επικοινωνεί με μπουτόν KNX RF+ ενεργειακού προφίλ enocean (energy harvesting), που υποστηρίζει την εκτέλεση 6 εντολών από την εταιρεία ZF Cherry



ΕΙΚΟΝΑ 13: KNX RF BUTTON 6 GANG

Τεχνικά δεδομένα μπουτόν KNX RF

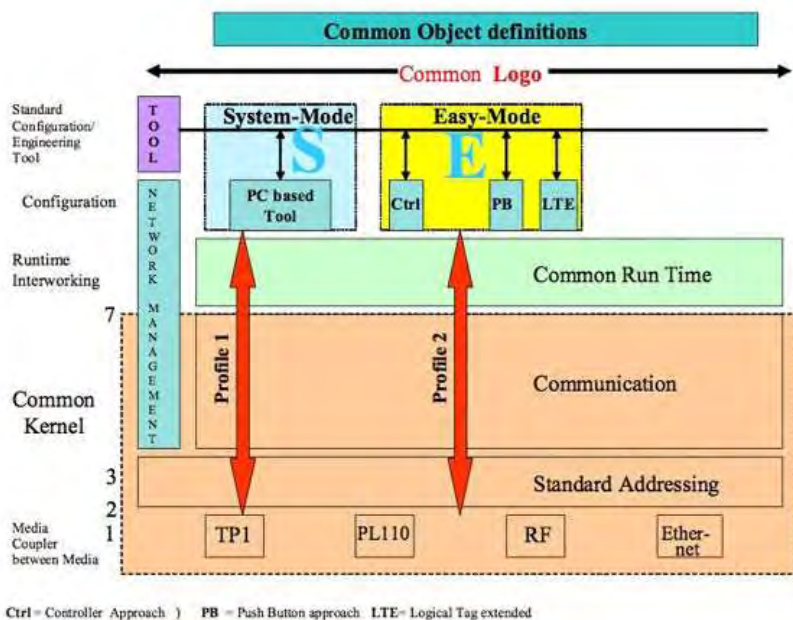
Συχνότητα	868,3MHz
Χρόνος ζωής γεννήτριας RF	Μέχρι 150.000 χειρισμοί
Εμβέλεια RF (εντός κτιρίων)	Μέχρι 30m
Ενέργεια εκπομπής	Μέχρι 3dBm
Μήκος πρωτοκόλλου RF	Περίπου 19 ms
Εισαγωγή στο δίκτυο KNX	Μέσω adapter μπαταρίας φόρτισης

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ BUTTON KNX RF

5.3.2 Η αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου KNX

Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα, παρατηρώντας το μοντέλο από πάνω προς τα κάτω επισημαίνουμε τα εξής:

- Υπάρχουν Μοντέλα (Κατανεμημένων) Εφαρμογών και Διεργασιών για τις διάφορες εργασίες του Οικιακού και Κτιριακού Αυτοματισμού, καθώς αυτός είναι ο κύριος σκοπός του συστήματος.
- Υπάρχουν σχήματα (schemes) για την Ρύθμιση και Διαχείριση όλων των πόρων του δικτύου και για να επιτρέπουν την λογική σύνδεση (linking ή binding) τμημάτων μιας κατανεμημένης εφαρμογής, η οποία τρέχει σε διαφορετικούς κόμβους. Το KNX δομεί αυτά τα σχήματα σε ένα πλήρες σετ Τρόπων Ρύθμισης (Configuration Modes)
- Το Σύστημα Επικοινωνίας με το σετ των φυσικών μέσων επικοινωνίας, το πρωτόκολλο επικοινωνίας και τα αντίστοιχα μοντέλα της στοιβάς επικοινωνίας σε κάθε κόμβο, καθώς πρέπει να υποστηρίζει όλες τις απαιτήσεις επικοινωνίας για τη ρύθμιση και διαχείριση της εγκατάστασης, καθώς και την λειτουργία των Κατανεμημένων Εφαρμογών (Distributed Applications) σε αυτήν.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ KNX

Εφαρμογές, διεργασίες (Interworking) και συνδέσεις(Binding)

Μια από τις κεντρικές ιδέες μια εφαρμογής KNX είναι η ιδέα των Datapoints [37](παλαιότερα ονομάζονταν αντικείμενα λειτουργιών - objects). Αντιπροσωπεύουν τις μεταβλητές διαδικασιών και ελέγχων στο σύστημα. Αυτά τα Datapoints μπορεί να είναι είσοδοι, έξοδοι, παράμετροι, διαγνωστικά δεδομένα κλπ. Οι τυποποιημένοι φορείς για αυτά τα Datapoints είναι τα Group Objects (Διευθύνσεις Ομάδων) και Interface Object Properties (Παράμετροι Αντικειμένων στα Interface).

Το Σύστημα Επικοινωνίας και το Πρωτόκολλο πρέπει να παρέχουν ένα μειωμένο σετ οδηγιών για την ανάγνωση και εγγραφή (get και set) τιμών στα Datapoints.

Για να επιτευχθούν οι διεργασίες, τα Datapoints πρέπει να εφαρμόζουν Τυποποιημένους Τύπου Datapoints, οι οποίοι είναι διαμορφωμένοι μεταξύ τους σε λειτουργικά Blocks (Functional Blocks) Αυτά τα λειτουργικά Blocks και τα είδη των Datapoints είναι σχετιζόμενα με τα πεδία των εφαρμογών, αλλά κάποια από αυτά είναι γενικής χρήσης και ονομάζονται λειτουργίες κοινού ενδιαφέροντος (όπως είναι η μέρα και η ώρα).

Τα Datapoints μπορούν να προσπελαστούν μέσω μηχανισμών unicast και multicast, που απεμπλέκουν την επικοινωνία και τις διάφορες πτυχές της εφαρμογής και επιτρέπουν την ομαλή ενσωμάτωση ανάμεσα στις διάφορες εναλλακτικές εφαρμογής. Το KNX έχει τρία σχήματα σύνδεσης (binding schemes), ένα για την ελεύθερη σύνδεση (free binding), ένα για τη δομημένη(structured binding) και ένα για την ονομαστική (tagged binding). Το πώς αυτά τα σχήματα μπορούν να συνδυαστούν, περιγράφεται παρακάτω.

Βασικά Σχήματα Ρύθμισης

Γενικά μιλώντας, υπάρχουν δύο επίπεδα στα οποία πρέπει να ρυθμιστεί μια εγκατάσταση. Πρώτα από όλα υπάρχει το επίπεδο της τοπολογίας του δικτύου και αυτών των μεμονωμένων κόμβων ή συσκευών.

Κατά έναν τρόπο, το πρώτο επίπεδο είναι προαπαιτούμενο , πριν την ρύθμιση των κατανεμημένων εφαρμογών (Distributed Applications), δηλαδή τη σύνδεση (binding) και την ρύθμιση των παραμέτρων (parameter setting). Η ρύθμιση μπορεί να επιτευχθεί μέσω ενός αριθμού τοπικών χειρισμών πάνω στους κόμβους (πχ πίεση ενός μπουτόν, ρύθμιση ενός περιστροφικού κωδικοποιημένου τροχού, ή με την χρήση ενός τοπικά συνδεδεμένου εργαλείου ρύθμισης), και μέσω

ενεργούς Διαχείρισης της Επικοινωνίας του Δικτύου μέσω του bus (έχουν οριστεί σχήματα peer to peer και κεντρικά σχήματα master-slave).

Όπως περιγράφεται παρακάτω, ένα τρόπος ρύθμισης (Configuration Mode) του KNX λειτουργεί ως εξής:

- Επιλέγει ένα συγκεκριμένο σχήμα για ρύθμιση (configuration) και σύνδεση (binding)
- Το χαρτογραφεί ανάλογα με μια συγκεκριμένη επιλογή σχήματος διευθυνσιοδότησης
- Ολοκληρώνει όλα αυτά με μια επιλογή διαδικασιών διαχείρισης

Κάποια είδη ρύθμισης απαιτούν πιο ενεργή διαχείριση μέσω του bus (S mode), ενώ άλλα έχουν προσανατολιστεί πάνω στην τοπική ρύθμιση (E mode).

Διαχείριση Δικτύου και Πόρων

Για να υποστηριχθούν όλες οι ανάγκες ρύθμισης του συστήματος, το KNX είναι εξοπλισμένο με μια αρκετά δυναμική εργαλειοθήκη για τη διαχείριση του δικτύου. Αυτά τα εργαλεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης: Για το αρχικό set-up, για την ενσωμάτωση εγκαταστάσεων multi-mode, για μετέπειτα διαγνωστικές ανάγκες και συντήρηση, καθώς και για μελλοντικές επεκτάσεις ή επαναρρυθμίσεις. Η Διαχείριση Δικτύου στο KNX ορίζει μια σειρά μηχανισμών ανίχνευσης και τοποθέτησης ή ανάκλησης δεδομένων ρύθμισης, και μάλιστα με ενεργό τρόπο μέσω του δικτύου. Παρέχει διαδικασίες (δηλαδή ακολουθίες μηνυμάτων) για να προσπελάσει τιμές σε διαφορετικούς πόρους δικτύου μέσα στους κόμβους, καθώς και αναγνωριστικά μέσα σε αυτούς τους πόρους, με σκοπό να την διευκόλυνση της σωστής διεργασίας ανάμεσα σε όλες τις συσκευές δικτύου KNX. Αυτοί οι πόροι μπορεί να είναι διευθύνσεις, παράμετροι επικοινωνίας, παράμετροι εφαρμογής ή πολύπλοκα σετ δεδομένων, όπως πίνακες συνδέσεων (binding tables) ή ακόμα και ολόκληρα εκτελέσιμα προγράμματα.

Η διαχείριση δικτύου βασικά χρησιμοποιεί υπηρεσίες παρέχονται από το επίπεδο εφαρμογής (application layer) Κάθε κόμβος που χρησιμοποιεί έναν δεδομένο τρόπο ρύθμισης πρέπει να εκτελέσει τις υπηρεσίες και τους πόρους που διευκρινίζονται στο σχετικό «προφίλ».

Επικοινωνία: Φυσικά Επίπεδα

The KNX system offers the choice for the manufacturers, depending on his market requirements and habits, to choose between several physical layers, or to combine them. With the availability of routers, and combined with the powerful Interworking, multi-media, and multi-vendor configurations can be built.

Τα διαφορετικά μέσα είναι :

- Το TP 1 (βασικό μέσο επικοινωνίας που προέρχεται από το παλιότερο πρωτόκολλο EIB) που παρέχει μια λύση για καλώδιο συνεστραμμένο, χρησιμοποιώντας δίκτυο SELV (χαμηλής τάσης) και παροχή ισχύος. Τα κύρια χαρακτηριστικά είναι: μεταφορά ισχύος και δεδομένων με ένα ζεύγος καλωδίων (εξαρτήματα με χαμηλή κατανάλωση μπορούν να τροφοδοτηθούν απευθείας από το bus) και ασύγχρονος χαρακτήρας μεταφοράς δεδομένων, half duplex και αμφίδρομη μορφή. Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων στο TP 1 είναι 9600 bit/s. Το TP1 εφαρμόζει πρωτόκολλο αποφυγής συγκρούσεων CSMA/CA. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι τοπολογίες (εκτός κλειστού βρόγχου), δηλαδή ευθείας γραμμής, αστέρα ή και δενδροειδούς βρόγχου.
- Το PL 110 (το οποίο επίσης προέρχεται από το παλιότερο πρωτόκολλο EIB) επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων μέσω του καλωδίου ισχύος. Τα κύρια χαρακτηριστικά είναι: σηματοδότηση μετατόπισης συχνότητας, ασύγχρονη μετάδοση των πακέτων δεδομένων, και αμφίδρομη επικοινωνία half duplex. Το PL110 χρησιμοποιεί κεντρική συχνότητα 110 kHz και έχει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων 1200 bit/s. Το PL110 εφαρμόζει πρωτόκολλο αποφυγής συγκρούσεων CSMA και ακολουθεί το πρότυπο EN 50065-1 (στη μπάνα συχνότητας χωρίς τυποποιημένο μέσω πρόσβασης).

- Το μέσο RF επιτρέπει την επικοινωνία μέσω ραδιοσημάτων στην μπάντα των 868,3 MHz για συσκευές χαμηλής εμβέλειας. Τα κύρια χαρακτηριστικά είναι: Μετατόπιση Συχνότητας, μέγιστος κύκλος εργασίας 1%, 32 768 cps, και κωδικοποίηση δεδομένων Manchester.
- Επιπρόσθετα από αυτά τα μέσα φυσικού δικτύου, το KNX έχει ενοποιημένες λύσεις για μέσα IP όπως Ethernet (IEEE 802.2), Bluetooth, WiFi/Wireless LAN (IEEE 802.11).

Επικοινωνία : Κοινός Πυρήνας και Πρωτόκολλο Μηνυμάτων

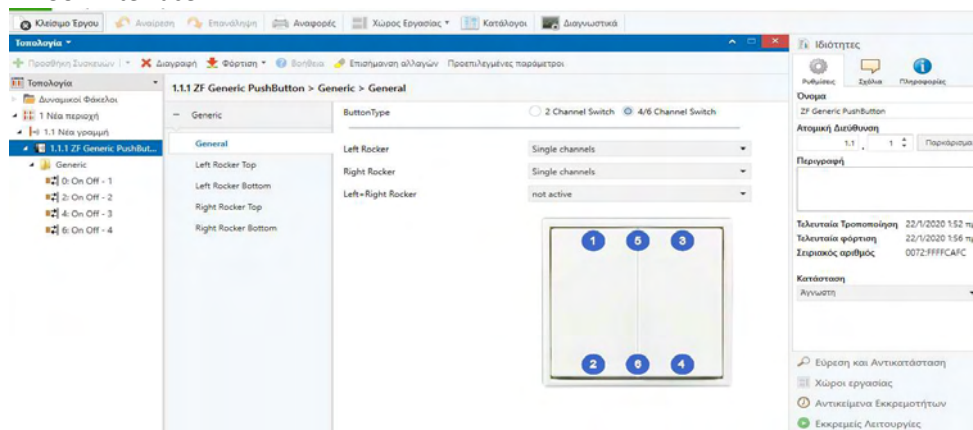
Το Σύστημα επικοινωνίας πρέπει να ικανοποιεί όλες τις ανάγκες των Μοντέλων Εφαρμογής, Ρύθμισης και Διαχείρισης Δικτύου. Πάνω στα Φυσικά Επίπεδα και στα αντίστοιχα Data Link Επίπεδα, μοιράζεται ένας Κοινός Πυρήνας σε όλα τα εξαρτήματα του δικτύου KNX, για να εξασφαλίσει όλες τις απαιτήσεις, περιλαμβάνει ένα σύστημα επικοινωνίας συμβατό με το μοντέλο 7 επιπέδων OSI .

- Γενικό Επίπεδο Data Link (Data Link Layer General), πάνω από το Επίπεδο Data Link κάθε μέσου, παρέχεται έλεγχος πρόσβασης και λογικών συνδέσεων.
- Το Επίπεδο Δικτύου (Network Layer) παρέχει ανά τομέα ένα τηλεγράφημα επιβεβαίωσης, και ελέγχει επίσης αριθμό των hops ανά πλαίσιο. Το Επίπεδο Δικτύου έχει ενδιαφέρον ως επί το πλείστον για τους κόμβους που έχουν λειτουργία routing.
- Το επίπεδο μεταφοράς (Transport Layer -TL) επιτρέπει 4 είδη τηλεπικοινωνιακών σχέσεων ανάμεσα στα σημεία επικοινωνίας : ένα προς πολλά χωρίς σύνδεση με επικοινωνία multicast (one-to-many connectionless - multicast), ένα προς όλα χωρίς σύνδεση με επικοινωνία broadcast (one-to-all connectionless -broadcast), ένα προς ένα χωρίς σύνδεση (one-to-one connectionless), ένα προς ένα με σύνδεση (one-to-one connection-oriented).
- Τα Επίπεδα Συνεδρίας (Session Layer) και Παρουσίασης (Presentation Layer) είναι κενά .
- Το Επίπεδο Εφαρμογής (Application Layer) παρέχει μια μεγάλη ποικιλία «εργαλειοθήκης» σε υπηρεσίες εφαρμογής στην διεργασία της εφαρμογής. Αυτές οι υπηρεσίες είναι διαφορετικές ανάλογα με τον τύπο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στο επίπεδο μεταφοράς (transport layer). Οι Υπηρεσίες που σχετίζονται με την επικοινωνία point-to-point και broadcast χρησιμεύουν κυρίως στη διαχείριση δικτύου, ενώ οι υπηρεσίες που σχετίζονται με το multicast χρησιμεύουν κυρίως στη λειτουργία του runtime.

5.3.3 Η δημιουργία ζεύξεων στο δίκτυο KNX RF (pairing συσκευών)

Για την δημιουργία ζεύξεων του δικτύου KNX RF χρησιμοποιούμε το λογισμικό ETS5 της KNX Association .

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, δημιουργούμε νέα γραμμή RF και εισάγουμε το μπουτόν ZF Generic-Pushbutton και του αποδίδουμε τη φυσική διεύθυνση 1.1.1. Σημειώνουμε ότι η διεύθυνση τομέα (domain address) του μπουτόν KNX RF πρέπει να συμπίπτει με τη διεύθυνση τομέα του KNX RF USB Interface.



ΕΙΚΟΝΑ 14: ΚΑΡΤΕΛΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΠΟΥΤΟΝ KNX

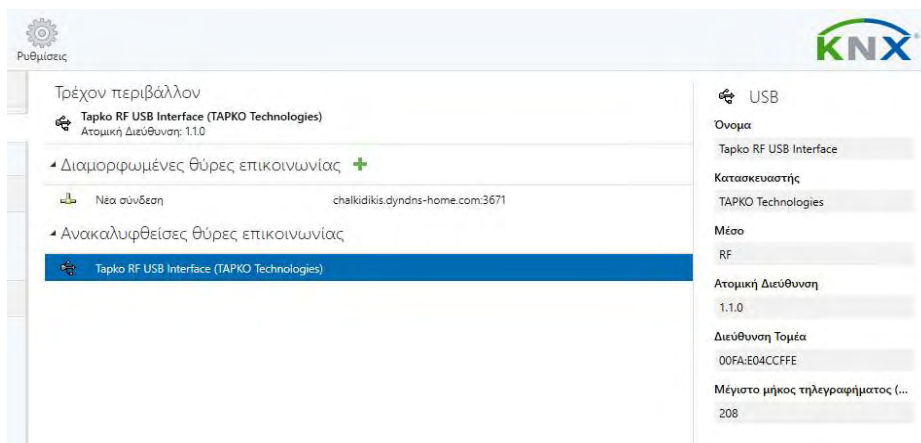
Παρατηρούμε στην καρτέλα παραμέτρων του μπουτόν, που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα ότι το συγκεκριμένο εξάρτημα υποστηρίζει 6 εντολές, από τις οποίες εμείς θα προγραμματίσουμε τις 4. Αποδίδουμε διευθύνσεις ομάδων 1/0/1, 1/0/2, 1/0/3 και 1/0/4 στο μπουτόν και κατεβάζουμε την εφαρμογή του με την επιλογή Φόρτιση Εφαρμογής.

Στα παραδείγματα αυτοματισμού που θα αναλύσουμε παρακάτω, η διεύθυνση ομάδας 1/0/1 θα χρησιμοποιηθεί για την έναυση φωτισμού και η 1/0/3 για την έναυση θέρμανσης.

Αριθμός	Όνομα	Λειτουργία	Αντικείμε	Περιγραφή	Διεύθυνση Ομ	Μήκος	Επ	Αν	Εγ	Μι	Ενι	Τύπος	Δεδ	Προτερ
0	On Off	1		Νέα Διεύθυνση...	1/0/1	1 bit	E...	-	M...	-		switch		Χαμηλή
2	On Off	2		Νέα Διεύθυνση...	1/0/2	1 bit	E...	-	M...	-		switch		Χαμηλή
4	On Off	3		Νέα Διεύθυνση...	1/0/3	1 bit	E...	-	M...	-		switch		Χαμηλή
6	On Off	4		Νέα Διεύθυνση...	1/0/4	1 bit	E...	-	M...	-		switch		Χαμηλή

ΕΙΚΟΝΑ 15: ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΜΠΟΥΤΟΝ KNX

Το μπουτόν KNX RF USB Interface παίρνει τη διεύθυνση 1.1.0.

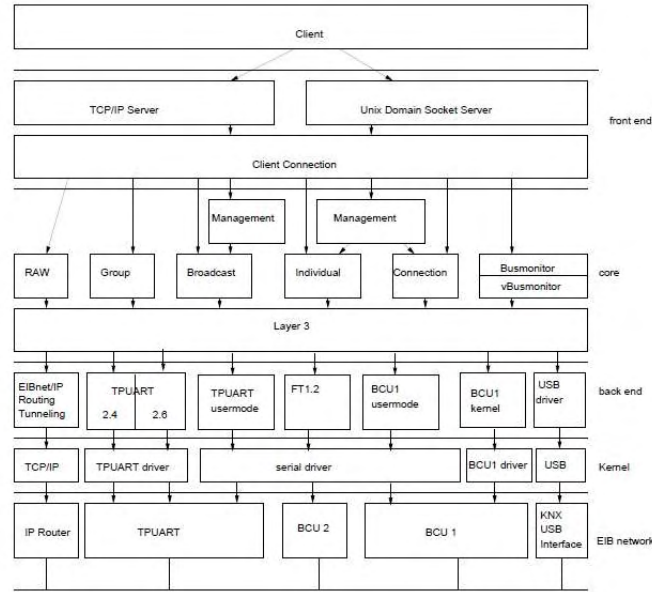


ΕΙΚΟΝΑ 16: KNX USB RF ADAPTER ΟΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΚΑΙ Η ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΜΕΑ

5.3.4 Η τυπική χρήση της εφαρμογής KNXD

Για την λήψη των δεδομένων KNX χρησιμοποιούμε το API knxd, το οποίο είναι μια εξέλιξη (fork) του eibd που περιέχεται στη σουίτα BCU SDK [38].

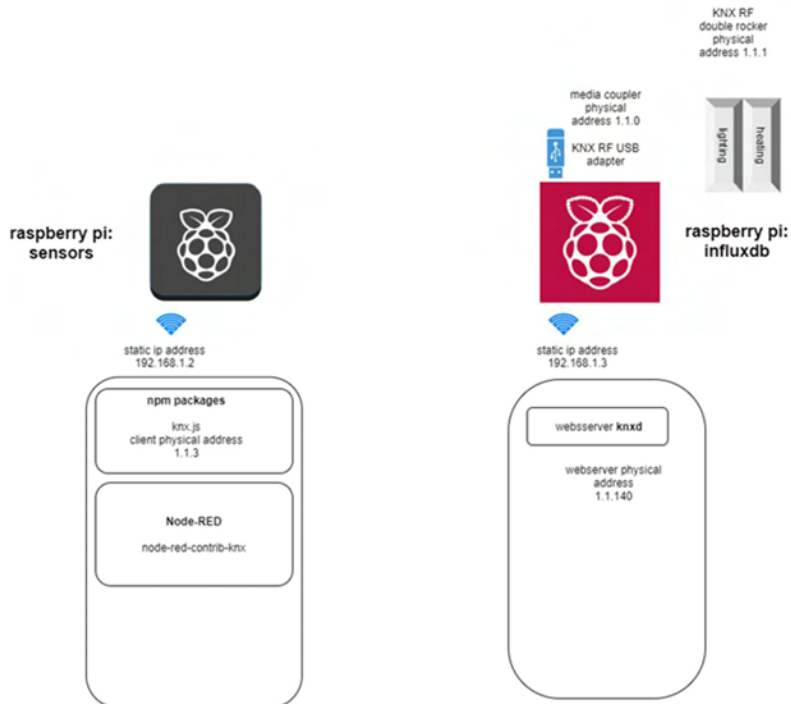
Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Το πρωτόκολλο KNX RF



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16: ΔΟΜΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΥ ΕΙΒD, ΠΡΟΚΑΤΟΧΟΥ ΤΟΥ KNXD

Η λειτουργία του είναι συγκριτικά απλή:

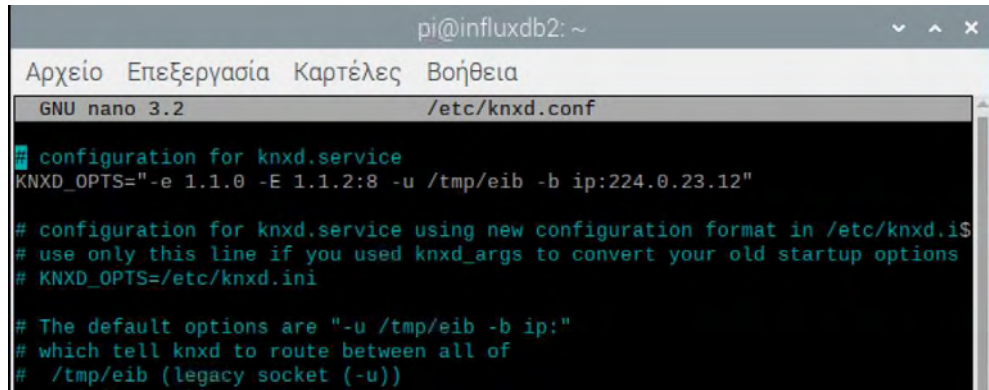
Το daemon δέχεται συνδέσεις σε ένα TCP/IP port ή σε ένα Unix Domain Socket, δέχεται requests, τα διευθετεί, τα επεξεργάζεται και αποστέλλει τα αποτελέσματα. Η εφαρμογή του διανέμεται μέσα από διάφορες κλάσεις. Σαν αποτέλεσμα έχει γραφτεί μια απλή βιβλιοθήκη client, η οποία εκτελεί όλες τις διευθετήσεις από πλευράς του client. Το πρωτόκολλο είναι ιδιαίτερα απλό. Ο client συνδέεται μέσω TCP/IP ή μέσω Unix domain sockets στον knx daemon.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ KNX RF

Στο παραπάνω διάγραμμα παραθέτουμε την διευθυνσιοδότηση που έχει δημιουργηθεί στο δίκτυο KNX. Το μπουτόν χειρισμού φέρει φυσική διεύθυνση 1.1.1, ο KNX RF adapter φέρει τη διεύθυνση 1.1.0 (ως media coupler), ο webserver που τρέχει στο raspberry influxdb φέρει τη διεύθυνση 1.1.140 ενώ ο client που τρέχει στον raspberry sensors και επικοινωνεί με το Node-RED φέρει τη διεύθυνση 1.1.3

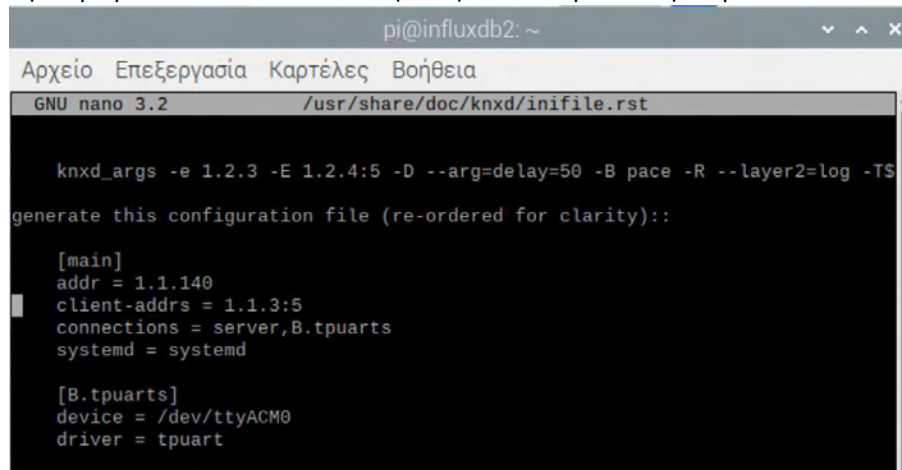
Με την εντολή `sudo nano /etc/knx.conf` ορίζουμε τις διευθύνσεις του τοπικού δικτύου knx για τον KNX RF adapter (δηλαδή 1.1.0) και το μπουτόν χειρισμού (1.1.2), όπως εμφανίζουμε στην παρακάτω εικόνα.



```
πι@influxdb2: ~
Αρχείο Επεξεργασία Καρτέλες Βοήθεια
GNU nano 3.2 /etc/knxd.conf
configuration for knxd.service
KNXD_OPTS="-e 1.1.0 -E 1.1.2:8 -u /tmp/eib -b ip:224.0.23.12"
# configuration for knxd.service using new configuration format in /etc/knxd.is
# use only this line if you used knxd_args to convert your old startup options
# KNXD_OPTS=/etc/knxd.ini
# The default options are "-u /tmp/eib -b ip:"
# which tell knxd to route between all of
# /tmp/eib (legacy socket (-u))
```

ΕΙΚΟΝΑ 17: ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ KNX

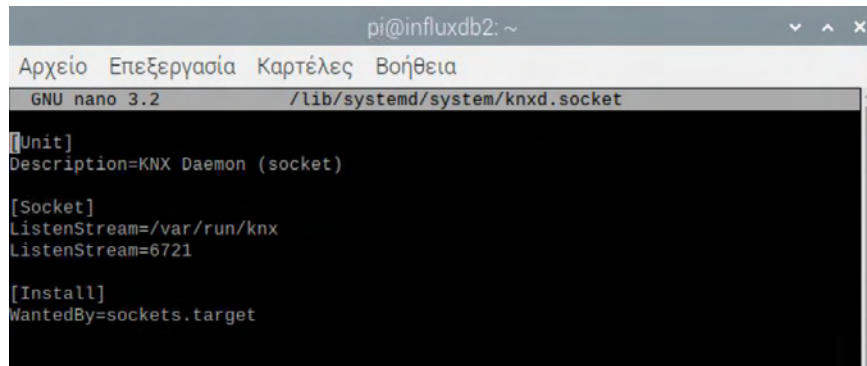
Με την εντολή `sudo nano /usr/share/doc/knxd/inifile.rst` διευθυνσιοδοτούμε τον server (1.1.140) που θα εκκινήσουμε με το knxd και τον client (1.1.3) που θα εγκαταστήσουμε στο node-red.



```
πι@influxdb2: ~
Αρχείο Επεξεργασία Καρτέλες Βοήθεια
GNU nano 3.2 /usr/share/doc/knxd/inifile.rst
knxd_args -e 1.2.3 -E 1.2.4:5 -D --arg=delay=50 -B pace -R --layer2=log -TS
generate this configuration file (re-ordered for clarity)::
[main]
addr = 1.1.140
client-addr = 1.1.3:5
connections = server,B.tpuarts
systemd = systemd
[B.tpuarts]
device = /dev/ttyACM0
driver = tpuart
```

ΕΙΚΟΝΑ 18: ΔΙΕΥΘΥΝΣΙΟΔΟΤΗΣΗ CLIENT ΚΑΙ SERVER

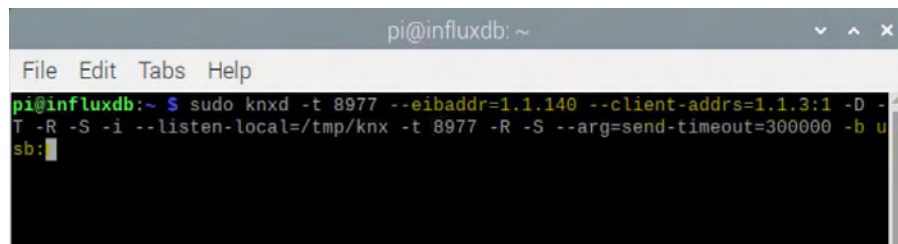
Με την εντολή `sudo nano /lib/systemd/system/knxd.socket` αλλάζουμε το port του knx.socket από 6270 (που χρησιμοποιείται από το systemd) σε 6271 έτσι ώστε να μπορεί να εκκινήσει ο knx server.



```
pi@influxdb2: ~  
Αρχείο Επεξεργασία Καρτέλες Βοήθεια  
GNU nano 3.2 /lib/systemd/system/knxd.socket  
[Unit]  
Description=KNX Daemon (socket)  
  
[Socket]  
ListenStream=/var/run/knx  
ListenStream=6721  
  
[Install]  
WantedBy=sockets.target
```

ΕΙΚΟΝΑ 19: ΑΛΛΑΓΗ PORT SOCKET ΣΤΟ KNXD

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, ορίζουμε με το κάτωθι command, σαν server το raspberry στο οποίο έχει συνδεθεί το KNX USB RF Interface (pi@influxdb) και του αποδίδουμε τη διεύθυνση 1.1.140, ενώ client θεωρούμε το raspberry στο οποίο έχει εγκατασταθεί το Node-RED (pi@sensors) και του αποδίδουμε τη διεύθυνση 1.1.3



```
pi@influxdb: ~  
File Edit Tabs Help  
pi@influxdb:~$ sudo knxd -t 8977 --eibaddr=1.1.140 --client-addr=1.1.3:1 -D -  
T -R -S -i --listen-local=/tmp/knx -t 8977 -R -S --arg=send-timeout=300000 -b u  
sb: |
```

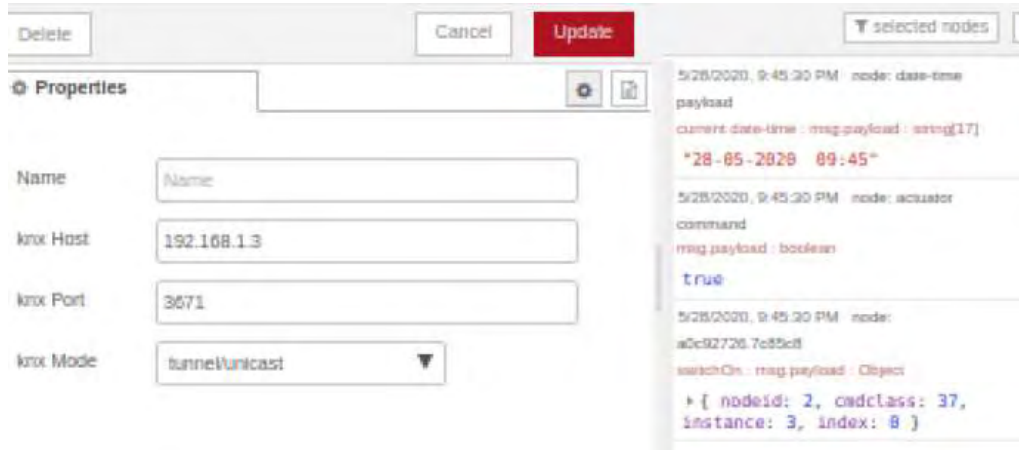
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΕΚΚΙΝΗΣΗ SERVER KNXD

5.3.5 Η διαχείριση του KNX RF στο Node-RED

Στην εφαρμογή του Node-RED θέλουμε να επιτύχουμε την εμφάνιση σαν payload των εντολών που έχουμε προγραμματίσει στο μπουτόν RF με τις διευθύνσεις ομάδων 1/0/1, 1/0/2, 1/0/3, 1/0/4

Εγκαθιστούμε στο root directory του Node-RED εγκαθιστούμε το node-red-contrib-knx και ορίζουμε τον κόμβο που έχει εγκατασταθεί το knxd (στην περίπτωση μας το raspberry pi με το όνομα influxdb, στο οποίο έχει εγκατασταθεί στατική IP 192.168.1.3)

Listening port στην πλευρά του knx server είναι βάσει πρωτοκόλλου το 3671, και ορίζουμε σαν τρόπο μετάδοσης tunnel/unicast (έναντι της επικοινωνίας multicast που δεν υποστηρίζεται από το knxd.)



ΕΙΚΟΝΑ 21: ΡΥΘΜΙΣΗ SERVER KNX ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ NODE-RED

Το κάνουμε deployed και λαμβάνουμε το εξής payload:

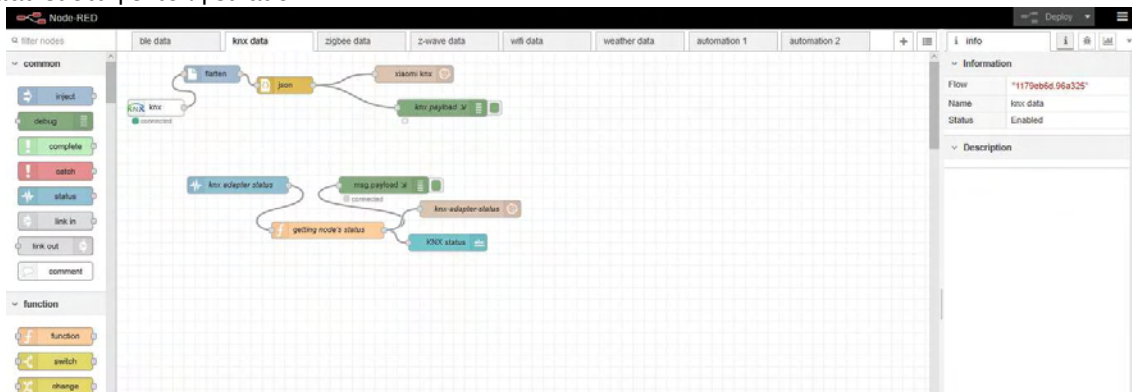
```
{"srcphy":"1.1.1","dstgad":"1/0/1","dpt":"no_dpt","value":"1","type":"event"}
```

Το **srcphy** αναφέρεται στο source physical address, δηλαδή τη φυσική διεύθυνση (ταυτότητα) του εξαρτήματος που αποστέλλει το σήμα. Όπως αναφέραμε παραπάνω, το μπουτόν έχει πάρει τη φυσική διεύθυνση 1.1.1.

Το **dstgad** αναφέρεται στο destination group address, δηλαδή τη διεύθυνση ομάδας (λειτουργία) που εκτελείται από το μπουτόν που ενεργοποιούμε, στην περίπτωσή μας είναι το 1/0/1 (που το ονομάσαμε παραπάνω σαν εντολή φωτισμού)

Το **dpt** αναφέρεται στο datapoint type, δηλαδή το είδος της εντολής (σήματος) που αποστέλλεται από το μπουτόν.

Το **value** αναφέρεται στην τιμή που έχει η dstgad, όπου στην περίπτωσή μας το λογικό 1 , σημαίνει ότι η εντολή είναι on.



ΕΙΚΟΝΑ 22: ΚΑΡΤΕΛΑ KNX RF ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ NODE-RED

Τα δεδομένα αυτά οδηγούνται σε βάση δεδομένων time series influxdb που έχει εγκατασταθεί στο raspberry pi με το όνομα influxdb. Εκεί έχει δημιουργηθεί ένας server με το όνομα χίαομι και τα δεδομένα που καταγράφονται καταχωρούνται στο measurement με το όνομα knx.

Η συνδεσιμότητα του knx adapter επιτηρείται μέσω status node και τα δεδομένα αποστέλλονται στη βάση δεδομένων χίαομι και στο measurement knx_adapter_status. Επίσης τα δεδομένα του κόμβου αποστέλλονται στο user interface μέσω ui_text node.

5.4 Το πρωτόκολλο Zigbee

Το πρωτόκολλο Zigbee είναι πρωτόκολλο ενός ασύρματου δίκτυο πλέγματος χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος, που στοχεύει σε κόμβους τροφοδοτούμενους από μπαταρία, σε εφαρμογές με ασύρματο έλεγχο και καταγραφή. Το Zigbee προσφέρει επικοινωνία χαμηλής υστέρησης, καθώς τα κυκλώματά του είναι ενσωματωμένα σε ασύρματους και μικροελεγκτές. Λειτουργεί στην βιομηχανική μπάντα των βιομηχανικών, επιστημονικών και υγειονομικών εφαρμογών (ISM) των 2.4 GHz στις περισσότερες περιοχές του κόσμου. Οι ταχύτητες δεδομένων μεταβάλλονται από 20 kbit/s (μπάντα των 868 MHz) έως 250 kbit/s (2.4 GHz band).

Το Zigbee βασίζεται στον έλεγχο του φυσικού επιπέδου (physical layer control) και τον έλεγχο πρόσβασης μέσου (media access control) που έχει καθοριστεί στο πρότυπο IEEE 802.15.4 περί δικτύων χαμηλής ταχύτητας προσωπικής χρήσης (Wireless personal area networks-(WPANs)). Η προδιαγραφή περιλαμβάνει τέσσερα επιπρόσθετα στοιχεία: επίπεδο δικτύου, επίπεδο εφαρμογής, Αντικείμενα Συσκευών Zigbee (Zigbee Device Objects -ZDOs) και αντικείμενα εφαρμογής που ορίζονται από τον κατασκευαστή. Τα ZDOs είναι υπεύθυνα για κάποιες εργασίες, όπως το να καταχωρούν τους ρόλους των κόμβων, να διαχειρίζονται τα αιτήματα ξένων κόμβων να εισέλθουν στο δίκτυο καθώς και την ασφάλεια των κόμβων και τη ανίχνευσή τους.

Το επίπεδο δικτύου του Zigbee υποστηρίζει δίκτυα τύπου αστέρα, δένδρου ή και πλέγματος. Το κάθε δίκτυο πρέπει να έχει έναν κόμβο που λειτουργεί σαν συντονιστής (coordinator). Στα δίκτυα τύπου αστέρα, ο coordinator πρέπει να είναι κεντρικός κόμβος. Στα δίκτυα τύπου δένδρου και πλέγματος επιτρέπεται στους δρομολογητές (routers) Zigbee να επεκτείνουν την επικοινωνία σε επίπεδο δικτύου. Ένα άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο του Zigbee είναι η δυνατότητα που παρέχει για τη διεξαγωγή επικοινωνίας με ασφάλεια, ασφαλίζοντας την δημιουργία και μεταφορά κλειδιών κρυπτογράφησης, κωδικοποίησης πλαισίων και ελέγχου συσκευών. Βασίζεται στο βασικό σκελετό ασφαλείας (basic security framework) που έχει οριστεί στο IEEE 802.15.4.

5.4.1 Η αναγνώριση του hardware του Zigbee

Με την εντολή `sudo dmesg | grep usb` λαμβάνουμε στο `usb 1-1.4` την αναγνώριση του Zigbee Interface που έχουμε συνδέσει.



```
pi@sensors: ~
File Edit Tabs Help
[ 2.155445] usb 1-1.4: New USB device found, idVendor=0451, idProduct=16a8,
bcdDevice= 0.09
[ 2.155461] usb 1-1.4: New USB device strings: Mfr=1, Product=2, SerialNumbe
r=3
[ 2.155471] usb 1-1.4: Product: TI CC2531 USB CDC
[ 2.155480] usb 1-1.4: Manufacturer: Texas Instruments
[ 2.155489] usb 1-1.4: SerialNumber: __0X00124B0018E18D6B
[ 2.267630] usb 1-1.5: new full-speed USB device number 5 using dwc_otg
```

ΕΙΚΟΝΑ 23: ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ZIGBEE COORDINATOR ΣΤΟ COMMAND LINE



ΕΙΚΟΝΑ 24: ΤΟ ZIGBEE COORDINATOR

Το CC2531 είναι μια λύση USB τύπου system-on-chip (SoC) για εφαρμογές IEEE 802.15.4, Zigbee και RF4CE. Δίνει την δυνατότητα σε USB dongles να δημιουργήσουν επεκτάσιμους κόμβους δικτύων. Το CC2531 συνδυάζει την απόδοση ενός πομποδέκτη με μία MCU 8051 με προγραμματιζόμενη μνήμη flash 256-KB. Έχει διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα όπου απαιτείται ιδιαίτερα χαμηλή κατανάλωση ισχύος κόμβων. Οι σύντομοι χρόνοι μετάβασης ανάμεσα στους τρόπους λειτουργίας είναι μια επιπρόσθετη εξασφάλιση για την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας στο δίκτυο.

Στην εργοστασιακή του έκδοση το CC2531 είναι ένα System-on-Chip που λειτουργεί σαν sniffer πακέτων. Για την επικοινωνία και διαχείριση του δικτύου Zigbee πρέπει να φλασαριστεί με λογισμικό.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του CC2531USB έχουν ως εξής:

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
RF/Layout	2.4-GHz IEEE 802.15.4 Compliant RF – IEEE 802.15.4 MAC Timer, General-Purpose Transceiver
	Άριστη ευαισθησία του Δέκτη και αντοχή στις παρεμβολές
	Προγραμματιζόμενη ισχύος εξόδου εκπομπής μέχρι τα 4.5 dBm
Μικροεπεξεργαστής	Χρειάζεται ένας κρύσταλλος για τα δίκτυα τύπου πλέγματος (Mesh Networks)
	Μικροεπεξεργαστής Core με Code Prefetch υψηλής απόδοσης και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος
	Μνήμη προγραμματιζόμενη flash 256-KB
	8-KB RAM με διατήρηση σε όλα τα είδη λειτουργίας
Εφαρμογές	Υποστήριξη αποσφαλμάτωσης υλικού
	Επεκτάσιμο USB σε συστήματα 2.4-GHz IEEE 802.15.4
	Περιφερειακά PC
	Συστήματα ZigBee
	Οικιακός/Κτιριακός Αυτοματισμός
	Συστήματα φωτισμού
	Βιομηχανικός Έλεγχος και Παρακολούθηση
	Δίκτυα ασύρματων αισθητήρων χαμηλής ισχύος
	Ηλεκτρονικά ευρείας χρήσης
	Εφαρμογές υγείας

Επιπρόσθετα χρησιμοποιούμε αισθητήρα χώρου θερμοκρασίας και υγρασίας xiaomi mijia.



ΕΙΚΟΝΑ 25: ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΧΩΡΟΥ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα έχουν ως εξής:

- Ασύρματο πρωτόκολλο: Zigbee
- Είδος μπαταρίας: CR2032, 3V
- Εύρος θερμοκρασίας: -20°C έως +50°C, και ακρίβεια: ±0.3°C
- Εύρος υγρασίας: 0 έως 100% RH, και ακρίβεια: ±3%

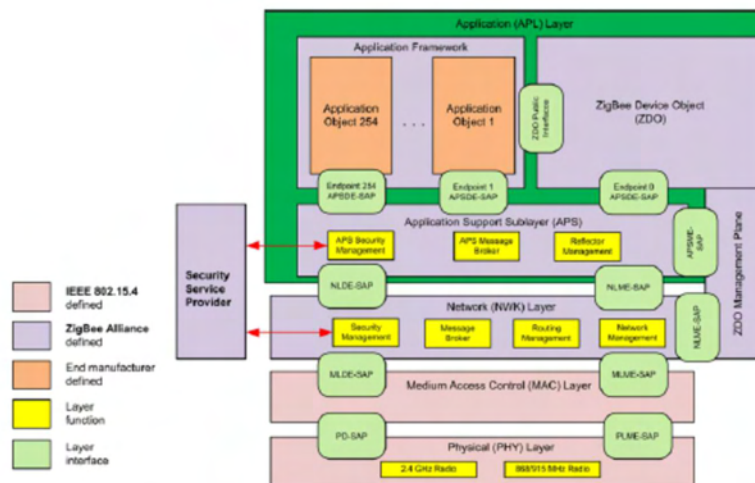
5.4.2 Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου Zigbee

Η αρχιτεκτονική στοίβας του ZigBee αποτελείται από ένα σετ από μπλοκ που καλούνται επίπεδα (layers). Κάθε επίπεδο εκτελεί ένα σύνολο υπηρεσιών για το επίπεδο που βρίσκεται παραπάνω. Μια ενότητα δεδομένων παρέχει υπηρεσία μετάδοσης δεδομένων και μια ενότητα διαχείρισης παρέχει όλες τις υπόλοιπες υπηρεσίες. Κάθε ενότητα υπηρεσίας παρέχει ένα interface στο από πάνω επίπεδο μέσω ενός service access point (SAP) και κάθε SAP υποστηρίζει έναν αριθμό αρχέτυπων υπηρεσιών (primitive services) για να επιτευχθεί η απαιτούμενη λειτουργικότητα.

Το πρότυπο IEEE 802.15.4 ορίζει δύο κατώτερα επίπεδα: το φυσικό επίπεδο (PHY) και το υποεπίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC). Η ZigBee Alliance (υπεύθυνος φορέας διαχείρισης του προτύπου), βασιζόμενη πάνω σε αυτό το πλαίσιο παρέχει το επίπεδο δικτύου (NWK) και το πλαίσιο για το επίπεδο εφαρμογής. Το πλαίσιο του επιπέδου εφαρμογής (application layer framework) αποτελείται από το υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογής (application support sublayer - APS) και τα αντικείμενα συσκευών Zigbee (Zigbee device objects – ZDO). Τα αντικείμενα που έχουν οριστεί από τους κατασκευαστές χρησιμοποιούν το πλαίσιο και μοιράζονται το APS και τις υπηρεσίες ασφαλείας με τα ZDO.

Το φυσικό επίπεδο PHY λειτουργεί σε δύο διαφορετικά πεδία συχνοτήτων: 868/915 MHz και δύο 2.4 GHz. Η χαμηλότερη συχνότητα στο φυσικό επίπεδο PHY καλύπτει και την Ευρωπαϊκή μπάντα συχνοτήτων των 868 MHz και την μπάντα των 915 MHz που χρησιμοποιείται στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Αυστραλία. Η μπάντα των 2,4GHz χρησιμοποιείται σε παγκόσμια κλίμακα.

Το υποεπίπεδο MAC ελέγχει την πρόσβαση στο ραδιοκάναλι που χρησιμοποιεί τον μηχανισμό CSMA-CA. Οι λειτουργίες του επίσης περιλαμβάνουν επίσης την εκπομπή πλαισίων beacon , τον συγχρονισμό, και τον μηχανισμό ασφαλούς μετάδοσης.

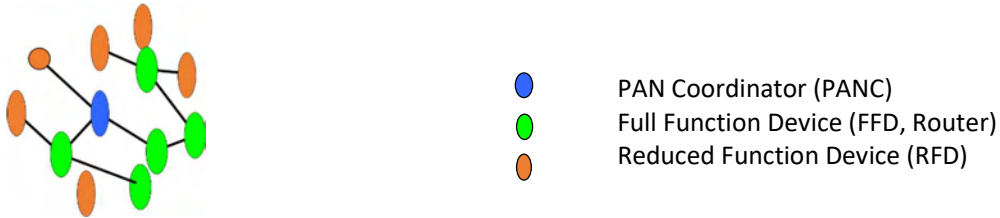


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΤΟΙΒΑΣ ZIGBEE

Το επίπεδο δικτύου ZigBee (NWK) υποστηρίζει τοπολογίες τύπου αστέρα, δέντρου ή και πλέγματος. Σε μια τοπολογία αστέρα, το δίκτυο ελέγχεται από ένα από ένα μεμονωμένο κόμβο, που ονομάζεται συντονιστής Zigbee (Zigbee coordinator). Ο Zigbee Coordinator είναι υπεύθυνος για την εκκίνηση και συντήρηση των κόμβων στο δίκτυο. Όλοι οι άλλοι κόμβοι, γνωστοί και ως τελικοί κόμβοι (End Devices) επικοινωνούν απευθείας με τον Zigbee Coordinator.

Τα δίκτυα τύπου πλέγματος επιτρέπουν πλήρη επικοινωνία full peer-to-peer. Οι δρομολογητές στα δίκτυα πλέγματος δεν εκπέμπουν κανονικούς beacons σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.15.4 beacons. Το πρότυπο περιγράφει μόνο δίκτυα intra-PAN, τα οποία είναι δίκτυα στα οποία η επικοινωνία σταματάει και ξεκινάει στο ίδιο δίκτυο.

Τα δίκτυα τύπου πλέγματος είναι πιο πολύπλοκα, είναι πιο αξιόπιστα, και μειώνονται οι στενώσεις στον Coordinator.



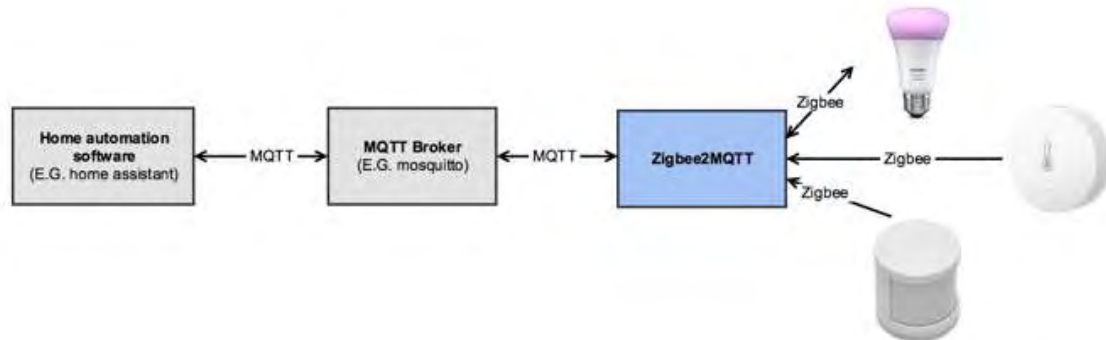
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19: ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ZIGBEE ΤΥΠΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

5.4.3 Δημιουργία ζεύξεων στο δίκτυο Zigbee (pairing κόμβων zigbee)

Για την δημιουργία ζεύξεων του δικτύου, χρησιμοποιούμε το Interface CC2531, και χρησιμοποιούμε το flash_cc2531 για να φλασαριστεί, καθώς χρησιμοποιούμε την τροφοδοσία στα pinouts του raspberry ως εξής:

- pin 1 (GND) → pin 39 (GND)
- pin 7 (reset) → pin 35 (GPIO24, BCM19)
- pin 3 (DC) → pin 36 (GPIO27, BCM16)
- pin 4 (DD) → pin 38 (GPIO28, BCM20)

Έπειτα εγκαθιστούμε το zigbee2mqtt (www.zigbee2mqtt.io) στο raspberry pi@sensors, το οποίο είναι ένα middleware που επιτρέπει την αποστολή πακέτων δεδομένων zigbee σε mqtt broker, εγκατεστημένου επίσης στο raspberry pi, σύμφωνα με την παρακάτω αρχιτεκτονική που εμφανίζεται στο διάγραμμα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ZIGBEE2MQTT

Το αρχείο ρύθμισης configuration **yaml.conf** μας παρέχει τις εξής πληροφορίες:

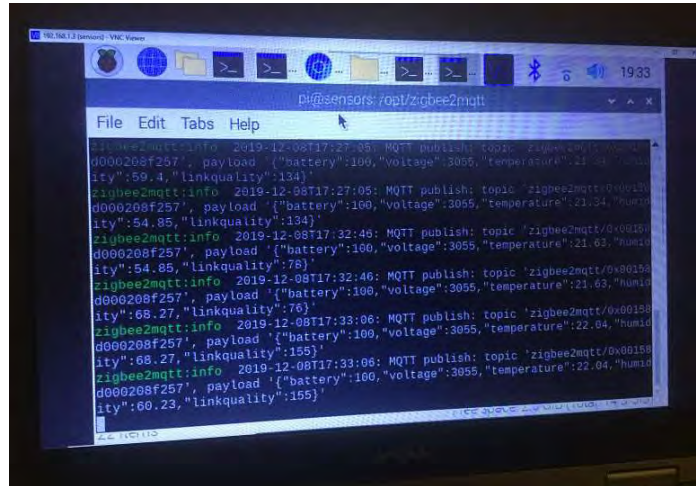
```
homeassistant: false
permit_join: true
mqtt:
  base_topic: zigbee2mqtt
  server: 'mqtt://localhost:1883'
serial:
  port: /dev/ttyACM0
devices:
  '0x00158d000208f257':
    friendly_name: '0x00158d000208f257'
```

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Το πρωτόκολλο Zigbee

Το zigbee2mqtt επιτρέπει σε κόμβους Zigbee να συνδεθούν στο δίκτυο (με την επιλογή `permit_join:true`), το Zigbee Interface είναι συνδεδεμένο στη θύρα `/dev/ttyACM0` κλπ

Έχοντας κάνει τη σύζευξη (pairing) ανάμεσα στο zigbee interface και τον αισθητήρα χώρου της χιαομί (πιέζοντας το μπουτόν reset του αισθητήρα για 5sec) μπορούμε να συνδεθούμε εισάγοντας `npm start` στο `/opt/zigbee2mqtt`, όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε την επικοινωνία μεταξύ interface και αισθητήρα χώρου.

Όπως παρατηρούμε στην παρακάτω φωτογραφία, λαμβάνουμε μετρήσεις για θερμοκρασία ("**humidity**"), υγρασία ("**humidity**"), στάθμη μπαταρίας ("**battery**"), και "**linkquality**".

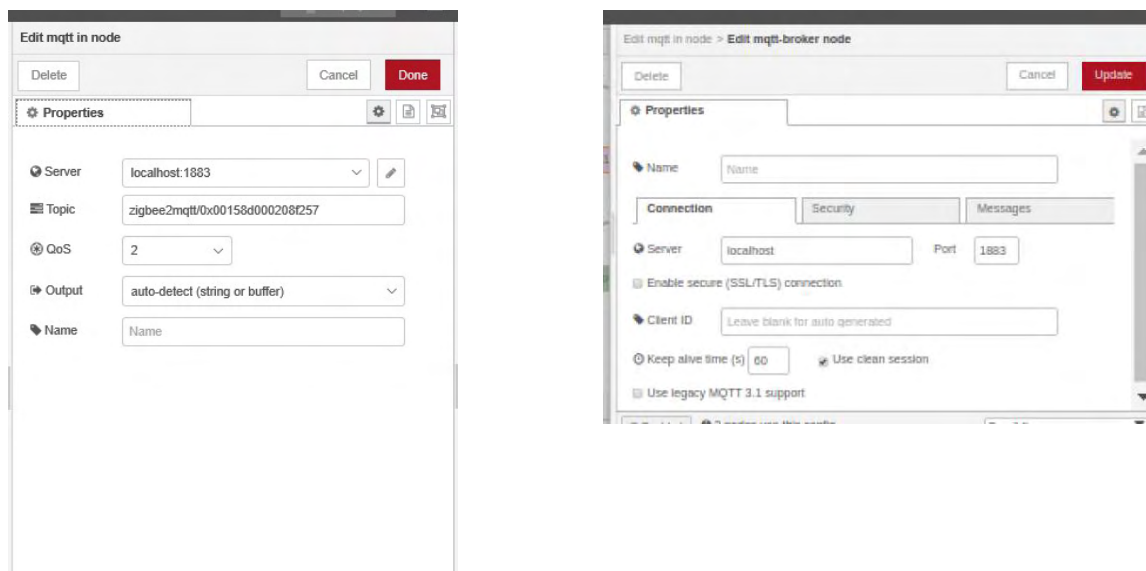


```
zigbee2mqtt:info 2019-12-08T17:27:05: MQTT publish: topic 'zigbee2mqtt/0x00158d000208f257', payload '{"battery":100,"voltage":3055,"temperature":21.04,"humidity":59.4,"linkquality":134}'
zigbee2mqtt:info 2019-12-08T17:27:05: MQTT publish: topic 'zigbee2mqtt/0x00158d000208f257', payload '{"battery":100,"voltage":3055,"temperature":21.04,"humidity":54.85,"linkquality":134}'
zigbee2mqtt:info 2019-12-08T17:32:46: MQTT publish: topic 'zigbee2mqtt/0x00158d000208f257', payload '{"battery":100,"voltage":3055,"temperature":21.63,"humidity":54.85,"linkquality":78}'
zigbee2mqtt:info 2019-12-08T17:32:46: MQTT publish: topic 'zigbee2mqtt/0x00158d000208f257', payload '{"battery":100,"voltage":3055,"temperature":21.63,"humidity":68.27,"linkquality":76}'
zigbee2mqtt:info 2019-12-08T17:33:06: MQTT publish: topic 'zigbee2mqtt/0x00158d000208f257', payload '{"battery":100,"voltage":3055,"temperature":22.04,"humidity":68.27,"linkquality":155}'
zigbee2mqtt:info 2019-12-08T17:33:06: MQTT publish: topic 'zigbee2mqtt/0x00158d000208f257', payload '{"battery":100,"voltage":3055,"temperature":22.04,"humidity":60.23,"linkquality":155}'
```

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21: ZIGBEE2MQTT TRAFFIC

5.4.4 Η διαχείριση του Zigbee στο Node RED

Στην εφαρμογή του Node-RED θέλουμε να επιτύχουμε την εμφάνιση του zigbee traffic. Για αυτό το λόγο εισάγουμε κόμβο εισόδου mqtt in στον οποίο εισάγουμε τα στοιχεία του mqtt broker που έχουμε ορίσει



ΕΙΚΟΝΑ 26: ΣΤΟΙΧΕΙΑ MQTT BROKER

Το payload που προκύπτει είναι το:

```
{"topic":"zigbee2mqtt/0x00158d000208f257","payload":{"battery":68,"voltage":2945,"temperature":23.05,"humidity":52.09,"linkquality":162},"qos":0,"retain":false,"_topic":"zigbee2mqtt/0x00158d000208f257","_msgid":"8b922334.e82a1"}
```

Παρατηρούμε ότι εκτός των προαναφερθέντων ιδιοτήτων περιλαμβάνονται και άλλα στοιχεία, όπως το qos. Στον κόμβο εισόδου του mqtt έχουμε ορίσει QoS 2, το οποίο είναι το πιο ασφαλές αλλά το πιο αργό επίπεδο υπηρεσίας στο MQTT, όπου εξασφαλίζεται ότι κάθε μήνυμα λαμβάνεται μόνο μία φορά από τον κατάλληλο αποδέκτη. Η εξασφάλιση παρέχεται από το ότι υπάρχουν τουλάχιστον δύο ροές request/response (handshake 4 σημείων) ανάμεσα στον εκπομπό και τον δέκτη.

Στο payload όμως που έρχεται η απάντηση από τον αισθητήρα παρατηρούμε ότι το QoS είναι 0, το οποίο είναι το ελάχιστο επίπεδο υπηρεσίας που παρέχει το MQTT. Σε αυτή την περίπτωση ο αποδέκτης του μηνύματος δεν επιβεβαιώνει τη λήψη του, και το μήνυμα δεν αποθηκεύεται και δεν αποστέλλεται δεύτερη φορά από τον πομπό.

Με τη βοήθεια του κόμβου node επιλέγουμε τα δεδομένα που θέλουμε να επεξεργαστούμε

```
var newmsg1 =  
{payload:{'battery':msg.payload.battery,'voltage':msg.payload.voltage,'temperature':  
msg.payload.temperature,'humidity':msg.payload.humidity,'linkquality':msg.payload.linkquality,'q  
os':msg.qos}};  
return newmsg1;
```

Τα δεδομένα αυτά οδηγούνται σε βάση δεδομένων time series influxdb που έχει εγκατασταθεί στο raspberry pi με το όνομα influxdb. Εκεί έχει δημιουργηθεί ένας server με το όνομα xiaomi και τα δεδομένα που καταγράφονται καταχωρούνται στο measurement με το όνομα xiaomi measurements1.

Μέσω κατάλληλων gauges (δείκτη μέτρησης) και charts (γραφικών παραστάσεων) αποστέλλουμε δεδομένα στο user interface του Node-RED αναφορικά με τη θερμοκρασία, την υγρασία, το qos, το linklevel και το επίπεδο της μπαταρίας.

Μέσω status node επιτηρούμε την κατάσταση σύνδεσης του mqtt server και αποστέλλουμε τα δεδομένα στη βάση δεδομένων xiaomi και στο measurement zigbee-adapter-status. Η ένδειξη της κατάστασης της σύνδεσης του mqtt αποστέλλεται μέσω κόμβου ui_text στο user interface του Node-RED.



ΕΙΚΟΝΑ 27: Η ΚΑΡΤΕΛΑ ZIGBEE ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ NODE-RED

5.5 Το πρωτόκολλο Z-Wave

Η Z-Wave Alliance (εποπτικός φορέας του προτύπου Z-Wave) δημιουργήθηκε στις αρχές του 2005 από μια ομάδα κορυφαίων κατασκευαστών εξαρτημάτων οικιακού αυτοματισμού, που ήταν δυσαρεστημένη με τον τεχνολογικό κατακερματισμό που υπήρχε στον οικιακό αυτοματισμό και ήθελε να δημιουργήσει ένα πρότυπο που να υποστηρίζει δίκτυα τύπου πλέγματος χωρίς την ανάγκη κόμβου συντονιστή (Coordinator Node).

Οι κόμβοι τεχνολογίας Z-Wave λειτουργούν στην μπάντα των ISM και το πρότυπο έχει δημιουργηθεί για εφαρμογές δεδομένων επικοινωνίας χαμηλού εύρους ζώνης, όπως οι αισθητήρες ασφάλειας, οικιακού αυτοματισμού, συναγερμοί κλπ. Στον ακόλουθο πίνακα εμφανίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία Z-Wave και σε εφαρμογές IoT.

Το πρωτόκολλο ZWave είναι proprietary, δημιουργήθηκε από την Sigma Designs, Inc. και συμπεριελάμβανε και την κρυπτογράφηση. Υπάρχουν και εφαρμογές ανοιχτού κώδικα για την στοίβα του πρωτοκόλλου Z-Wave, όπως το openzwave, το οποίο όμως δεν υποστηρίζει το επίπεδο ασφάλειας (security layer).

Λειτουργεί στην μπάντα των υπό-1GHz και δεν επηρεάζεται από παρεμβολές και άλλες τεχνολογίες ασύρματες στο εύρος των 2.4-GHz (Bluetooth, ZigBee, κλπ.)

Τα επίπεδα PHY και MAC του Z-Wave έχουν οριστεί στην σύσταση του ITU-T υπ. αριθμόν G.9959.

Έχει σχεδιαστεί ειδικά για εφαρμογές ελέγχου και ένδειξης κατάστασης, υποστηρίζει ταχύτητες δεδομένων μέχρι τα 100kbps, με κρυπτογράφηση AES128, διευθυνσιοδότηση IPV6, και πολυκάναλη λειτουργία

Υπάρχει πλήρης διαλειτουργικότητα μέσω του επιπέδου (layer) 6 με συμβατότητα προς τα πίσω προς όλες τις εκδόσεις.

Έχει γεφυρωθεί και δοκιμαστεί με επιτυχία με το OpenADR, SEP 1, SEP 1.1 και άλλα πρωτόκολλα Smart Energy s.

Έχει την ίδια θέση στον Κατάλογο Προτύπων NIST / SGIP όπως το IEEE 802.11 και το 802.15 και οι οικογένειες των 802.16.

Προδιαγραφή	Υποστήριξη ZWave
Πρότυπο	ITU-T G.9959 (PHY και MAC)
Συχνότητα RF	868.42 MHz στην Ευρώπη
Ταχύτητα Μετάδοσης Δεδομένων	9.6, 40, 100 Kbps
Μέγιστος Αριθμός Κόμβων	232
Αρχιτεκτονική	Master και slave σε λειτουργία πλέγματος (mesh mode)
Επίπεδο MAC layer	CSMA/CA
RF PHY modulation	FSK (για 9.6kbps and 40 kbps), GFSK with BT=0.6 (for 100 kbps)
Κωδικοποίηση	Manchester (για τα 9.6kbps), NRZ (για τα 40 και τα 100 kbps)
Εμβέλεια	30 meter in indoors, 100 meters in outdoors

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ Z-WAVE

5.5.1 Η αναγνώριση του hardware του Z-Wave

Με την εντολή lsusb αναγνωρίζουμε τα συνδεδεμένα Interfaces στις θύρες USB του raspberry pi.

```
pi@sensors:~$ lsusb
Bus 001 Device 007: ID 0658:0200 Sigma Designs, Inc. Aeotec Z-Stick Gen5 (ZW090) - UZB
Bus 001 Device 004: ID 0451:16a8 Texas Instruments, Inc.
Bus 001 Device 003: ID 0424:ec00 Standard Microsystems Corp. SMSC9512/9514 Fast Ethernet Adapter
Bus 001 Device 002: ID 0424:9514 Standard Microsystems Corp. SMC9514 Hub
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
```

ΕΙΚΟΝΑ 28: ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ Z-WAVE INTERFACE ΣΤΟ COMMAND LINE

Το Z-Wave Interface προέρχεται από την εταιρεία Z-WAVE>ME και συνδέει PC ή άλλη υπολογιστική πλατφόρμα στο ασύρματο δίκτυο Z-Wave. Απαιτείται λογισμικό συμβατό με το Silicon Labs Z-Wave Serial API για να χρησιμοποιηθούν οι λειτουργίες της συσκευής.

Αυτός ο κόμβος εφαρμόζει ένα εικονικό σειριακό interface (virtual serial interface) που χρησιμοποιείται από την εφαρμογή του Z-Wave. Το Linux έχει ενσωματωμένο device driver και δημιουργεί νέα συσκευή με το όνομα /dev/ttyACM1



ΕΙΚΟΝΑ 29 : Z-WAVE USB INTERFACE

```
pi@sensors:~$ sudo dmesg | grep tty
[ 0.000000] Kernel command line: coherent_pool=1M 8250.nr_ua...
5.enable_compat_alsa=0 snd_bcm2835.enable_hdmi=1 snd_bcm2835.enable_headphones=1 bcm2708_fb.fbwidth=656 bcm2708_fb.fbheight=416 bcm2708_fb.fbswap=1 vc_mem.mem_base=0x3ec00000 vc_mem.mem_size=0x40000000 console=ttyS0,115200 console=tty1 root=PARTUUID=5e3da3da-02 rootfstype=ext4 elevator=deadline fsck.repair=yes rootwait quiet splash plymouth.ignore-serial-consoles
[ 0.000286] console [tty1] enabled
[ 0.730420] 3f201000.serial: ttyAMA0 at MMIO 0x3f201000 (irq = 81, base_baud = 0) is a PL011 rev2
[ 5.420223] cdc_acm 1-1.4:1.0: ttyACM0: USB ACM device
[ 5.430974] cdc_acm 1-1.5:1.0: ttyACM1: USB ACM device
pi@sensors:~$
```

ΕΙΚΟΝΑ 30 : TTYACM0 TO CC2531 USB INTERFACE, TTYACM1 TO Z-WAVE INTERFACE

Το UZB υποστηρίζει το Z-Wave Security S2 και λειτουργίες Smart Start.

Χρησιμοποιούμε αισθητήρα φωτεινότητας, θερμοκρασίας και κίνησης της εταιρείας Fibaro.



ΕΙΚΟΝΑ 31 : ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑΣ, ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΣΗΣ

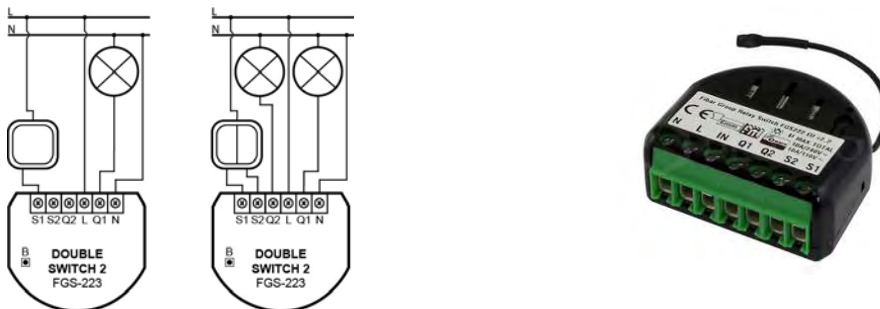
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πολλαπλού αισθητήρα έχουν ως εξής:

- Συμβατότητα με οποιονδήποτε Ελεγκτή Z-Wave or Z-Wave+ (firmware 3.2 ή ανώτερο).
- Υποστηρίζει την προστατευμένη λειτουργία (λειτουργία ασφαλείας δικτύου Z-Wave) με κρυπτογράφηση AES-128 (firmware 3.2 ή ανώτερο).

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Το πρωτόκολλο Z-Wave

- Τροφοδοσία μέσω μπαταρίας CR123A, τάσης 3.0V.
- Ανιχνεύει την κίνηση χρησιμοποιώντας παθητικό ανιχνευτή IR .
- Μέτρηση θερμοκρασίας με εύρος -10°C μέχρι +100°C.
- Μέτρηση φωτεινότητας με εύρος 0 μέχρι 32000Lux.
- Εύκολη εγκατάσταση σε τοίχο ή σε οποιαδήποτε εγκατάσταση.
- Ασφάλεια έναντι κλοπής ή βανδαλισμού, αφού ανιχνευτούν κραδασμοί αποστέλλεται σήμα στον κεντρικό ελεγκτή.
- Η κίνηση, θερμοκρασία, και οι κραδασμοί που ανιχνεύονται επισημαίνονται οπτικά από ενσωματωμένο LED.
- Δυνατότητα ανίχνευσης κραδασμών
- Ενσωματωμένο επιταχυνσιόμετρο (accelerometer) που επιτρέπει την μέτρηση της κατεύθυνσης στο χώρο.

Επίσης χρησιμοποιούμε ενεργοποιητή δύο εξόδων της εταιρείας Fibaro:

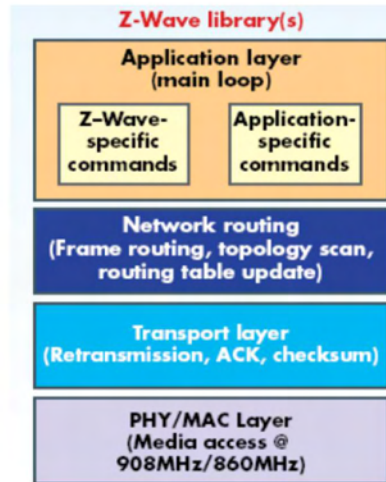


ΕΙΚΟΝΑ 32 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΗ Z-WAVE 2 ΕΞΟΔΩΝ

- Συμβατότητα με οποιονδήποτε ελεγκτή Z-Wave or Z-Wave+
- Υποστηρίζει την προστατευμένη λειτουργία (λειτουργία προστασίας δικτύου Z-Wave) με κρυπτογράφηση AES-128
- Εξελιγμένος έλεγχος μικροεπεξεργαστή
- Λειτουργία μέτρησης ισχύος και πραγματικής ενέργειας
- Λειτουργεί με διάφορους τύπους διακοπών, μπουτόν push on, toggle κλπ.
- Μπορεί να εγκατασταθεί σε κουτί διακόπτη κατάλληλων διαστάσεων.

5.5.2 Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου Z-Wave

Το πρωτόκολλο Z-Wave ορίζει ένα αμφίδρομο ασύρματο σύστημα [33] που λειτουργεί στα 908 MHz. Εστιάζει σε εφαρμογές όπως έλεγχος φωτισμού και συσκευών, κλιματισμού, ελέγχου πρόσβασης και ανίχνευσης πυρκαγιάς. Λειτουργεί με ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων καταρχήν στα 9.6Kbps, η οποία επεκτάθηκε στα 40 Kbps. Οι προγραμματιστές μπορούν να στήσουν ένα δίκτυο τύπου πλέγματος που βασίζεται σε πρωτόκολλο δρομολόγησης που καθορίζεται από την πηγή (source routing protocol), το οποίο δημιουργήθηκε από την Zensys Corp. πάνω στο link layer.



ΕΙΚΟΝΑ 33 : ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ Z-WAVE

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα η στοίβα του Z-Wave αποτελείται από το επίπεδο PHY/MAC [40], το επίπεδο μεταφοράς, το επίπεδο δρομολόγησης δικτύου, και το επίπεδο εφαρμογής. Το επίπεδο PHY/MAC ελέγχει την πρόσβαση στο μέσο RF. Χρησιμοποιεί διαμόρφωση FSK με κωδικοποίηση καναλιού Manchester.

Το επίπεδο μεταφοράς ελέγχει την μεταφορά δεδομένων ανάμεσα σε δύο κόμβους συμπεριλαμβανομένης και της επαναληπτικής μεταφοράς, του ελέγχου checksum και των επιβεβαιώσεων (acknowledgements). Δηλαδή επικυρώνει την εγκυρότητα της μετάδοσης ανάμεσα σε δύο κόμβους και αναλαμβάνει την επιβεβαίωση των δεδομένων και την επανάληψη της αποστολής. Σε αυτό το επίπεδο, μια επιτυχής λήψη δεδομένων επιβεβαιώνεται μέσω ενός frame ACK χωρίς payload δεδομένων.

Το επίπεδο δρομολόγησης δικτύου είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση πακέτων ανάμεσα στους κόμβους, την επαναληπτική αποστολή δεδομένων, την σάρωση της τοπολογίας του δικτύου κλπ.

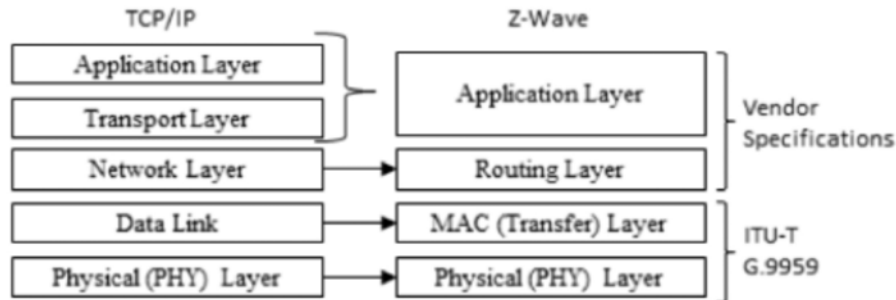
Αναλαμβάνει τη δρομολόγηση του frame από κόμβο σε κόμβο ανάλογα με τη στατική θέση του controller και των ελεγχόμενων συσκευών. Στο frame συμπεριλαμβάνεται και μια λίστα repeaters για να εξασφαλιστεί ότι ο κόμβος θα εκτελέσει τη βέλτιστη διαδρομή στον προορισμό του μόνο μέσα από τους προκαθορισμένους repeaters. Στο μεταξύ το επίπεδο δρομολόγησης διατηρεί δυναμικά τον πίνακα δρομολόγησης σαρώνοντας την τρέχουσα τοπολογία του δικτύου.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της τεχνολογίας Z-Wave είναι η δυνατότητα δρομολόγησης όλων των κόμβων στο δίκτυο. Το Z-Wave αυτόματα δρομολογεί το σήμα από τον ένα κόμβο στον άλλο.

Το επίπεδο εφαρμογής του Z-Wave είναι υπεύθυνο για την αποκωδικοποίηση και την εκτέλεση εντολών στο δίκτυο Z-Wave. Το frame σε αυτό το επίπεδο αποτελείται από πληροφορία εντολής τύπου header καθώς και από παραμέτρους ανάλογα με τη λειτουργία. Οι εντολές επίσης περιλαμβάνουν και την πληροφορία του HomeID (ταυτότητα εγκατάστασης) και του Node ID (ταυτότητα συσκευής).

Όπως και το Zigbee, το Z-Wave ορίζει δύο είδη κόμβων για την υποστήριξη του αυτορρυθμιζόμενου δικτύου πλέγματος, έναν ελεγκτή ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη ρύθμιση μιας σειράς παραμέτρων του δικτύου (π.χ. ραδιοκάνάλι, αναγνώριση δικτύου, μια ομάδα εντολών για λειτουργία κλπ) και ανάθεση αναγνωριστικού το νέο κόμβο τύπου slave ο οποίος συνδέεται στο δίκτυο, και διαχείριση των κόμβων τύπου slave που λειτουργούν είτε σαν τελικοί κόμβοι (end-nodes) ή σαν repeaters με δυνατότητα δρομολόγησης για προώθηση των δεδομένων. Τα κύρια χαρακτηριστικά του Z-Wave μπορούν να συγκεντρωθούν ως εξής:

- Απλότητα στην εγκατάσταση και στη θέση σε λειτουργία (deployment ή commissioning) με αυτόματη διευθυνσιοδότηση για ευκολότερη διαχείριση του δικτύου.
- Χαμηλότερο κοστολόγιο κτήσης εξαιτίας της τεχνολογίας ενσωμάτωσης στο chip.
- Ιδιαίτερα χαμηλή κατανάλωση ισχύος με τη βοήθεια της «ελαφρότητας» της στοίβας του πρωτοκόλλου και της συμπιεσμένης μορφής του frame
- Οι κόμβοι είναι ιδιαίτερα μικροί στο μέγεθος από πλευράς hardware για να διευκολυνθεί η ενσωμάτωσή τους σε άλλες συσκευές.
- Ιδιαίτερα καλή συμπεριφορά έναντι σε παρεμβολές, καθώς χρησιμοποιείται τεχνολογία αμφίδρομου acknowledgement, τυχαίου αλγόριθμου back-off, και αποφυγής σύγκρουσης.



ΕΙΚΟΝΑ 34: ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΤΟΙΒΑΣ Z-WAVE

Το δίκτυο **Z-Wave** αποτελείται από ελεγκτές (ένα πρωτεύοντα ελεγκτή και περισσότερους από έναν δευτερεύοντες), καθώς και διαφορετικά εξαρτήματα τύπου slave. Οι ελεγκτές είναι οι κόμβοι σε ένα δίκτυο Z-Wave οι οποίοι εκκινούν εντολές ελέγχου. Επίσης αναμεταδίδουν εντολές σε άλλους κόμβους. Τα εξαρτήματα τύπου slave είναι οι κόμβοι οι οποίοι απαντούν ανάλογα με τις εντολές που έχουν δεχθεί και επίσης εκτελούν αυτές τις εντολές. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται δυνατή η επικοινωνία με κόμβους που δεν είναι στην ίδια περιοχή ραδιοσυχνότητας.

Ελεγκτές:

Ένα εξάρτημα τύπου ελεγκτή θα έχει έναν πλήρη πίνακα δρομολόγησης (routing table) για αυτό το δίκτυο πλέγματος και θα το φιλοξενεί. Υπάρχουν δύο είδη ελεγκτών, πρωτεύοντες και δευτερεύοντες.

Ο ελεγκτής ο οποίος αρχικοποιεί το δίκτυο Z-Wave είναι ο πρωτεύον (primary) ελεγκτής. Αυτός ο ελεγκτής θεωρείται master και είναι ένας σε κάθε δίκτυο Z-Wave. Οπότε ο πρωτεύον ελεγκτής έχει τη δυνατότητα να προσθέτει και να αφαιρεί κόμβους στο δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο ο πρωτεύον ελεγκτής έχει στη διάθεσή του την πιο πρόσφατη τοπολογία του δικτύου. Επίσης έχει στη δικαιοδοσία του την απόδοση ID σε κάθε κόμβο.

Οι ελεγκτές οι οποίες προστίθενται στο δίκτυο Z-Wave από τον πρωτεύοντα ελεγκτή είναι γνωστοί σαν δευτερεύοντες ελεγκτές. Δεν έχουν τη δυνατότητα να προσθέτουν ή να αφαιρούν κόμβους από το δίκτυο. Παίρνουν αντίγραφα του πίνακα δρομολόγησης από τον πρωτεύοντα ελεγκτή.

Slaves:

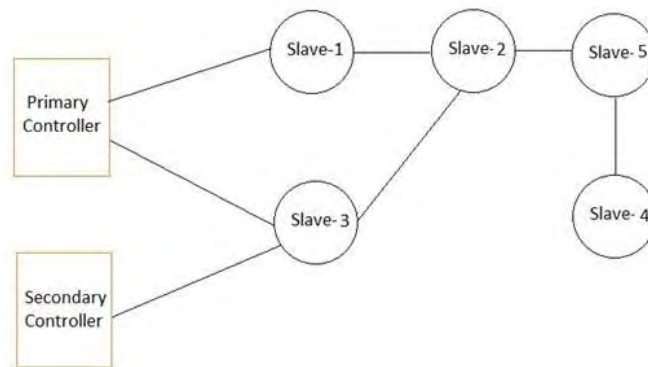
Οι κόμβοι/συσκευές τύπου slave στο δίκτυο Z-Wave λαμβάνουν τις εντολές και εκτελούν ενέργειες. Αυτοί οι κόμβοι δεν είναι σε θέση να αναμεταδώσουν δεδομένα σε άλλους κόμβους slave ή ελεγκτές εκτός αν δεχτούν εντολές που να περιέχουν ακριβώς τέτοιο περιεχόμενο. Επίσης οι κόμβοι slave δεν υπολογίζουν πίνακες δρομολόγησης, αλλά μπορούν να τους αποθηκεύσουν.

Home ID:

Το πρωτόκολλο Z-Wave χρησιμοποιεί αναγνωριστικό πεδίο Home ID για να διαχωρίζει το ένα δίκτυο από τα άλλα. Είναι ένα μοναδικό αναγνωριστικό μήκους 32 bit το οποίο είναι προ ρυθμισμένο σε όλες τις συσκευές τύπου ελεγκτή. Κατά την εκκίνηση όλοι οι κόμβοι τύπου slave έχουν το Home ID στο μηδέν, το οποίο θα ρυθμιστεί από τον πρωτεύοντα ελεγκτή..

ID κόμβου:

Το ID του κόμβου είναι ένα αναγνωριστικό μήκους 8 bit. Όπως και με το Home ID, λαμβάνεται από τον πρωτεύοντα ελεγκτή. Τα ID των κόμβων χρησιμοποιούνται για την διευθυνσιοδότηση των κόμβων στο δίκτυο Z-Wave. Τα ID's των κόμβων είναι μοναδικά σε κάθε δίκτυο είναι μοναδικά και ορίζονται από ένα μοναδικό Home ID.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22:ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ Z-WAVE

5.5.3 Ζεύξεις του δικτύου Z-Wave μέσω της βιβλιοθήκης openzwave-shared

Με την εντολή `sudo nano /home/pi/.node-red/node_modules/openzwave-shared/test2.js` και ρυθμίζουμε τη θύρα στην οποία έχει τοποθετηθεί ο Z-Wave Adapter, στην περίπτωση μας `/dev/ttyACM1`

```
var zwave = new ZWave({
  ConsoleOutput: true
});

zwavedriverpaths = {
  "darwin": '/dev/cu.usbmodem1411',
  "linux": '/dev/ttyACM1',
  "windows": '\\\\.\\COM3'
}
```

ΕΙΚΟΝΑ 35: ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ Z-WAVE ADAPTER ΣΤΟ OPENZWAVE-SHARED

Επιλέγουμε την εντολή `cd /home/pi/.node-red/node_modules/openzwave-shared`

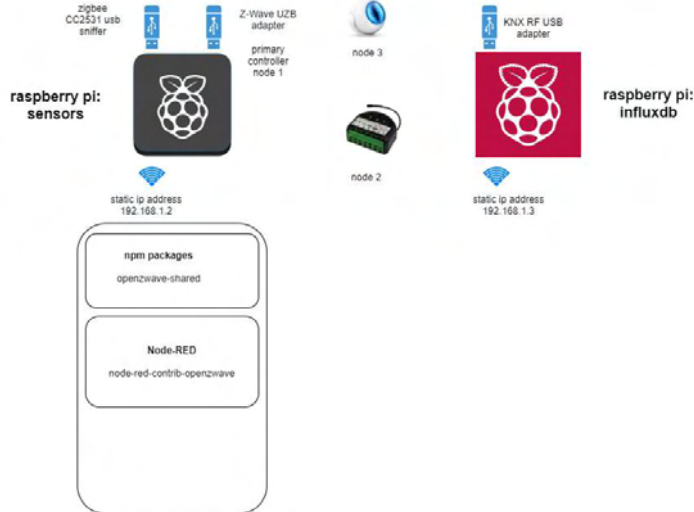
Εκκινούμε το node.js με την εντολή `node`

Και δίνουμε `.load test2.js`

Συνδεόμαστε με τον Z-Wave Adapter με την εντολή `zwave.connect('/dev/ttyACM1')`

Προσθέτουμε κόμβους στο δίκτυο με την εντολή `zwave.addNode(0xcd139af1,true)` όπου το `0xcd139af1` είναι το Home ID του Z-Wave adapter, όπου για να ολοκληρωθεί το pairing πρέπει να πατήσουμε το pairing button σε κάθε εξάρτημα Z-Wave.

Σαν node 2 προσθέτουμε τον αισθητήρα φωτεινότητας, θερμοκρασίας και κίνησης της Fibaro. Σαν node 3 προσθέτουμε τον ενεργοποιητή 2 εξόδων της Fibaro.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23:ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ Z-WAVE

5.5.4 Το αρχείο ozwcache

Το αρχείο `ozwcache_0xcd139af1.xml` δημιουργείται από το node `node-red-contrib-openzwave` και περιέχει όλα τα στοιχεία του δικτύου zwave.

Παραθέτουμε σημαντικά του κώδικα που περιγράφουν τις λειτουργίες των κόμβων

Για τον κόμβο με **id = 2 (ενεργοποιητής δύο εξόδων)**

```
<CommandClass id="37" name="COMMAND_CLASS_SWITCH_BINARY"
version="1" request_flags="5" innif="true">
  <Instance index="1" />
  <Instance index="2" endpoint="1" />
  <Instance index="3" endpoint="2" />
  <Value type="bool" genre="user" instance="1" index="0"
label="Switch" units="" read_only="false" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="0" value="False" />
  <Value type="bool" genre="user" instance="2" index="0"
label="Switch" units="" read_only="false" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="0" value="False" />
  <Value type="bool" genre="user" instance="3" index="0"
label="Switch" units="" read_only="false" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="0" value="False" />
</CommandClass>
```

Από το ανωτέρω τμήμα του κώδικα λαμβάνουμε την πληροφορία ότι ο κόμβος με `id=2 (nodeid=2)` είναι τύπου `switch binary`.

Οι εντολές χειρισμού του ενεργοποιητή αναφέρονται στο `CommandClass id = "37"` (`cmdclass=37`), το `instance = "1"` (`instance=1`) αναφέρεται στην 1^η έξοδο του ενεργοποιητή, ενώ το

instance = "3" αναφέρεται στην 2^η έξοδο του ενεργοποιητή. Και στις δύο περιπτώσεις το index="0" (index=0).

Το είδος των δεδομένων είναι τύπου bool, οπότε σαν αποτέλεσμα οι εντολές ενεργοποίησης είναι switchOn και απενεργοποίησης switchOff.

Στον ίδιο κόμβο, παρακάτω στον κώδικα του ozwcache

```
<CommandClass id="50" name="COMMAND_CLASS_METER" version="3" request_flags="3"
innif="true">
    <Instance index="1" />
    <Instance index="2" endpoint="1" />
    <Instance index="3" endpoint="2" />
    <Value type="decimal" genre="user" instance="1" index="0"
label="Energy" units="kWh" read_only="true" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="0" value="0.39" />
    <Value type="decimal" genre="user" instance="1" index="8"
label="Power" units="W" read_only="true" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="0" value="0.0" />

    <Value type="decimal" genre="user" instance="3" index="0"
label="Energy" units="kWh" read_only="true" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="0" value="0.15" />
    <Value type="decimal" genre="user" instance="3" index="8"
label="Power" units="W" read_only="true" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="0" value="0.0" />
</CommandClass>
```

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε τα εξής:

Η καταχώρηση των μετρήσεων γίνεται στο CommandClass id ="50" και η μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας (κατανάλωση Kw/h) με το index= "0" (index=0) για κάθε instance (έξοδο του ενεργοποιητή) , ενώ η ένδειξη της κατανάλωσης ισχύος (κατανάλωση W) με το index="8"(index=8) για κάθε instance.

Για τον κόμβο με **id = 3 (αισθητήρας θερμοκρασίας, φωτεινότητας και κίνησης)**

```
<CommandClass id="49" name="COMMAND_CLASS_SENSOR_MULTILEVEL" version="8"
innif="true">
    <Instance index="1" />
    <Value type="decimal" genre="user" instance="1" index="1"
label="Temperature" units="C" read_only="true" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="0" value="28.5" />
    <Value type="decimal" genre="user" instance="1" index="3"
label="Luminance" units="lux" read_only="true" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="0" value="30" />
    <Value type="decimal" genre="user" instance="1" index="25"
label="Seismic Intensity" units="" read_only="true" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="0" value="0.0" />
</CommandClass>
```

Από τα παραπάνω συμπεραίνω συμπεραίνουμε τα εξής:

Με το CommandClass id="49" (cmdclass=49) λαμβάνουμε μετρήσεις μεγεθών του αισθητήρα, με το index="1" (index=1) και instance="1" (instance=1) λαμβάνουμε μετρήσεις θερμοκρασίας, ενώ με το index="3" (index=3) και instance="1" (instance=1) λαμβάνουμε μετρήσεις φωτεινότητας.

```
<CommandClass id="113" name="COMMAND_CLASS_ALARM" version="5" request_flags="2"
innif="true">
    <Instance index="1" />
    <Value type="byte" genre="user" instance="1" index="0"
label="Alarm Type" units="" read_only="true" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="255" value="0" />
    <Value type="byte" genre="user" instance="1" index="1"
label="Alarm Level" units="" read_only="true" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="255" value="0" />
    <Value type="byte" genre="user" instance="1" index="2"
label="SourceNodeId" units="" read_only="true" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="255" value="0" />
    <Value type="byte" genre="user" instance="1" index="10"
label="Burglar" units="" read_only="true" write_only="false" verify_changes="false"
poll_intensity="0" min="0" max="255" value="254" />
</CommandClass>
```

Με το CommandClass id="113" (cmdclass=113) και το index="10" (index=10) λαμβάνουμε μετρήσεις από τον ανιχνευτή κίνησης.

5.5.5 Η διαχείριση του Z-Wave στο Node RED

Στην εφαρμογή του Node-RED εγκαθιστούμε την βιβλιοθήκη openzwave-shared και το module node-red-contrib-openzwave. Εισάγοντας το node zwave-in παίρνουμε το εξής payload:

```
{"nodeid":2,"cmdclass":50,"cmdidx":32,"instance":3,"currState":false,"label":"Exporting","units":"","value":{"value_id":"2-50-3-32","node_id":2,"class_id":50,"type":"bool","genre":"user","instance":3,"index":32,"label":"Exporting","units":"","help":"","read_only":true,"write_only":false,"min":0,"max":0,"is_polled":false,"value":false},"uuid":"b8undefined27undefinedebundefined02undefineda4undefined9b-0xcd139af1-2"}
```

Μέσω του node function «φιλτράρουμε» τα δεδομένα και επιλέγουμε το nodeid (ταυτότητα κόμβου), cmdclass (ομάδα εντολών), cmdidx (υποομάδα εντολής), instance(έξοδος), currState(τρέχουσα κατάσταση), Label(αναγνωριστικό) και Units(μονάδες μέτρησης).(Λεπτομέρειες στην ανωτέρω υποενοότητα για το αρχείο ozwcache.xml)

Διαχωρίζουμε δύο subflows , ένα για το node 2 που είναι ο ενεργοποιητής (εντολές on/off) δύο εξόδων και ένα για το node 3 που είναι ο αισθητήρας φωτεινότητας, θερμοκρασίας και κίνησης.

Στο node 2 διαχωρίζουμε την 1^η έξοδο από την 2^η έξοδο του ενεργοποιητή μέσω του node function ως εξής:

```
var newmsg43 = {payload: {"nodeid": msg.payload.nodeid, "cmdclass": msg.payload.cmdclass,
"instance": msg.payload.instance, "currState": msg.payload.currState, "units": msg.payload.units,
"index": msg.payload.cmdidx, "label": msg.payload.label}};
if (msg.payload.instance ===1 && msg.payload.nodeid ===2){
return newmsg43;
```

```
}  
Και επιτηρούμε τα ακόλουθα μεγέθη:
```

- **Την κατάσταση της εξόδου του ενεργοποιητή**

```
var newmsg21  
  if (msg.payload.label === 'Switch') {  
    newmsg21 = {payload: {"currState":msg.payload.currState, "nodeid":msg.payload.nodeid,  
"label":msg.payload.label}};  
  }  
  return newmsg21;
```

Η κατάσταση της εξόδου του ενεργοποιητή αποστέλλεται στην βάση δεδομένων xiaomi_data στο raspberry pi influxdb στο measurement zwave-actuator-level-output-1.

Στο user interface του node-RED η κατάσταση της εξόδου του ενεργοποιητή εμφανίζεται ως ενδεικτικό LED (το οποίο στην κατάσταση ηρεμίας είναι πράσινο, ενώ στην κατάσταση ενεργοποίησης είναι κόκκινο)

- **Την κατανάλωση ενέργειας του ενεργοποιητή**

```
var newmsg22  
  if (msg.payload.label === "Energy") {  
    newmsg22 = {payload: {"currState":msg.payload.currState, "nodeid":msg.payload.nodeid,  
"label":msg.payload.label, "units":msg.payload.units}};  
  }  
  return newmsg22;
```

Και καθώς το αποτέλεσμα που λαμβάνουμε είναι σε μορφή string, το μετατρέπουμε σε floating number :

```
var newmsg2 = {payload: {"nodeid":  
msg.payload.nodeid,"currState":parseFloat(msg.payload.currState),"units":msg.payload.units,  
"label":msg.payload.label}};  
return newmsg2;
```

Η τιμή της κατανάλωσης ενέργειας της εξόδου του ενεργοποιητή αποστέλλεται στην βάση δεδομένων xiaomi_data στο raspberry pi influxdb στο measurement zwave-actuator-energy-output-1-f

Στο user interface του Node-RED εμφανίζουμε την τιμή της κατανάλωσης σε κατάλληλα gauge και το γράφημα της κατανάλωσης σε αντίστοιχο chart.

- **Την κατανάλωση ισχύος του ενεργοποιητή**

```
var newmsg24  
  if (msg.payload.label === "Power") {  
    newmsg24 = {payload: {"currState":msg.payload.currState, "nodeid":msg.payload.nodeid,  
"label":msg.payload.label, "units":msg.payload.units}};  
  }  
  return newmsg24;
```

Ομοίως πάλι μετατρέπουμε την τιμή της μέτρησης από string σε floating number :

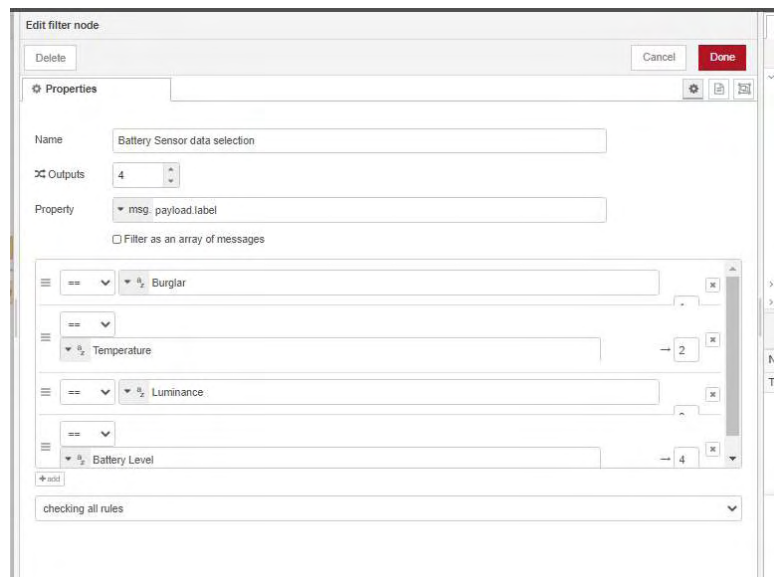
```
var newmsg2 = {payload: {"nodeid":  
msg.payload.nodeid,"currState":parseFloat(msg.payload.currState),"units":msg.payload.units,  
"label":msg.payload.label}};  
return newmsg2;
```

Η τιμή της κατανάλωσης ενέργειας της εξόδου του ενεργοποιητή αποστέλλεται στην βάση δεδομένων xiaomi_data στο raspberry pi influxdb στο measurement zwave-actuator-power-output-1-f

Στο user interface του Node-RED εμφανίζουμε την τιμή της κατανάλωσης σε κατάλληλα gauge και το γράφημα της κατανάλωσης σε αντίστοιχο chart.

Ομοίως λειτουργούμε για την έξοδο 2 του ενεργοποιητή.

Στο node 3 του δικτύου Z-Wave διαχωρίζουμε τα δεδομένα ανάλογα με το Label , δηλαδή “Burglar”, “Luminance”, “Temperature” και “Battery Level” χρησιμοποιώντας το filter node, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.:



ΕΙΚΟΝΑ 36:ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ LABEL ΣΤΟ NODE 3 ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ Z-WAVE

Τα δεδομένα αποστέλλονται στη βάση δεδομένων xiaomi_data, σε αντίστοιχα measurements ως εξής:

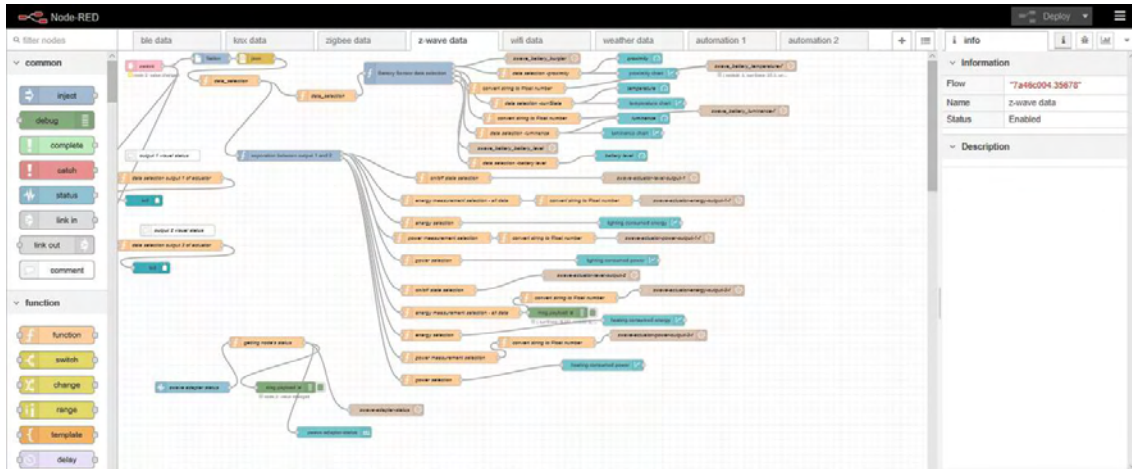
- Τα δεδομένα “Burglar” (ανίχνευσης κίνησης) αποστέλλονται στο measurement zwave_battery_burglar
- Τα δεδομένα “Temperature” (θερμοκρασίας) αποστέλλονται στο measurement zwave-battery-temperature-f, αφού έχουν πρώτα μετατραπεί από string σε floating number.
- Τα δεδομένα “Luminance” (φωτεινότητας) αποστέλλονται στο measurement zwave_battery_luminance-f, αφού έχουν πρώτα μετατραπεί από string σε floating number.

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-To OpenWeatherMap API

- Τα δεδομένα "Battery Level" (στάθμης μπαταρίας) αποστέλλονται στο measurement zwave_battery_battery_level, αφού έχουν πρώτα μετατραπεί από string σε floating number.

Οι μετρήσεις των μεγεθών εμφανίζονται στο user interface μέσω των αντίστοιχων gauges και διαγραμμάτων μεταβολής τύπου chart.

Μέσω status node επιτηρούμε την κατάσταση σύνδεσης του Z-Wave και αποστέλλουμε τα δεδομένα στη βάση δεδομένων xiaomi και στο measurement zwave-adapter-status. Η ένδειξη της κατάστασης της σύνδεσης του mqtt αποστέλλεται μέσω κόμβου ui_text στο user interface του Node-RED.



ΕΙΚΟΝΑ 37: ΚΑΡΤΕΛΛΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Z-WAVE ΣΤΟ NODE-RED

5.6 Το OpenWeatherMap API

Τα εξωτερικά κλιματολογικά δεδομένα, συνεισφέρουν σε μεγάλο ποσοστό στην ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου [41]. Έπειτα από μελέτες που έχουν γίνει σε κτίριο κοινωνικής στέγασης στην Τριεστή, όπου εφαρμόστηκε αλγόριθμος για τη βελτίωση της χρήσης, ενέργειας, παρατηρούμε ότι προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα, ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες που συνοπολογίζονται.

Για αυτό το σκοπό αποφασίσαμε την πειραματική μας εφαρμογή να συλλέξουμε κλιματολογικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε οι ανάγκες του κτιρίου να συνοπολογιστούν σε σχέση με τις εσωτερικές και εξωτερικές συνθήκες με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Το OpenWeatherMap API επιτρέπει την πρόσβαση σε μετεωρολογικές πληροφορίες σε οποιοδήποτε σημείο της γης, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες, την ονομασία της πόλης ή τον ταχυδρομικό κωδικό.

Λειτουργεί με κλήσεις RESTful ως εξής:

```
api.openweathermap.org/data/2.5/weather?id={city id}&appid={your api key}
```

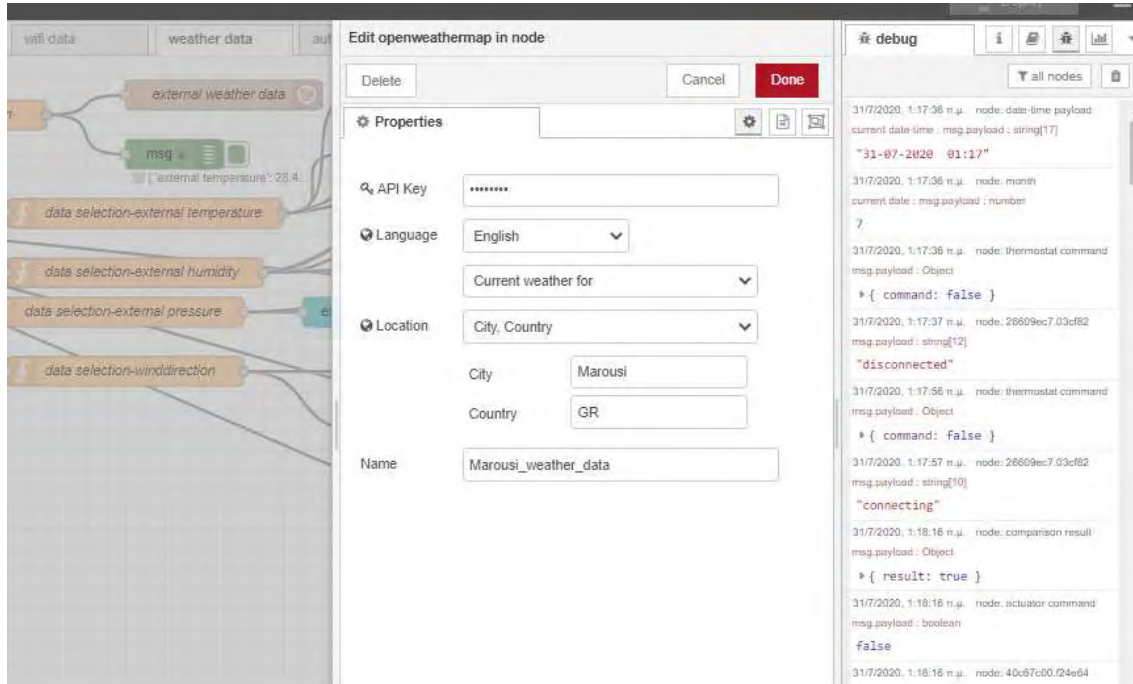
Στη δική μας εφαρμογή το city id είναι το 8133770 (και αναφέρεται σε Marousi, GR) και το api key που έχουμε λάβει κατά την εγγραφή μας στο API είναι το 93a70f0482438f8e4e90a134f8eef61d.

5.6.1 Η διαχείριση του OpenWeatherMap στο Node-RED

Στην καρτέλα του Node-RED εγκαθιστούμε το module node-red-node-openweathermap και εισάγουμε τον κόμβο openweathermap in. Στην καρτέλα των ιδιοτήτων του κόμβου εισάγουμε το API

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Το OpenWeatherMap API

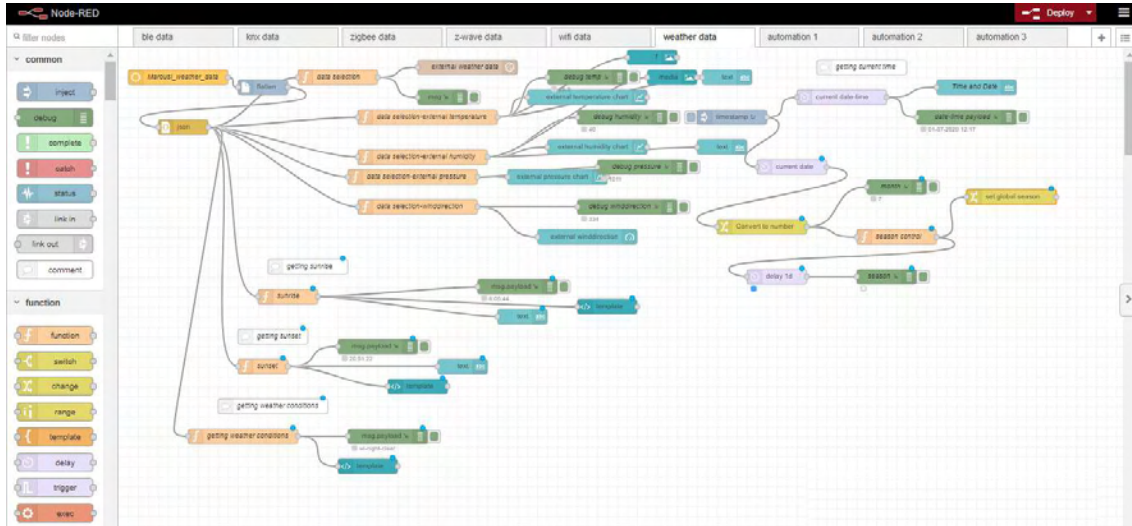
key που έχουμε λάβει κατά την εγγραφή μας στην υπηρεσία (93a70f0482438f8e4e90a134f8eef61d), την επιθυμητή γλώσσα του κόμβου, το είδος των δεδομένων που θέλουμε να λάβουμε (τρέχουσες καιρικές συνθήκες ή πρόβλεψη καιρικών συνθηκών για πέντε ημέρες), τον ορισμό της τοποθεσίας του χρήστη (είτε με γεωγραφικές συντεταγμένες, είτε με εισαγωγή πόλης και χώρας). Στην περίπτωση μας εισάγουμε την πόλη Maroussi, GR. Ολοκληρώνουμε τον ορισμό του κόμβου με την ονομασία, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



ΕΙΚΟΝΑ 38: Η ΚΑΡΤΕΛΑ ΡΥΘΙΣΗΣ ΤΟΥ OPENWEATHERMAP

Ο κόμβος του openweathermap in μας φέρνει json data για την προεπιλεγμένη τοποθεσία της μορφής

```
"id":800,"weather":"Clear","detail":"clear sky","icon":"01d","tempk":305.81,"tempc":32.6,"temp_maxc":33.8,"temp_minc":30.5,"humidity":38,"pressure":1010,"maxtemp":307.04,"mintemp":303.71,"windspeed":6.2,"winddirection":50,"location":"Maroussi","sunrise":1598327335,"sunset":1598375109,"clouds":0,"description":"The weather in Maroussi at coordinates: 38.05, 23.8 is Clear (clear sky)."
```



ΕΙΚΟΝΑ 39: Η ΚΑΡΤΕΛΛΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ OPENWEATHERMAP ΣΤΟ NODE-RED

Με τη βοήθεια του κόμβου function επιλέγουμε τα δεδομένα που θέλουμε να καταχωρήσουμε ως εξής:

```
var newmsg1 = {payload: {"external temperature":msg.payload.tempc, "external humidity":msg.payload.humidity, "external pressure":msg.payload.pressure, "external winddirection":msg.payload.winddirection}};
return newmsg1;
```

Τα δεδομένα αυτά οδηγούνται στη βάση δεδομένων xiaomi_data στο measurement external_weather_data.

Οι μετρήσεις external temperature, external pressure, external humidity, external winddirection οδηγούνται σε gauges και charts έτσι ώστε να εμφανίζονται στο user interface του Node-RED.

Επιπρόσθετα για τις ανάγκες του user interface στο Node-RED από τον κόμβο του openweathermap παίρνουμε τα δεδομένα της ώρας ανατολής του ηλίου, της δύσης του ηλίου και των καιρικών συνθηκών:

Για το Sunrise

```
function timeConverter(UNIX_timestamp){
var a = new Date(UNIX_timestamp * 1000);
var hour = a.getHours();
var min = a.getMinutes();
if (min < 10) {min = "0" + min;}
else {min = min;}
var sec = a.getSeconds();
if (sec < 10) {sec = "0" + sec;}
else {sec = sec;}

var time = hour + ':' + min + ':' + sec ;
return time;
}var sunRise = {};
```

```
sunRise.topic = "SunRise";
sunRise.payload = timeConverter(msg.payload.sunrise);
return sunRise;
```

Για το Sunset

```
var sunSet = {};
/* Function for Time Conversions */

function timeConverter(UNIX_timestamp){
  var a = new Date(UNIX_timestamp * 1000);
  var hour = a.getHours();
  var min = a.getMinutes();
  if (min < 10) {min = "0" + min;}
  else {min = min;}
  var sec = a.getSeconds();
  if (sec < 10) {sec = "0" + sec;}
  else {sec = sec;}

  var time = hour + ':' + min + ':' + sec ;
  return time;
}
sunSet.topic = "SunSet";
sunSet.payload = timeConverter(msg.payload.sunset);

return sunSet;
```

Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιούμε το function timeConverter() για να μετατρέψουμε το UNIX timestamp σε πραγματικό χρόνο.

Για το WeatherConditions

```
var conditionIcon = {};
const owlconMap = new Map();
owlconMap.set('01d', 'wi-day-sunny'); // clear sky
owlconMap.set('02d', 'wi-day-cloudy'); // few clouds
owlconMap.set('03d', 'wi-cloud'); // scattered clouds
owlconMap.set('04d', 'wi-cloudy'); // broken clouds
owlconMap.set('09d', 'wi-day-showers'); // shower rain
owlconMap.set('10d', 'wi-day-rain'); // rain
owlconMap.set('11d', 'wi-thunderstorm'); // thunderstorm
owlconMap.set('13d', 'wi-snow'); // snow
owlconMap.set('50d', 'wi-fog'); // mist
owlconMap.set('01n', 'wi-night-clear'); // clear sky
owlconMap.set('02n', 'wi-night-alt-cloudy'); // few clouds
owlconMap.set('03n', 'wi-cloud'); // scattered clouds
owlconMap.set('04n', 'wi-cloudy'); // broken clouds
owlconMap.set('09n', 'wi-night-alt-showers'); // shower rain
owlconMap.set('10n', 'wi-night-alt-rain'); // rain
owlconMap.set('11n', 'wi-thunderstorm'); // thunderstorm
owlconMap.set('13n', 'wi-snow'); // snow
```


Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Παραδείγματα αυτοματισμού με integration διαφορετικών πρωτοκόλλων

```
owlconMap.set('50n', 'wi-fog'); // mist
conditionIcon.topic = "ConditionIcon";
conditionIcon.payload = owlconMap.get(msg.payload.icon);
return conditionIcon;
```

Όπου ορίζουμε το εικονίδιο που εμφανίζεται στο user interface ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες.

Με τον κόμβο moment λαμβάνουμε τρέχουσα ημερομηνία και ώρα, έχοντας ορίσει σαν output format το DD-MM-YYYY hh:mm .

5.7 Παραδείγματα αυτοματισμού με integration διαφορετικών πρωτοκόλλων

Έχοντας λάβει δεδομένα από τα αισθητήρια και τους ενεργοποιητές της εργαστηριακής μας εφαρμογής, έχει έρθει η ώρα για την σύνθεση διαφορετικών παραδειγμάτων αυτοματισμού που αντιμετωπίζουμε σε μια κτιριακή εγκατάσταση, κατόπιν αξιολόγησής των στοιχείων, των αναγκών της εγκατάστασης και των εξωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών.

5.7.1 Λειτουργία μπουτόν ενεργοποίησης φωτισμού

Το πρώτο παράδειγμα που εκτελούμε είναι το integration συσκευών διαφορετικών πρωτοκόλλων, ανάλογα με το δεδομένα που λαμβάνονται.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση πιέζοντας το πάνω αριστερά σημείο στο μπουτόν KNX αποστέλλουμε μία εντολή, της οποίας τα δεδομένα τα επεξεργαζόμαστε έτσι ώστε να ενεργοποιήσουμε λαμπτήρα στην 1^η έξοδο του ενεργοποιητή Z-Wave.

Η επιλογή της εντολής του φωτισμού από το μπουτόν KNX RF (όπου οι επιλογές του dstgad (ανάμεσα από τις 1/0/1, 1/0/2, 1/0/3 και 1/0/4) γίνεται με τον κόμβο function ως εξής:

```
var newMsg1
  if (msg.payload.dstgad == "1/0/1") {
    newMsg1 = {payload: msg.payload.value};
  }
return newMsg1;
```

Η ενεργοποίηση της 1^{ης} εξόδου του ενεργοποιητή γίνεται μέσω του κόμβου function ως εξής:

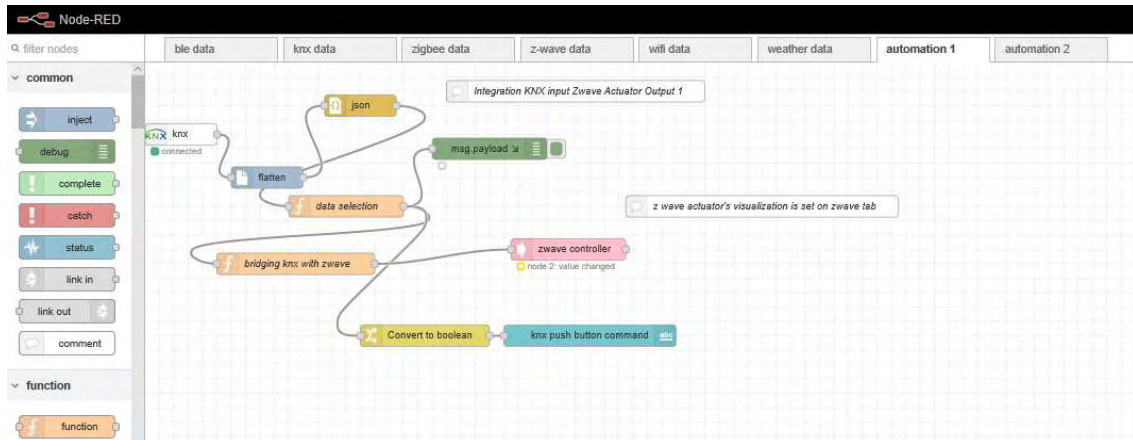
```
var newmsg1
  if (msg.payload == 0) {
    newmsg1 = {topic: 'switchOff', payload: {"nodeid":2, "cmdclass":37, "instance":1, "index":0}};
  } else {
    newmsg1 = {topic: 'switchOn', payload: {"nodeid":2, "cmdclass":37, "instance":1, "index":0}};
  }
return newmsg1;
```

Η κατάσταση της εξόδου αποστέλλεται σε global value store με την ονομασία global.lightingvalue

(τα global value stores αποθηκεύονται στο path: /home/pi/.node-red/context/ στο αρχείο global.json)

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Παραδείγματα αυτοματισμού με integration διαφορετικών πρωτοκόλλων

Η ένδειξη της κατάστασης της εντολής εμφανίζεται μέσω του κόμβου ui_text.



ΕΙΚΟΝΑ 40: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ INTEGRATION ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ KNX ΜΕ Z-WAVE ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΕΙΡΙΣΜΟ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

5.7.2 Προγραμματισμός λειτουργίας θερμοστάτη σε high level

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, πιέζοντας το πάνω δεξιά σημείο στο μπουτόν KNX αποστέλλουμε μία εντολή, της οποίας τα δεδομένα τα επεξεργαζόμαστε έτσι ώστε να ενεργοποιήσουμε θερμαντική αντίσταση στην 2η έξοδο του ενεργοποιητή ZWave, λαμβάνοντας υπόψη την θερμοκρασία χώρου και την επιθυμητή θερμοκρασία που εισάγει ο χρήστης.

Ένας τυπικός θερμοστάτης αποτελείται από ένα κουμπί ενεργοποίησης/ απενεργοποίησης (το σημείο πάνω δεξιά στο μπουτόν KNX RF), ένα εσωτερικό αισθητήρα για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χώρου και έναν επιλογέα (ψηφιακό ή αναλογικό) της επιθυμητής θερμοκρασίας.

Ξεκινάμε εισάγοντας τον κόμβο mqtt in, από όπου λαμβάνουμε τα δεδομένα του zigbee temperature and humidity sensor

Με τον κόμβο function απομονώνουμε την τιμή της **θερμοκρασίας χώρου**

```
var newmsg1 = {payload:{"temperature" :msg.payload.temperature}};  
return newmsg1;
```

Και οδηγούμε την μετρούμενη τιμή σε global value store με το όνομα global.tempdata

Καθώς επιθυμούμε να δώσουμε τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει τη δική του **επιθυμητή τιμή** για τη λειτουργία του θερμοστάτη, εισάγουμε κόμβο ui_text_input και με τη βοήθεια του κόμβου function δημιουργούμε payload:

```
var newmsg1 = {payload:{"temperature" :msg.payload.temperature}};  
return newmsg1;
```

Και αποθηκεύουμε την επιθυμητή τιμή σε global value store με την ονομασία global.regtempdata

Το κουμπί ενεργοποίησης/απενεργοποίησης του θερμοστάτη (από το σημείο πάνω δεξιά του μπουτόν KNX RF) αποστέλλει δεδομένα σε κόμβο function για τον διαχωρισμό της επιθυμητής εντολής (1/0/3):

```
var newMsg1
```

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Παραδείγματα αυτοματισμού με integration διαφορετικών πρωτοκόλλων

```
    if (msg.payload.dstgad == "1/0/3") {
        newMsg1 = {payload: msg.payload.value};
    }
return newMsg1;
```

Και το συγκεκριμένο subflow λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο όπως στο προηγούμενο παράδειγμα ενεργοποίησης φωτισμού.

Μόνο που σε αυτή την εφαρμογή, η κατάσταση της εντολής οδηγείται σε global value store με το όνομα global.thermcom

Το τελευταίο βήμα είναι η σύγκριση της **επιθυμητής τιμής** της θερμοκρασίας με την **θερμοκρασία χώρου**, και εφόσον η επιθυμητή τιμή είναι μεγαλύτερη και εφόσον το κουμπί του θερμοστάτη είναι ενεργοποιημένο, να ενεργοποιείται η έξοδος της θερμαντικής αντίστασης.

Η σύγκριση αυτή πραγματοποιείται ανά 45 δευτερόλεπτα μέσω του inject node και η σύγκριση ορίζεται στο function node ως εξής:

```
var newmsg31
var tempstore = global.get("tempdata");
var reqtempstore = global.get("regtempdata");
    if (reqtempstore < tempstore) {
        newmsg31 = {payload: {"result":false}};
    } else {
        newmsg31 = {payload: {"result":true}};
    }
return newmsg31;
```

Ο έλεγχος για το αν πρέπει να ανοίξει ο θερμοστάτης και ενεργοποιηθεί η έξοδος της θερμαντικής αντίστασης γίνεται με το function node:

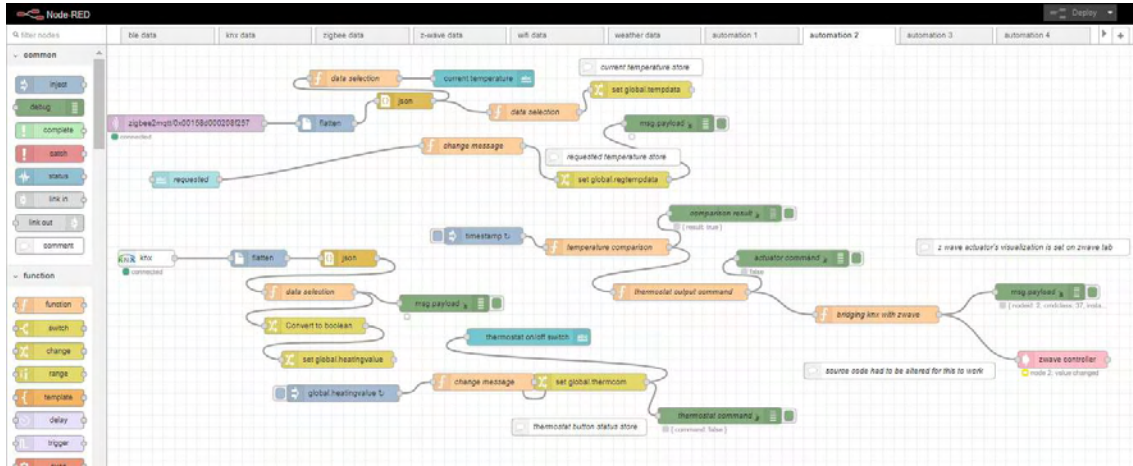
```
var newmsg33
var thermbutton = global.get("thermcom")
    if (thermbutton == true ) {
        if (msg.payload.result == true) {
            newmsg33 = {payload: true};
        } else {
            newmsg33 = {payload: false};
        }
    } else {
        newmsg33 = {payload: false};
    }
return newmsg33;
```

Το τελικό αποτέλεσμα των συγκρίσεων και των ελέγχων για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση της εξόδου της θερμαντικής αντίστασης γίνεται:

```
var newmsg1
    if (msg.payload === false) {
        newmsg1 = {topic: 'switchOff', payload: {"nodeid":2, "cmdclass":37, "instance":3, "index":0}};
    } else {
        newmsg1 = {topic: 'switchOn', payload: {"nodeid":2, "cmdclass":37, "instance":3, "index":0}};
```

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Παραδείγματα αυτοματισμού με integration διαφορετικών πρωτοκόλλων

```
}  
return newmsg1;
```



ΕΙΚΟΝΑ 41: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ INTEGRATION ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ KNX, ΜΕ ZIGBEE ΚΑΙ Z-WAVE

5.7.3 Direct Control Load φωτισμού και θέρμανσης έπειτα από απουσία του χρήστη

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ελέγχουμε την παρουσία του χρήστη στο χώρο, ανάλογα με το αν υπάρχουν δεδομένα από τη φορητή συσκευή MI Band 2, και σε περίπτωση που δεν ανιχνεύεται η συσκευή BLE του χρήστη στο χώρο, απενεργοποιούνται οι δύο έξοδοι του ενεργοποιητή Z-Wave, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας.

Η influxdb και το user interface του chronograf επιτρέπουν την επεξεργασία των δεδομένων με κατάλληλα queries και alerts.

Καθώς ο κόμβος influxdb in μας επιτρέπει να λάβουμε μόνο queries από τη βάση δεδομένων, επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε τον mqtt handler.

Εγκαθιστούμε τον mosquito mqtt server και επεξεργαζόμαστε τις ρυθμίσεις του kapacitor, για να ενεργοποιήσουμε τον mqtt handler

Με την εντολή `sudo nano /etc/kapacitor/kapacitor.conf` επεξεργαζόμαστε το αρχείο ρυθμίσεων του kapacitor και κάνουμε uncoment τα εξής:

```
πi@influxdb2: ~  
Αρχείο Επεξεργασία Καρτέλες Βοήθεια  
GNU nano 3.2 /etc/kapacitor/kapacitor.conf  
# Multiple different clients may be configured by  
# repeating [[mqtt]] sections.  
[[mqtt]]  
  enabled = true  
  # Unique name for this broker configuration  
  name = "localhost"  
  # Whether this broker configuration is the default  
  default = true  
  # URL of the MQTT broker.  
  # Possible protocols include:  
  # tcp - Raw TCP network connection  
  # ssl - TLS protected TCP network connection  
  # ws - WebSocket network connection  
  url = "tcp://localhost:1883"
```

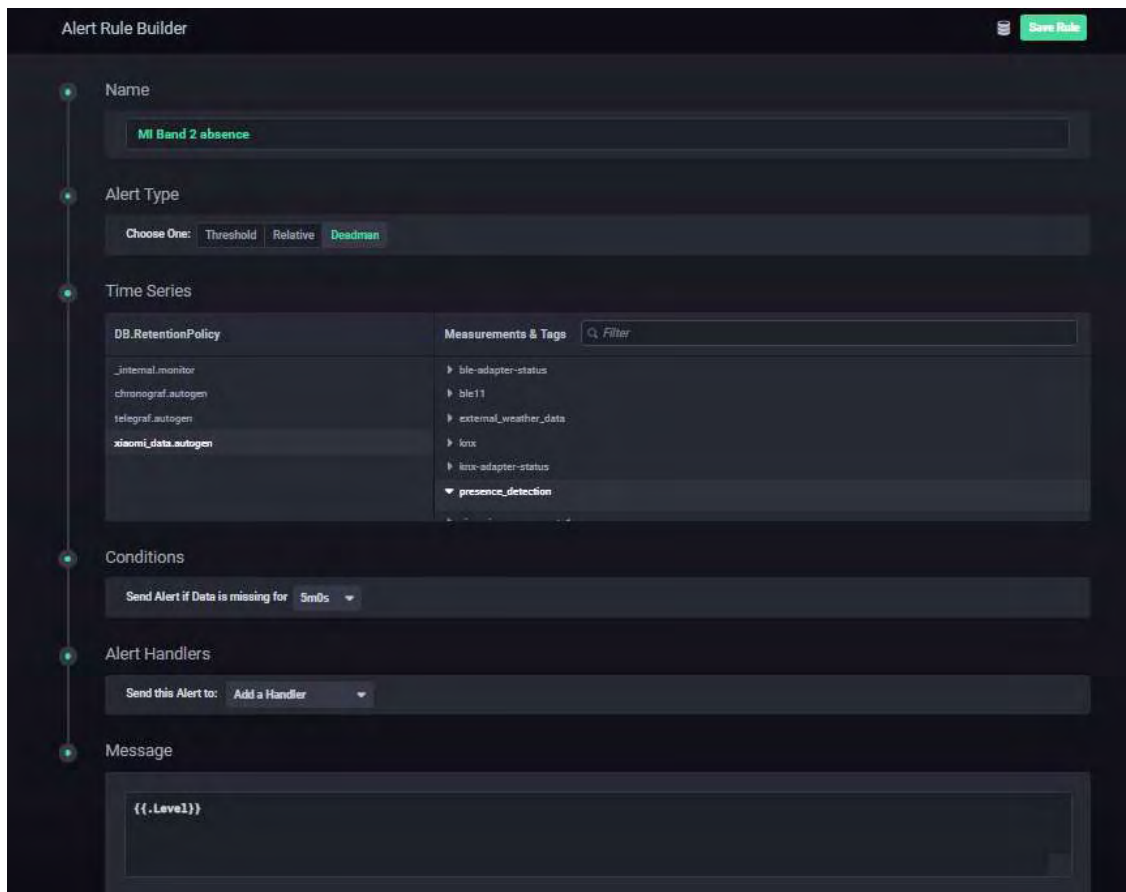
ΕΙΚΟΝΑ 42:ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ KAPACITOR.CONF

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Παραδείγματα αυτοματισμού με integration διαφορετικών πρωτοκόλλων

Στην επιλογή του chronograf δημιουργούμε deadman alert έτσι ώστε να αξιολογηθεί αν λαμβάνονται δεδομένα από τη φορητή συσκευή MI Band 2.

Όπως αναφέραμε στην ενότητα των δεδομένων BLE τα δεδομένα της φορητής αυτής συσκευής αποθηκεύονται σε ξεχωριστό measurement, το presence_detection.

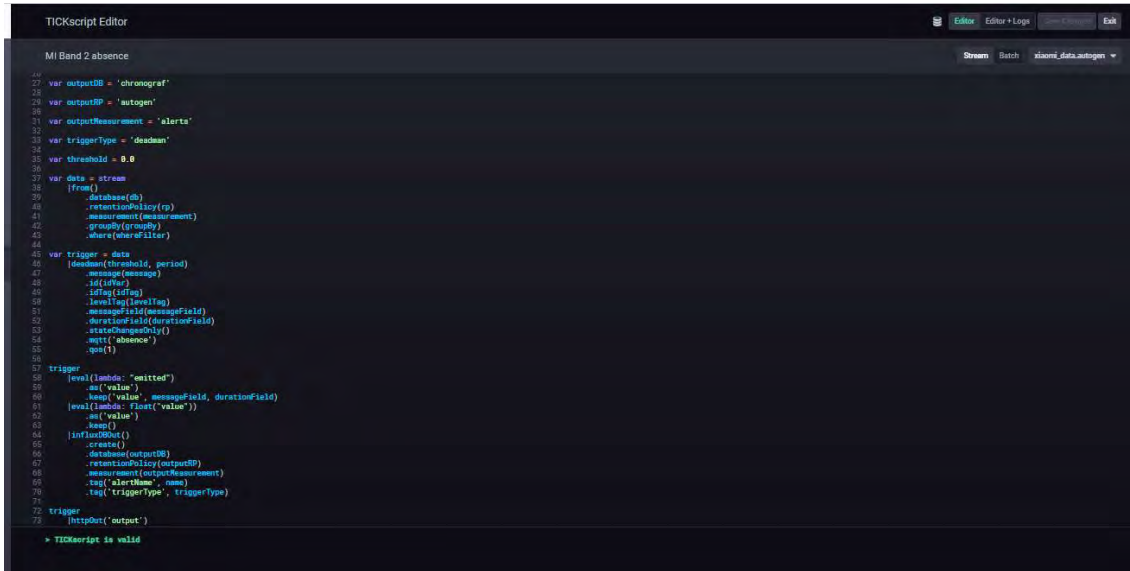
Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, το deadman alert του chronograf ελέγχει το measurement presence_detection αν περιέχει δεδομένα, και αν αυτά εκλείπουν για παραπάνω από 5 λεπτά, τότε αποστέλλεται μήνυμα `{{.Level}}`, το οποίο είναι η κατάσταση του alert. Αυτό μπορεί να είναι είτε OK (όταν τα δεδομένα αποστέλλονται κανονικά στο measurement) είτε CRITICAL (όταν ικανοποιείται η συνθήκη ότι τα δεδομένα απουσιάζουν για παραπάνω από 5 λεπτά).



ΕΙΚΟΝΑ 43: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ DEADMAN ALERT ΜΕ ΜΗΝΥΜΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΘΗΚΗΣ (CRITICAL Η OK)

Για να επιτευχθεί η αποστολή των alerts στον mqtt server localhost:1883 πρέπει να μετατραπεί το TICK SCRIPT, και να οριστεί το mqtt topic, το οποίο στην περίπτωσή μας είναι το absence και το qos είναι 1. Πρέπει να δοθεί προσοχή στο γεγονός ότι δεδομένα αποστέλλονται μόνο κατά την αλλαγή της τιμής του alert, το οποίο ορίζεται από την επιλογή stateChangesOnly().

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Παραδείγματα αυτοματισμού με integration διαφορετικών πρωτοκόλλων



```
TICKscript Editor
MI Band 2 absence
27 var outputDB = 'chronograf'
28 var outputRP = 'autogen'
29 var outputMeasurement = 'alerts'
30 var triggerType = 'deadman'
31 var threshold = 0.0
32 var data = stream
33 from()
34 .database(db)
35 .retainPolicy(rp)
36 .measurement(measurement)
37 .groupBy(groupby)
38 .windowFilter()
39 var trigger = data
40 .deadman(threshold, period)
41 .message(message)
42 .id(id)
43 .idTag(idTag)
44 .messageField(messageField)
45 .durationField(durationField)
46 .statusOnly(statusOnly)
47 .emit('absence')
48 .emit()
49 trigger
50 [eval(lambda: "emitted")
51   .as('value')
52   .map('value', messageField, durationField)
53   .eval(lambda: float("value"))
54   .as('value')
55   .map()
56   .ifInDBOut()
57   .create()
58   .database(outputDB)
59   .retainPolicy(outputRP)
60   .measurement(outputMeasurement)
61   .tag('alarm', 'name')
62   .tag('triggerType', triggerType)
63 ]
64 trigger
65 [httpOut('output')
66 ]
67 = TICKscript is valid
```

ΕΙΚΟΝΑ 44: ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ TICK SCRIPT ΕΤΣΙ ΩΣΤΕ ΤΟ ALERT ΝΑ ΑΠΟΣΤΕΛΛΕΤΑΙ ΣΕ MQTT SERVER

Στην καρτέλα του Node-RED εισάγουμε τον κόμβο mqtt in, όπου έχουμε ορίσει αυτή την φορά την IP του MQTT server (192.168.1.3) και τη θύρα 1883 και το presence σαν listening topic.

Τα δεδομένα που έρχονται από τον mqtt μετατρέπονται σαν κατάσταση "user present"/"user absent" με το function:

```
var msg95 = {payload: {"User_status": msg.payload.userstatus}};
if (msg.payload == "CRITICAL"){
  msg95 = {payload: "user absent"};
}else if (msg.payload == "OK"){
  msg95 = {payload: "user present"};
}
return msg95;
```

όπου και καταλήγει στο user interface του Node-RED μέσω ui_text.

Τα δεδομένα που έρχονται από τον mqtt μετατρέπονται σαν κατάσταση true/false με το function:

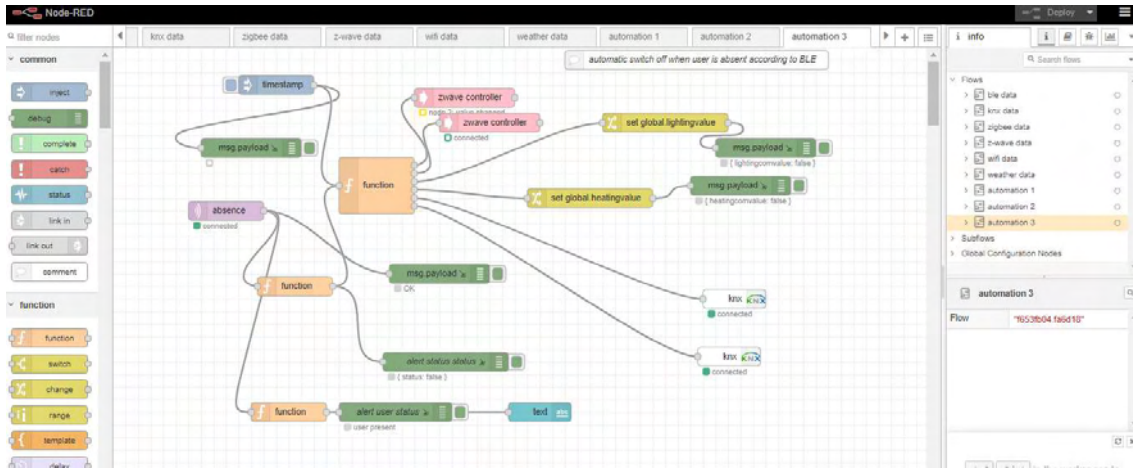
```
var msg95 = {payload: {"status": msg.payload.status}};
if (msg.payload == "CRITICAL"){
  msg95 = {payload: {"status": true}};
}else if (msg.payload == "OK"){
  msg95 = {payload: {"status": false}};
}
return msg95;
```

Το αποτέλεσμα αυτού του κόμβου οδηγείται σε νέο function το οποίο ελέγχει τις καταναλώσεις της θέρμανσης και του φωτισμού μέσω του function:

```
var newMsg81 = {topic: 'switchOff', payload: {"nodeid":2, "cmdclass":37, "instance":1, "index":0}};
var newMsg82 = {topic: 'switchOff', payload: {"nodeid":2, "cmdclass":37, "instance":3, "index":0}};
var newMsg83 = {payload: {"lightingcomvalue":false}};
var newMsg84 = {payload: {"heatingcomvalue":false}};
var newMsg85 = {topic: "write", payload: {"srcphy":"1.1.3","dstgad":"1/0/1","dpt":"1","value":"0"}};
```


Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Παραδείγματα αυτοματισμού με integration διαφορετικών πρωτοκόλλων

```
var newMsg86 = {topic: "write", payload: {"srcphy": "1.1.3", "dstgad": "1/0/3", "dpt": "1", "value": "0"}};  
return [newMsg81, newMsg82, newMsg83, newMsg84, newMsg85, newMsg86];
```



ΕΙΚΟΝΑ 45: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΑΠΟΥΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ BLE

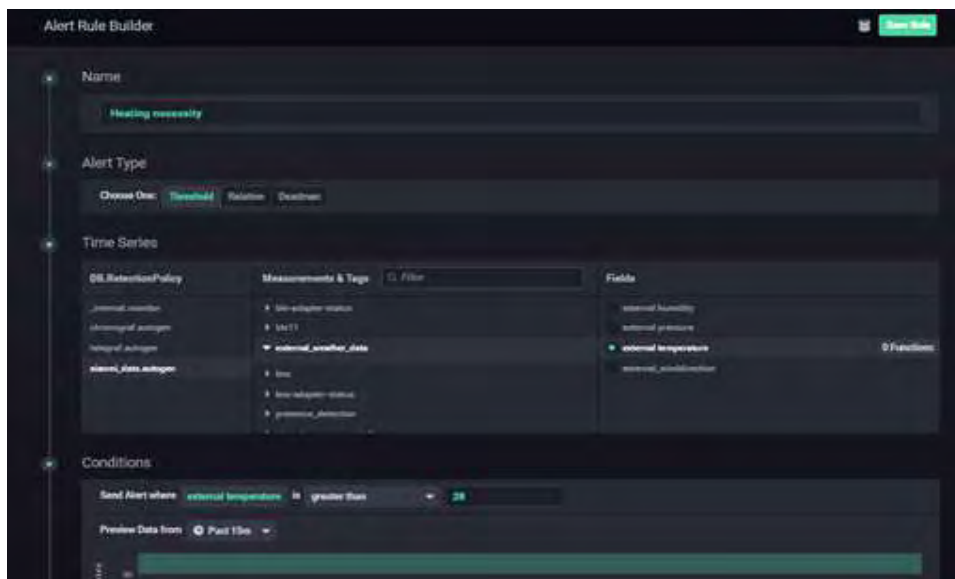
5.7.4 Direct Control Load θέρμανσης με έλεγχο εξωτερικής θερμοκρασίας

Σε αυτό το παράδειγμα ελέγχουμε την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος και ανάλογα με την τιμή της, επιτρέπουμε την λειτουργία ή μη της θερμαντικής αντίστασης.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, έχουμε δημιουργήσει στο Chronograf alert τύπου threshold, όπου ελέγχουμε στο measurement external_weather_data, την τιμή του key external temperature.

Όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι ανώτερη των 20°C για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από 20 λεπτά, θέλουμε να στέλνουμε alert να σβήνει η θέρμανση για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας.

Το μήνυμα που αποστέλλει αυτό το alert και σε αυτή την περίπτωση είναι η κατάσταση της συνθήκης, CRITICAL ή OK.

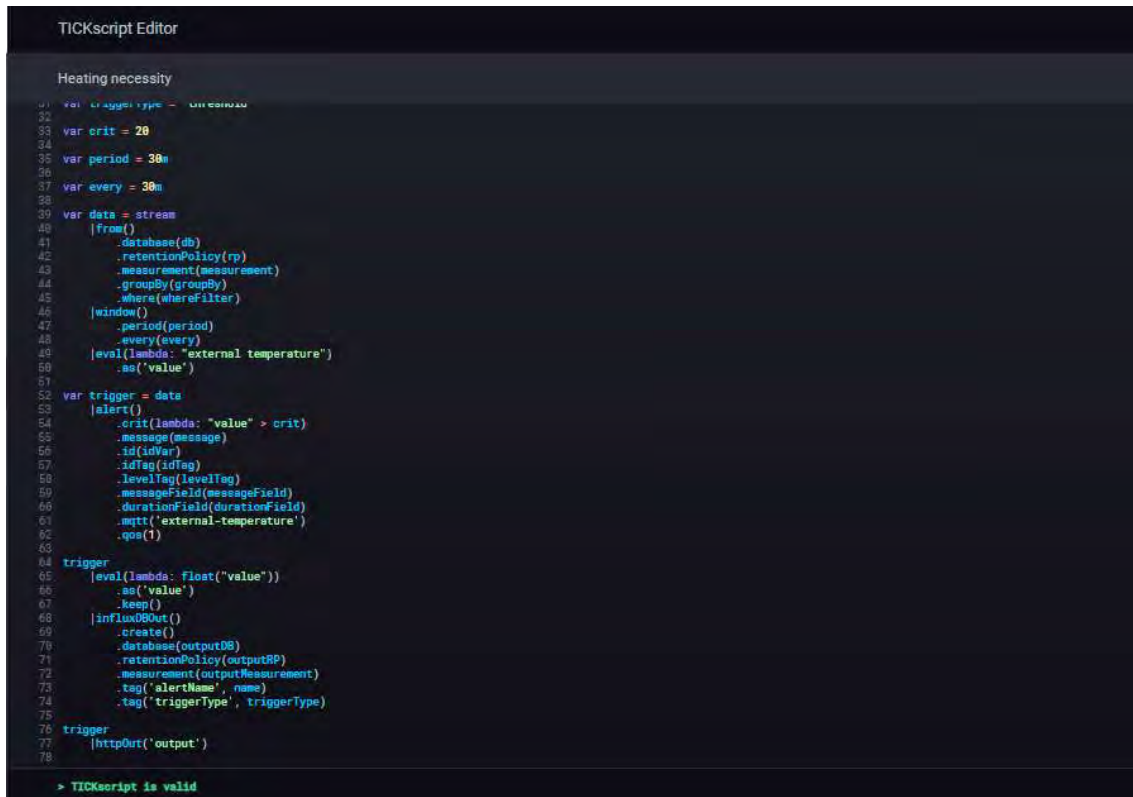


ΕΙΚΟΝΑ 46: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ THRESHOLD ALERT ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Παραδείγματα αυτοματισμού με integration διαφορετικών πρωτοκόλλων

Χρησιμοποιούμε τον MQTT server που εγκαταστήσαμε από το προηγούμενο παράδειγμα στο localhost:1883, μόνο που αυτή τη σειρά αλλάζουμε το topic και χρησιμοποιούμε το external-temperature.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, προσθέτουμε το TICK SCRIPT το MQTT topic και το qos.



```
TICKscript Editor

Heating necessity
1 | var triggerType = CRITICAL
2
3 | var crit = 20
4
5 | var period = 30m
6
7 | var every = 30m
8
9 | var data = stream
10 | from()
11 | .database(db)
12 | .retentionPolicy(rp)
13 | .measurement(measurement)
14 | .groupBy(groupBy)
15 | .where(whereFilter)
16 | window()
17 | .period(period)
18 | .every(every)
19 | eval(lambda: "external temperature")
20 | .as('value')
21
22 | var trigger = data
23 | alert()
24 | .crit(lambda: "value" > crit)
25 | .message(message)
26 | .id(idVar)
27 | .idTag(idTag)
28 | .levelTag(levelTag)
29 | .messageField(messageField)
30 | .durationField(durationField)
31 | .mqtt('external-temperature')
32 | .qos(1)
33
34 | trigger
35 | eval(lambda: Float("value"))
36 | .as('value')
37 | .keep()
38 | influxDBOut()
39 | .create()
40 | .database(outputDB)
41 | .retentionPolicy(outputRP)
42 | .measurement(outputMeasurement)
43 | .tag('alertName', name)
44 | .tag('triggerType', triggerType)
45
46 | trigger
47 | httpOut('output')
48
> TICKscript is valid
```

ΕΙΚΟΝΑ 47: ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ TICK SCRIPT ΕΤΣΙ ΩΣΤΕ ΤΟ ALERT ΝΑ ΠΗΓΑΙΝΕΙ ΣΕ MQTT SERVER

Στην καρτέλα του Node-RED εισάγουμε τον κόμβο mqtt in, όπου έχουμε ορίσει αυτή την φορά την IP του MQTT server (192.168.1.3) και τη θύρα 1883 και το external-temperature σαν listening topic.

Τα δεδομένα που έρχονται από τον mqtt μετατρέπονται σαν κατάσταση "heating needed"/"heating not needed" με το function:

```
var msg95 = {payload: {"heating": msg.payload.heating}};
if (msg.payload == " CRITICAL"){
  msg95 = {payload: "heating not needed"};
}else if (msg.payload == " OK"){
  msg95 = {payload: "heating needed"};
}
return msg95;
```

όπου και καταλήγει στο user interface του Node-RED μέσω ui_text.

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Παραδείγματα αυτοματισμού με integration διαφορετικών πρωτοκόλλων

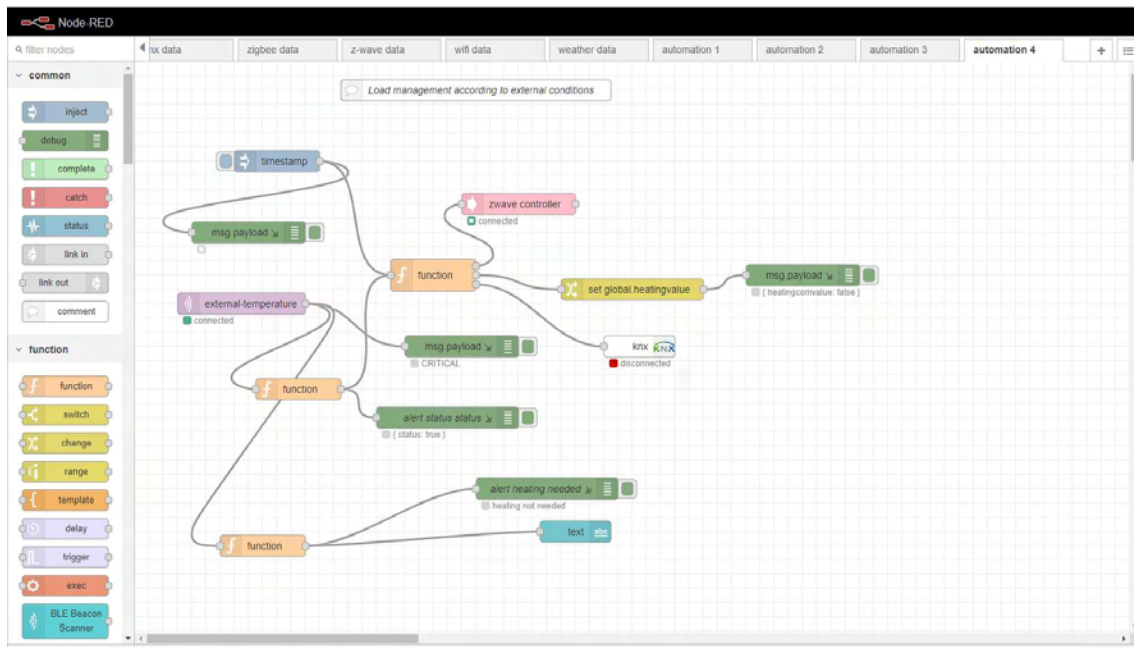
```
var msg115 = {payload: {"status": msg.payload.status}};

if (msg.payload == " CRITICAL"){
  msg115 = {payload: {"status": true}};
}else if (msg.payload == " OK"){
  msg115 = {payload: {"status": false}};
}
return msg115;
```

Τα δεδομένα που έρχονται από τον mqtt μετατρέπονται σαν κατάσταση true/false με το function:

Το αποτέλεσμα αυτού του κόμβου οδηγείται σε νέο function το οποίο ελέγχει την κατανάλωση της θέρμανσης μέσω του function:

```
var newMsg102 = {topic: 'switchOff', payload: {"nodeid":2, "cmdclass":37, "instance":3, "index":0}};
var newMsg104 = {payload: {"heatingcomvalue":false}};
var newMsg106 = {topic: "write", payload:{"srcphy":"1.1.3","dstgad":"1/0/3","dpt":"1","value":"0"}};
return [newMsg102, newMsg104, newMsg106];
```



ΕΙΚΟΝΑ 48: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Υλοποίηση Εφαρμογής Συστήματος IoT-Παραδείγματα αυτοματισμού με integration διαφορετικών πρωτοκόλλων

6 Επίδειξη εφαρμογής χρήστη

Στην παρούσα ενότητα περιγράφουμε την λύση που έχουμε δημιουργήσει, η οποία αποτελείται από τη διεπαφή χρήστη στο Node-RED η οποία λειτουργεί σαν Τεχνικό Σύστημα Διαχείρισης του κτιρίου (TBMS), όπου εμφανίζονται όλα τα δεδομένα λειτουργίας και χρήσης του κτιρίου.

Επιπρόσθετα έχουμε δημιουργήσει μια διεπαφή χρήστη στο Chronograf που λειτουργεί σαν κέντρο λήψης αποφάσεων, η οποία αποτελείται από τα measurements όλων των δεδομένων λειτουργίας και χρήσης του κτιρίου, τα queries που έχουν τεθεί για την ανάλυση των δεδομένων σε dashboards και τα alerts για το συσχετισμό των διεργασιών στο κτίριο.

6.1 To User Interface στο Node-RED

Για να δημιουργήσουμε την επιφάνεια χρήστη στο Node-RED εγκαθιστούμε το node-red-dashboard, το οποίο δημιουργεί επιφάνεια χρήστη στο url <http://localhost:1880/ui>. Η επιφάνεια αυτή αποτελείται από groups και widgets.

Όπως αναφέραμε αναλυτικά σε κάθε καρτέλα του node-RED, χρησιμοποιούμε μετρητές ενδείξεων τιμών (gauges) για την ένδειξη μετρούμενων τιμών όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η φωτεινότητα κλπ.

Χρησιμοποιούμε γραφικές παραστάσεις (charts) για την ένδειξη της μεταβολής των μετρούμενων μεγεθών, όπως η κατανάλωση ενέργειας ανά έξοδο του ενεργοποιητή, η μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας, η μεταβολή της φωτεινότητας κλπ.

Χρησιμοποιούμε πεδία δυναμικού κειμένου (ui_text), πχ για την ένδειξη της κατάστασης των κόμβων, ή την κατάσταση των εντολών KNX, ή την ένδειξη των δεδομένων του openweathermap.

Χρησιμοποιούμε στατικά και δυναμικά εικονίδια (media) για την σήμανση μεγεθών όπως η ανατολή και η δύση του ηλίου, η θερμοκρασία και η υγρασία.

Τέλος χρησιμοποιούμε ενδεικτικά LED (ui_led) για την ένδειξη της κατάστασης των εξόδων του ενεργοποιητή (πράσινο-> απενεργοποιημένη, κόκκινο-> ενεργοποιημένη)

Η επιφάνεια χρήστη του Node-RED είναι μια προσέγγιση στο Σύστημα Ενεργειακής Διαχείρισης του κτιρίου (BEM) όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα.

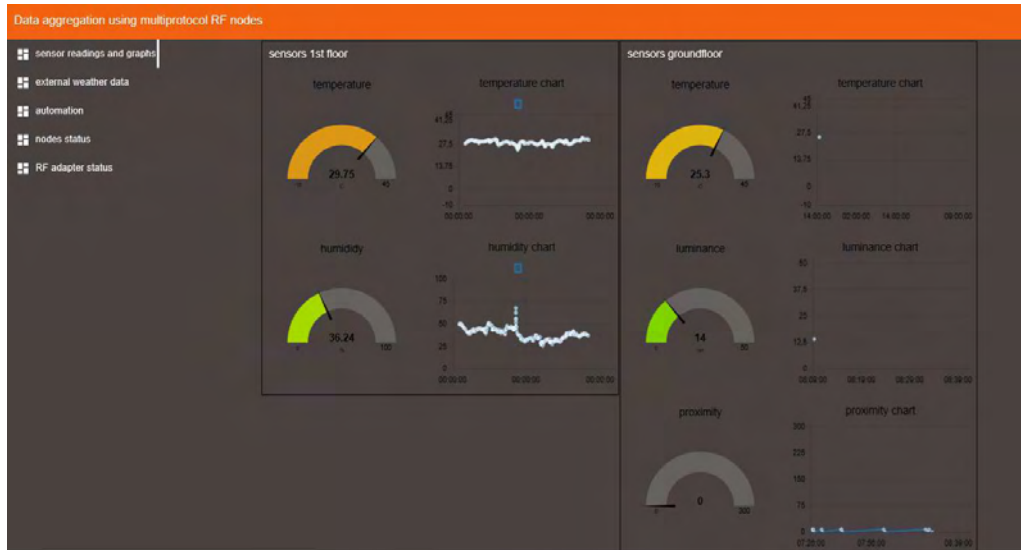
Στην προτεινόμενη προσέγγιση έχουμε δημιουργήσει μια επιφάνεια χειρισμού για τον χρήστη του κτιρίου (προσωπικό συντήρησης- προσωπικό ασφαλείας κλπ) που έχει κατηγοριοποιηθεί ως προς τις ενδείξεις των αισθητήρων και τα γραφήματα αυτών, τα εξωτερικά μετεωρολογικά δεδομένα, τα παραδείγματα αυτοματισμού, την κατάσταση των κόμβων και την κατάσταση των RF adaptors.

6.1.1 Sensor Readings and Graphs

Ξεκινώντας από το μενού αριστερά, επιλέγουμε το sensor readings and graphs, όπου εμφανίζουμε τις μετρήσεις των αισθητήρων θερμοκρασίας, υγρασίας, φωτεινότητας και κίνησης, μαζί με τα αντίστοιχα διαγράμματα μεταβολής των μεγεθών, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

Παρατηρούμε ότι στα αισθητήρια 1st floor έχουμε πολύ πιο συχνή δειγματοληψία από ότι στα αισθητήρια groundfloor. Η αιτία είναι ότι τα αισθητήρια 1st floor ανήκουν στο δίκτυο zigbee όπου τα δεδομένα αποστέλλονται ανά 15 λεπτά, ενώ τα αισθητήρια του groundfloor αποστέλλονται ανά δύο ώρες.

Η διαφορά στην συχνότητα αποστολής των δεδομένων προκύπτει από τις διαφορετικές στρατηγικές που ακολουθούνται για την εξοικονόμηση ενέργειας στους αισθητήρες μπαταρίας.



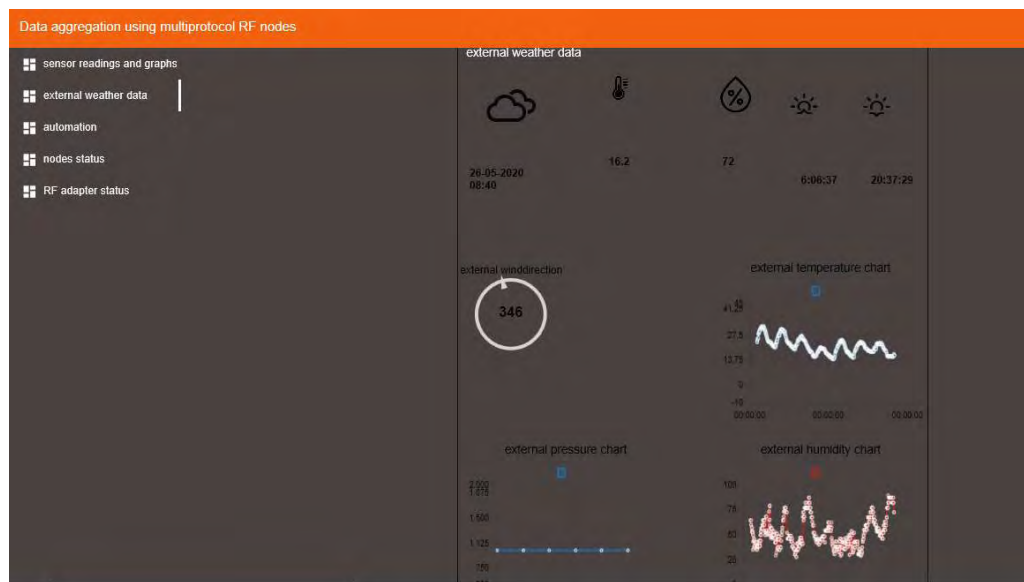
ΕΙΚΟΝΑ 49: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

6.1.2 External Weather Data

Η επόμενη επιλογή στο μενού αριστερά είναι το external weather data. Σε αυτή την επιλογή εμφανίζουμε τα δυναμικά εξωτερικά δεδομένα, με τρέχουσα ημερομηνία και ώρα, γραφική απεικόνιση του καιρού (πχ ηλιοφάνεια, ηλιοφάνεια με σύννεφα κλπ), εξωτερική θερμοκρασία, υγρασία, κατεύθυνση ανέμου, ανατολή ηλίου και δύση.

Όπως αναλύθηκε και στην αντίστοιχη ενότητα, ο σκοπός της ένδειξης των μετεωρολογικών συνθηκών στην περιοχή που βρίσκεται το κτίριο, συνδέεται άμεσα με την διόρθωση της συμπεριφοράς του χρήστη, σε σχέση με τις πραγματικές συνθήκες του κτιρίου.

Σε αυτό το πλαίσιο αναπτύξαμε την εφαρμογή στην αντίστοιχη ενότητα όπου απενεργοποιείται αυτόματα η θέρμανση, εφόσον η εξωτερική θερμοκρασία υπερβαίνει τους 20°C.



ΕΙΚΟΝΑ 50: ΚΑΡΤΕΛΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ USER-INTERFACE

6.1.3 Λειτουργικότητα εφαρμογής αυτοματισμού

Στην επιλογή του automation έχουμε αναπτύξει 4 παραδείγματα αυτοματισμού.

- Απλή εντολή φωτισμού από μπουτόν KNX σε έξοδο Z-Wave.

Για τη λειτουργία του φωτισμού καταγράφουμε την κατανάλωση ισχύος (W) και ενέργειας (kWh) στον άξονα του χρόνου.

Υπάρχει φωτεινή ένδειξη με LED (πράσινο απενεργοποιημένη, κόκκινο ενεργοποιημένη), για την ένδειξη της κατάστασης της εξόδου φωτισμού.

Επιπρόσθετα έχουμε δυναμική ένδειξη κειμένου (TRUE/FALSE) για το αν έχει πατηθεί ή όχι το μπουτόν ενεργοποίησης του φωτισμού.

- Εντολή ενεργοποίησης θερμαντικής αντίστασης από button KNX σε έξοδο Z-Wave, λαμβάνοντας υπόψη την επιθυμητή θερμοκρασία χρήστη (user Input) και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (από αισθητήριο Zigbee).

Για τη λειτουργία της θέρμανσης καταγράφουμε την κατανάλωση ισχύος (W) και ενέργειας (kWh) στον άξονα του χρόνου.

Υπάρχει φωτεινή ένδειξη με LED (πράσινο απενεργοποιημένη, κόκκινο ενεργοποιημένη), για την ένδειξη της κατάστασης της εξόδου φωτισμού.

Επιπρόσθετα έχουμε δυναμική ένδειξη κειμένου (TRUE/FALSE) για το αν έχει πατηθεί ή όχι το μπουτόν ενεργοποίησης του φωτισμού.

- Εντολή απενεργοποίησης της κατανάλωσης φωτισμού και θέρμανσης, όταν δεν υπάρχουν δεδομένα ble για περισσότερα από 5 λεπτά (απουσία χρήστη από το χώρο), με στόχο την αποφυγή κατασπατάλησης ενέργειας. Εμφανίζεται ένδειξη user present/user absent.

- Εντολή απενεργοποίησης της θέρμανσης όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πάνω από 25°C.



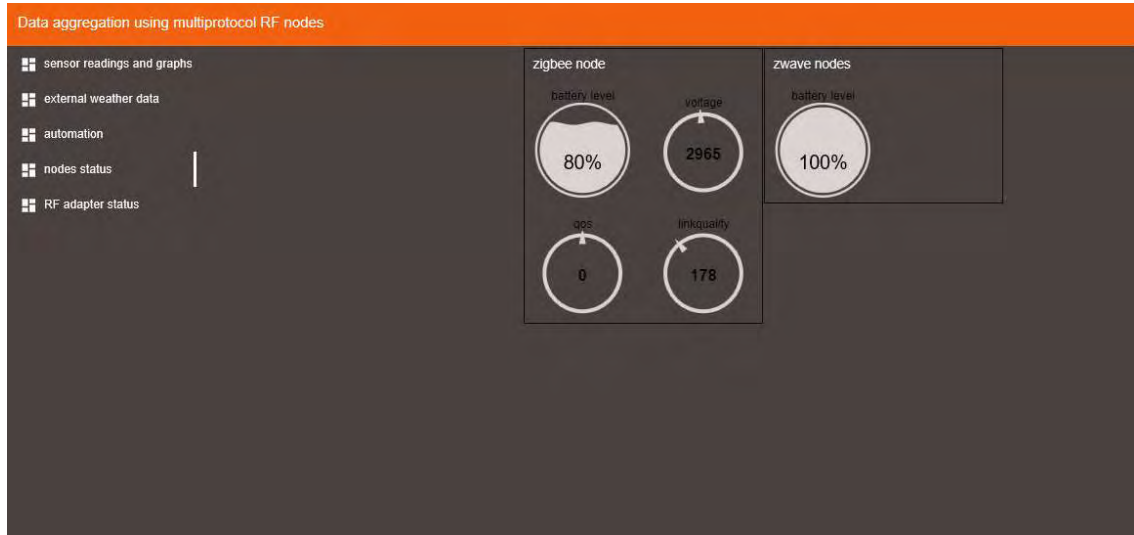
ΕΙΚΟΝΑ 51: ΚΑΡΤΕΛΑ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΟ USER INTERFACE ΤΟΥ NODE-RED

6.1.4 Κατάσταση λειτουργίας κόμβων (Node Status)

Στην επιλογή του node status εμφανίζουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των ασύρματων κόμβων με μπαταρία, όπως το ποσοστό της μπαταρίας, η τάση λειτουργίας της μπαταρίας, το qos και το linkquality.

Με αυτό τον τρόπο γίνεται η επίβλεψη της συμπεριφοράς των χαρακτηριστικών λειτουργίας των ασύρματων κόμβων.

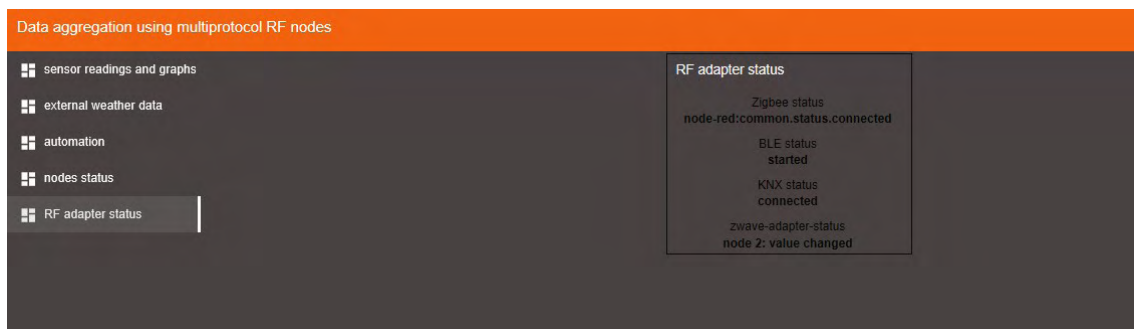
Δύναται να επεκταθεί η εφαρμογή με τη δημιουργία alerts για χαμηλή στάθμη λειτουργίας, χαμηλό linkquality κλπ.



ΕΙΚΟΝΑ 52: ΚΑΡΤΕΛΑ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΣΤΟ USER INTERFACE ΣΤΟ NODE-RED

6.1.5 Κατάσταση λειτουργίας RF Adapters (Connectivity Status)

Στην επιλογή RF adapter status, εμφανίζουμε την κατάσταση συνδεσιμότητας των adapters. Η συνδεσιμότητα των adapters είναι από τα κρίσιμα σημεία της εφαρμογής που έχουμε δημιουργήσει, καθώς η απώλεια της συνδεσιμότητας οποιουδήποτε adapter, είτε εξαιτίας software update (π.χ. αναβάθμιση του node.js) είτε αστοχία του hardware οδηγεί σε απώλεια δεδομένων



ΕΙΚΟΝΑ 53: ΚΑΡΤΕΛΑ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ RF ADAPTERS ΣΤΟ USER INTERFACE ΣΤΟ NODE-RED

6.2 To User Interface στο Chronograf

Στην εφαρμογή που δημιουργήσαμε στο Node-RED αποθηκεύουμε τα δεδομένα λειτουργίας της εγκατάστασης και τη συμπεριφορά του χρήστη στη βάση δεδομένων χρονικής σειράς, `xiaomi_data`.

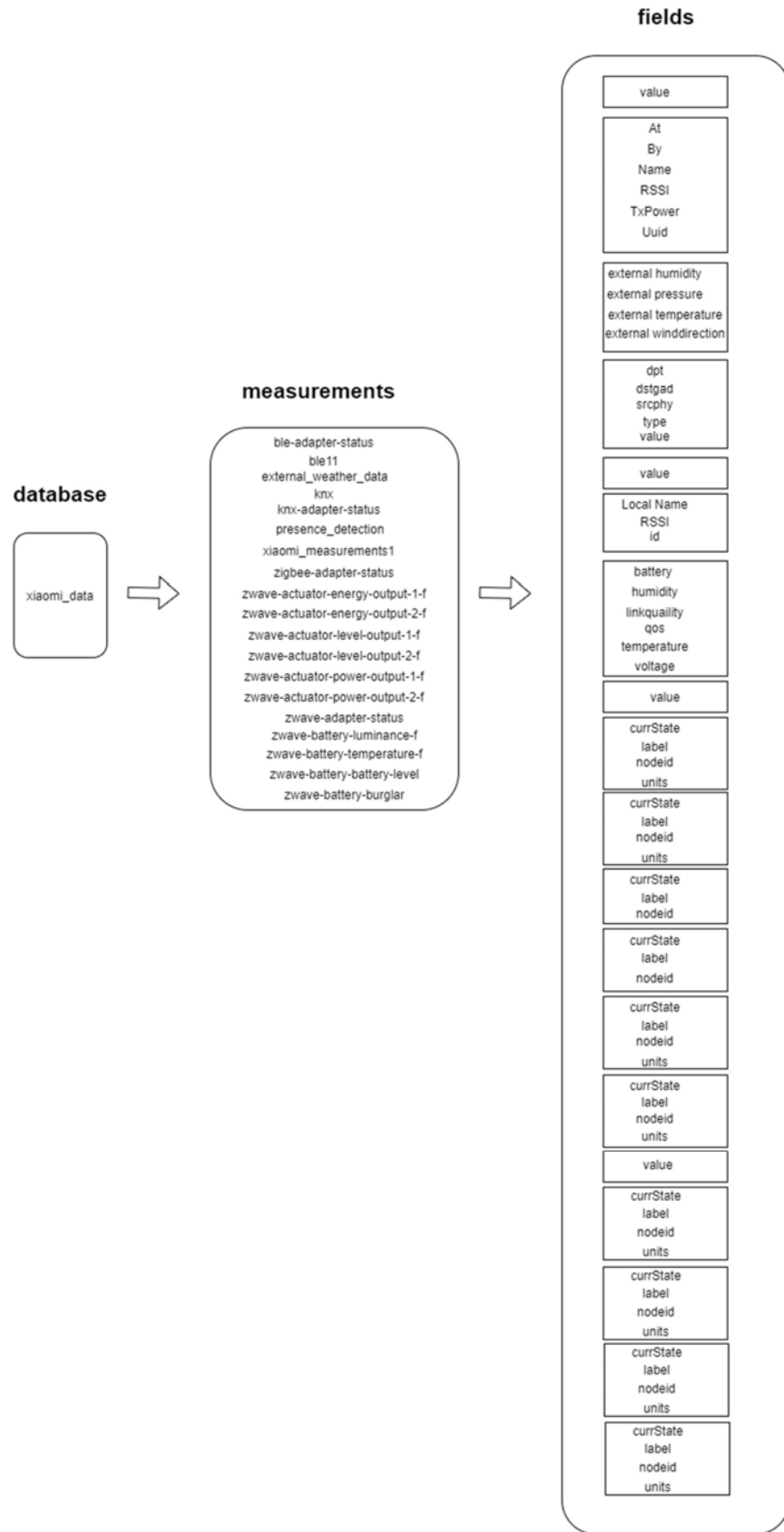
Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, η βάση αυτή αποτελείται από `measurements` από τους αισθητήρες και ενεργοποιητές που έχουμε χρησιμοποιήσει στην πειραματική μας διάταξη, και τα αντίστοιχα `fields` που περιέχουν τις μετρούμενες τιμές.

Η επιλογή των `measurements` και των `fields` που αποθηκεύουμε σε αυτή τη βάση δεδομένων, έχει γίνει με γνώμονα τις μετρήσεις των φυσικών μεγεθών, τα στοιχεία εκπομπής κάθε μέτρησης (π.χ. αναγνωριστικό συσκευής που έλαβε τη μέτρηση), μονάδα μέτρησης κάθε φυσικού μεγέθους, την κατάσταση εξόδου (`state of output`) του ενεργοποιητή, την κατάσταση λειτουργίας κάθε ασύρματου κόμβου (π.χ. στάθμη μπαταρίας) και την συνδεσιμότητα των RF adapters (`connected, disconnected, idle`)

Όλα τα παραπάνω αυτά στοιχεία μας δίνουν μια σαφή εικόνα για την ορθή λειτουργία της πειραματικής διάταξης, την ασφαλή λειτουργία των ασύρματων κόμβων και τη συνδεσιμότητα του κάθε δικτύου RF.

Επιπρόσθετα έχοντας εγκαταστήσει το plugin `telegraf` λαμβάνουμε δεδομένα για την απόδοση του host `hardware` του `raspberry` στο οποίο έχουμε εγκαταστήσει την `influxdb`.

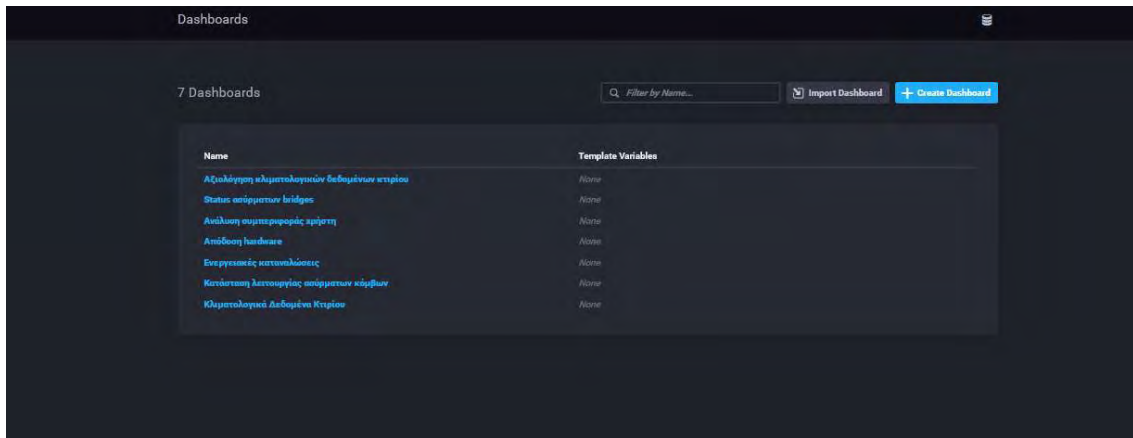
Επίσης έχοντας εγκαταστήσει τα plugins `kapacitor` και `chronograf` έχουμε τη δυνατότητα να προγραμματίσουμε `alerts` για τα δεδομένα που λαμβάνουμε στην `influxdb`. Τα `alerts` αυτά μπορούμε να τα επεξεργαστούμε, να τα προωθήσουμε σε αντίστοιχα `handlers` όπως `email`, `mqtt`, να επιτηρήσουμε τη διάρκειά τους και τη συχνότητά τους κλπ. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να εντοπίσουμε δυσλειτουργίες και αστοχίες της πειραματικής μας διάταξης και να προβούμε στις αντίστοιχες ενέργειες αντιμετώπισης.



ΕΙΚΟΝΑ 54: Η ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ XIAOMI_DATA ΜΕ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ MEASUREMENTS ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ FIELDS

Δημιουργούμε μία πρότυπη επιφάνεια χρήστη, για να αξιολογήσουμε τα δεδομένα που αποθηκεύουμε στη βάση δεδομένων xiaomi_data, η οποία περιέχει ενημερωτικά dashboards για όλα τα μετρούμενα δεδομένα. Εμφανίζουμε:

- Αξιολόγηση των κλιματολογικών δεδομένων
- Κατάσταση λειτουργίας των ασύρματων bridges
- Ανάλυση συμπεριφοράς του χρήστη
- Απόδοση του hardware
- Ενεργειακές καταναλώσεις
- Κατάσταση λειτουργίας ασύρματων κόμβων
- Κλιματολογικά δεδομένα του κτιρίου



ΕΙΚΟΝΑ 55: ΤΑ DASHBOARDS ΤΟΥ CHRONOGRAF

6.2.1 Αξιολόγηση κλιματολογικών δεδομένων

Στην αξιολόγηση των κλιματολογικών δεδομένων του κτιρίου εμφανίζουμε στοιχεία και των εξωτερικών και των εσωτερικών κλιματολογικών δεδομένων του κτιρίου, εντοπίζουμε μέγιστες, ελάχιστες ή μέσες τιμές των επιτηρούμενων μεγεθών και έχουμε τη δυνατότητα να παρατηρήσουμε τη μεταβολή τους στον άξονα του χρόνου.

Δεδομένα εξωτερικής θερμοκρασίας στο κτίριο

Για την ένδειξη της μέγιστης καταγεγραμμένης εξωτερικής θερμοκρασίας μαζί με την αντίστοιχη σήμανση χρόνου, εισάγουμε το query:

```
SELECT max("external temperature") AS "max_external temperature" FROM "xiaomi_data"."autogen"."external_weather_data"
```

Για την ένδειξη της ελάχιστης καταγεγραμμένης εξωτερικής θερμοκρασίας μαζί με την αντίστοιχη σήμανση χρόνου, εισάγουμε το query:

```
SELECT min("external temperature") AS "min_external temperature" FROM "xiaomi_data"."autogen"."external_weather_data"
```

Για την **ένδειξη της καμπύλης της εξωτερικής θερμοκρασίας** εισάγουμε το query:

```
SELECT mean("external temperature") AS "mean_external temperature" FROM  
"xiaomi_data"."autogen"."external_weather_data" WHERE time > :dashboardTime: AND time <  
:upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Δεδομένα εσωτερικών κλιματολογικών συνθηκών του κτιρίου

Για την **ένδειξη της μέσης υγρασίας του ορόφου** μαζί με το αντίστοιχο timestamp εισάγουμε το query:

```
SELECT mean("humidity") AS "mean_humidity" FROM  
"xiaomi_data"."autogen"."xiaomi_measurements1"
```

Για την **ένδειξη της καμπύλης της υγρασίας του ορόφου** εισάγουμε το query:

```
SELECT mean("humidity") AS "mean_humidity" FROM  
"xiaomi_data"."autogen"."xiaomi_measurements1" WHERE time > :dashboardTime: AND time <  
:upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Για την **ένδειξη της ελάχιστης θερμοκρασίας του ορόφου** μαζί με το αντίστοιχο timestamp εισάγουμε το query:

```
SELECT min("temperature") AS "min_temperature" FROM  
"xiaomi_data"."autogen"."xiaomi_measurements1"
```

Για την **ένδειξη της καμπύλης της θερμοκρασίας του ορόφου** εισάγουμε το query:

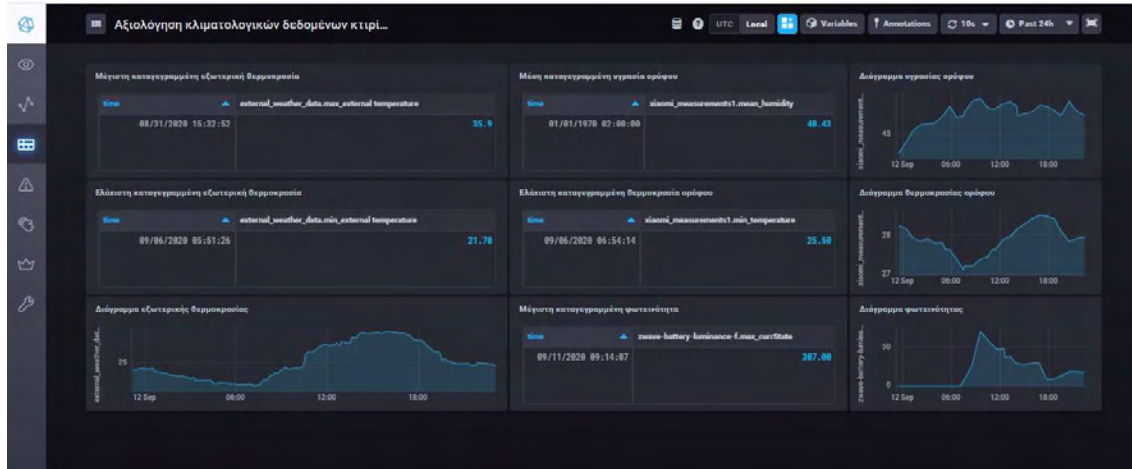
```
SELECT mean("temperature") AS "mean_temperature" FROM  
"xiaomi_data"."autogen"."xiaomi_measurements1" WHERE time > :dashboardTime: AND time <  
:upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Για την **ένδειξη της μέγιστης φωτεινότητας του ισογείου** μαζί με το αντίστοιχο timestamp εισάγουμε το query:

```
SELECT max("currState") AS "max_currState" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zwave-battery-  
luminance-f"
```

Για την **ένδειξη της καμπύλης της φωτεινότητας του ισογείου** εισάγουμε το query:

```
SELECT mean("currState") AS "mean_currState" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zwave-battery-  
luminance-f" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY  
time(:interval:) FILL(null)
```



ΕΙΚΟΝΑ 56: DASHBOARD ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ

6.2.2 Κατάσταση λειτουργίας ασύρματων adapters

Η κατάσταση της λειτουργίας και η συνδεσιμότητα των ασύρματων bridges είναι στοιχείο κομβικής σημασίας για την λειτουργία της πειραματικής μας διάταξης και τη λειτουργία του κτιρίου, καθώς ενδεχόμενη αστοχία οδηγεί σε μαζική απώλεια δεδομένων.

Για την συνδεσιμότητα του **KNX RF adapter** εισάγουμε το query:

```
SELECT "value" AS "value" FROM "xiaomi_data"."autogen"."knx-adapter-status" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime:
```

Καθώς έχουμε εμφανώς συνεχείς συνδέσεις και αποσυνδέσεις του συγκεκριμένου adapter παρατηρούμε και **τον αριθμό των αστοχιών της συγκεκριμένης σύνδεσης** με το query:

```
SELECT count("value") FROM "xiaomi_data"."autogen"."knx-adapter-status" WHERE "value"='disconnected'
```

Για τη συνδεσιμότητα του **BLE adapter** εισάγουμε το query:

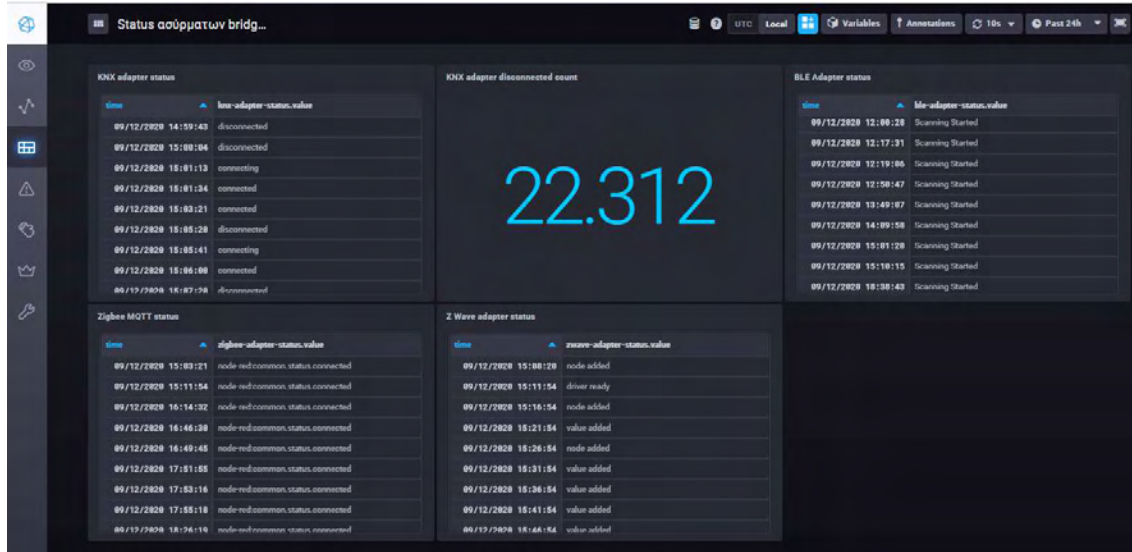
```
SELECT "value" AS "value" FROM "xiaomi_data"."autogen"."ble-adapter-status" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime:
```

Για την **συνδεσιμότητα στον mqtt broker** για τα δεδομένα **zigbee** εισάγουμε το query:

```
SELECT "value" AS "value" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zigbee-adapter-status" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime:
```

Για τη συνδεσιμότητα του **ZWave adapter** εισάγουμε το query:

```
SELECT "value" AS "value" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zwave-adapter-status" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime:
```



ΕΙΚΟΝΑ 57: ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ BRIDGES

6.2.3 Ανάλυση συμπεριφοράς χρήστη

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενες ενότητες η συμπεριφορά του χρήστη του κτιρίου βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με την ενεργειακή κατανάλωση. Παρατηρούμε και αναλύουμε τη συμπεριφορά του χρήστη με γνώμονα τον εντοπισμό των χειρισμών που οδηγούν σε σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο dashboard της Ανάλυσης της Συμπεριφοράς του Χρήστη εμφανίζουμε τις εξής πληροφορίες:

Την απουσία του χρήστη BLE “MI Band 2”, δηλαδή πόσες φορές ήταν εκτός του κτιρίου και εκτός της εμβέλειας του raspberry.

Όπου για να εμφανίσουμε τα δεδομένα εισάγουμε το εξής query:

```
SELECT count(/value/) FROM "chronograf"."autogen"."alerts" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: AND "alertID"='MI Band 2 absence' AND "alertName"='MI Band 2 absence' AND "level"='CRITICAL' AND "triggerType"='deadman'
```

Τον χρόνο απουσίας του χρήστη MI Band 2, όπου καταγράφουμε τον χρόνο μεταξύ της τιμής CRITICAL και OK και τον μετατρέπουμε σε ώρες

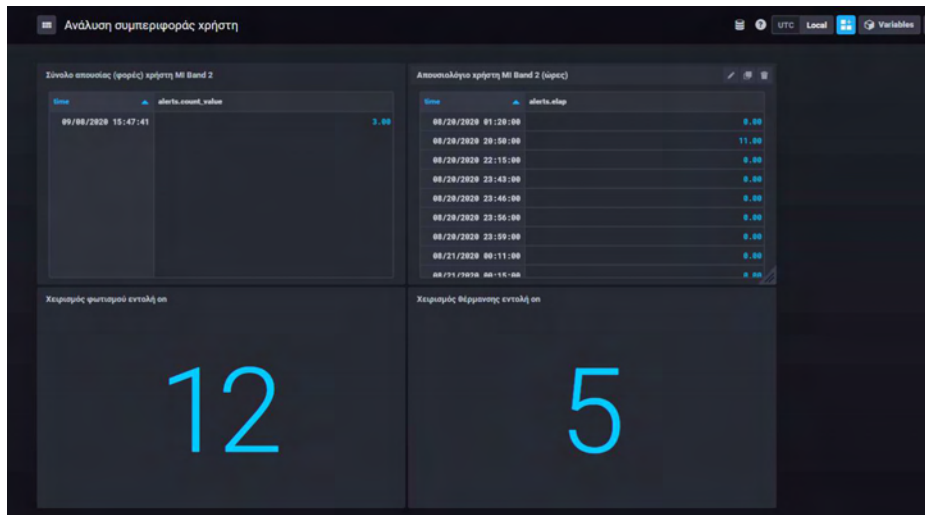
```
SELECT elap FROM (SELECT difference("value") as diff, elapsed("value",1s)/3600 as elap FROM "chronograf"."autogen"."alerts" WHERE "alertID"='MI Band 2 absence' AND "alertName"='MI Band 2 absence') WHERE diff >=1
```

Πόσες φορές ο χρήστης χρειάστηκε να ενεργοποιήσει το φωτισμό πατώντας το μπουτόν KNX RF

```
SELECT count("dstgad") AS "dstgad" FROM "xiaomi_data"."autogen"."knx" WHERE "dstgad"='1/0/1' AND "value"='1'
```

Πόσες φορές ο χρήστης χρειάστηκε να ενεργοποιήσει τη θέρμανση πατώντας το μπουτόν KNX RF

```
SELECT count("dstgad") AS "dstgad" FROM "xiaomi_data"."autogen"."knx" WHERE "dstgad"='1/0/3'  
AND "value"='1'
```



ΕΙΚΟΝΑ 58: DASHBOARD ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΧΡΗΣΤΗ ΣΤΟ USER INTERFACE ΤΟΥ CHRONOGRAP

6.2.4 Απόδοση hardware

Στο dashboard της απόδοσης του hardware επιτηρούμε τη συμπεριφορά χαρακτηριστικών μεγεθών της απόδοσης του επεξεργαστή για κάθε ένα από τα δύο raspberry.

Χρήση της CPU

Για κάθε ένα από τα raspberry θέτουμε το query:

```
SELECT mean("usage_idle") AS "mean_usage_idle", mean("usage_iowait") AS "mean_usage_iowait",  
mean("usage_user") AS "mean_usage_user", mean("usage_system") AS "mean_usage_system",  
mean("usage_softirq") AS "mean_usage_softirq" FROM "telegraf"."autogen"."cpu" WHERE time >  
:dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: AND "cpu"='cpu-total' AND ("host"='influxdb' OR  
"host"='influxdb2') GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Παρατηρούμε ότι το sensors raspberry έχει μεγαλύτερη μέση χρήση της CPU idle, ενώ το influxdb raspberry εμφανίζει μεγαλύτερη χρήση CPU από το χρήστη (μέσω εφαρμογής ανώτερου επιπέδου πχ) και κατά την αναμονή εισόδου/εξόδου (iowait cpu usage).

Χρήση του Kernel

Για κάθε ένα από τα raspberry θέτουμε το εξής query:

```
SELECT mean("boot_time") AS "mean_boot_time", mean("context_switches") AS  
"mean_context_switches", mean("entropy_avail") AS "mean_entropy_avail", mean("interrupts") AS  
"mean_interrupts", mean("processes_forked") AS "mean_processes_forked" FROM  
"telegraf"."autogen"."kernel" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime:  
AND ("host"='influxdb' OR "host"='influxdb2') GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Η διακοπή (interrupt) του συστήματος είναι ένα γεγονός το οποίο μεταβάλλει την κανονική ροή εκτέλεσης ενός προγράμματος και μπορεί να δημιουργηθεί από την ίδια την CPU ή από συσκευές hardware. Οι διακοπές συστήματος χωρίζονται σε σύγχρονες και ασύγχρονες, όπου ιδιαίτερα οι ασύγχρονες δημιουργούνται από εξωτερικά γεγονότα (events) μέσω των συσκευών I/O, όπως στην περίπτωση μας τα RF adapters που λαμβάνουν δεδομένα από το εκάστοτε ασύρματο δίκτυο.

Παρατηρούμε ότι στο sensors raspberry τα interrupts είναι σε σαφώς μεγαλύτερη στάθμη από ότι στο influxdb raspberry.

Χρήση της Μνήμης

Για κάθε ένα από τα raspberry θέτουμε το εξής query:

```
SELECT mean("free") AS "mean_free", mean("dirty") AS "mean_dirty", mean("committed_as") AS "mean_committed_as", mean("commit_limit") AS "mean_commit_limit", mean("cached") AS "mean_cached", mean("buffered") AS "mean_buffered", mean("available_percent") AS "mean_available_percent", mean("available") AS "mean_available", mean("active") AS "mean_active" FROM "telegraf"."autogen"."mem" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: AND ("host"='sensors' OR "host"='influxdb2') GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Παρατηρούμε ότι η χρήση της committed μνήμης, όπως και της cached μνήμης, στο sensors raspberry είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από ότι στο influxdb raspberry.

Διεργασίες

Για κάθε ένα από τα raspberry θέτουμε το εξής query:

```
SELECT mean("total_threads") AS "mean_total_threads", mean("total") AS "mean_total", mean("sleeping") AS "mean_sleeping", mean("running") AS "mean_running", mean("idle") AS "mean_idle", mean("blocked") AS "mean_blocked" FROM "telegraf"."autogen"."processes" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: AND ("host"='influxdb' OR "host"='influxdb2') GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Οι διεργασίες είναι οι οδηγίες που λαμβάνει ο μικροεπεξεργαστής από τη μνήμη, τις αποκωδικοποιεί και τις εκτελεί μέχρι να λάβει εντολή STOP. Έπειτα στέλνει το αποτέλεσμα σε δυαδική μορφή στη θύρα εξόδου (output port). Ανάμεσα σε αυτές τις διεργασίες, ο καταχωρητής αποθηκεύει τα προσωρινά δεδομένα και η αριθμητική λογική μονάδα (ALU) εκτελεί τις εργασίες υπολογισμού.

Παρατηρούμε από την παρακάτω εικόνα ότι τα συνολικά threads (νήματα) στο sensors raspberry είναι περισσότερα από ότι στο influxdb2.

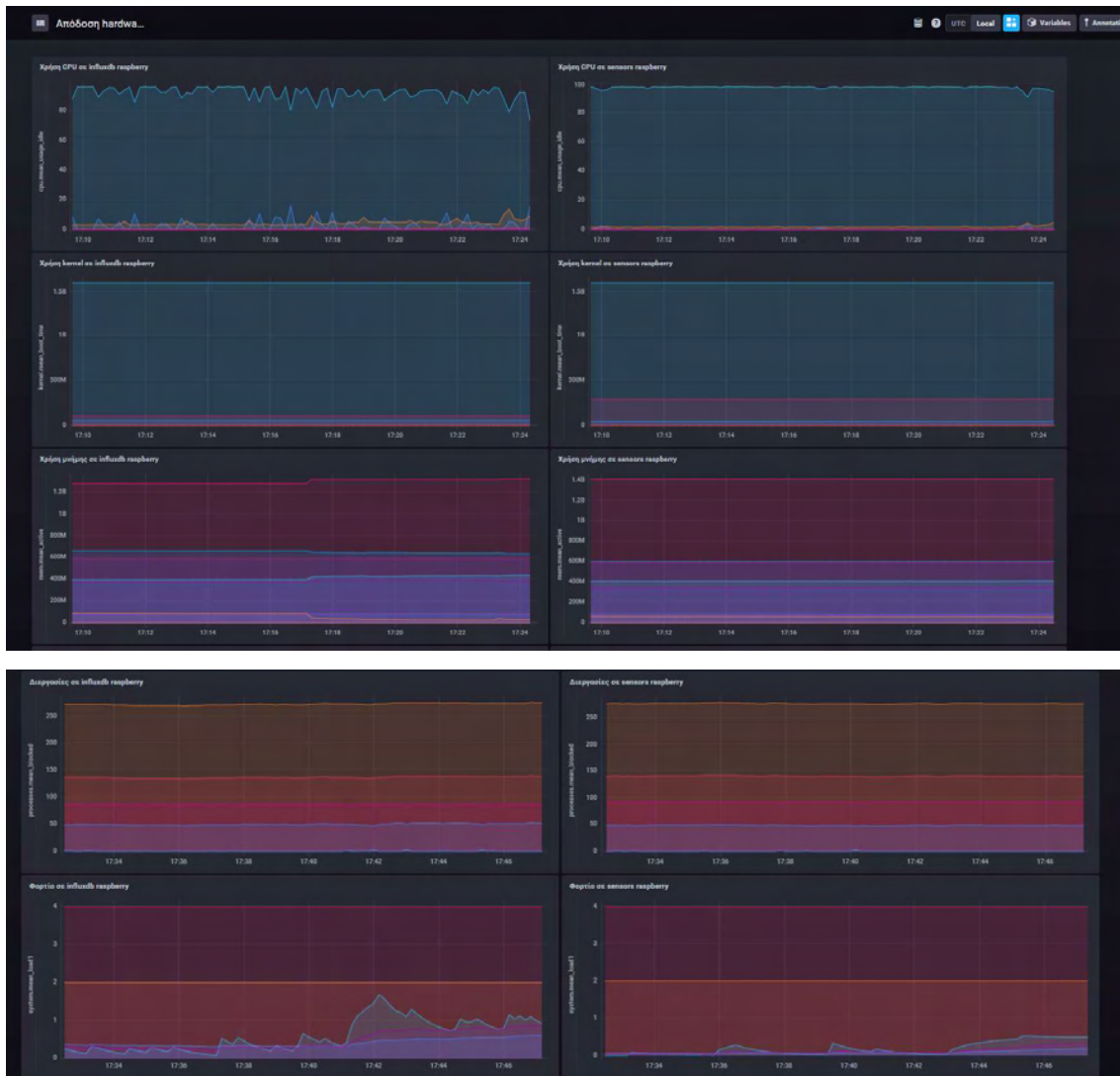
Φορτίο

Επιλέγουμε σε κάθε ένα από τα raspberry το εξής query:

```
SELECT mean("load1") AS "mean_load1", mean("load15") AS "mean_load15", mean("load5") AS "mean_load5" FROM "telegraf"."autogen"."system" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: AND ("host"='influxdb' OR "host"='influxdb2') GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Το φορτίο σε έναν μικροεπεξεργαστή μετρείται κατά την ταυτόχρονη εκτέλεση μιας εργασίας επικοινωνίας και μιας εργασίας υπολογισμού σε κάθε έναν από τους δύο επεξεργαστές. Καθώς τα νήματα της ίδιας διεργασίας χρησιμοποιούν την ίδια χαρτογράφηση και εναλλαγή περιβάλλοντος (mapping and context switching), αυτά τα νήματα καταναλώνουν λιγότερο χρόνο από τη CPU από την εναλλαγή περιβάλλοντος ανάμεσα στις διεργασίες.

Παρατηρούμε από την παρακάτω εικόνα ότι το raspberry influxdb εμφανίζει αιχμές ως προς το συνολικό φορτίο σε σχέση με το raspberry που έχουν συνδεθεί οι αισθητήρες.



ΕΙΚΟΝΑ 59: DASHBOARD ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ HARDWARE ΣΕ ΚΑΘΕ RASPBERRY

6.2.5 Ενεργειακές καταναλώσεις

Η παρακολούθηση των ενεργειακών καταναλώσεων είναι ο κύριος στόχος της συγκεκριμένης μελέτης, οπότε σε αυτό το dashboard εμφανίζουμε ανά είδος κατανάλωσης (φωτισμός και θέρμανση) την μεταβολή της κατανάλωσης ισχύος στο χρόνο (σε W), την μεταβολή της κατανάλωσης στο χρόνο (σε kWh), καθώς και το αποτέλεσμα της κάθε ενέργειας στη στάθμη του φωτισμού και στην θερμοκρασία

Χειρισμός του φωτισμού

Για την ένδειξη της κατανάλωσης της ενέργειας δίνουμε το query:

```
SELECT mean("currState") AS "mean_currState" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zwave-actuator-energy-output-1-f" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Για την ένδειξη της κατανάλωσης ισχύος δίνουμε το query:

```
SELECT mean("currState") AS "mean_currState" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zwave-actuator-power-output-1-f" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Για την ένδειξη της μεταβολής της φωτεινότητας στο χρόνο, σαν αποτέλεσμα το χειρισμού του φωτισμού, δίνουμε το query:

```
SELECT mean("currState") AS "mean_currState" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zwave-battery-luminance-f" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Χειρισμός της θέρμανσης

Για την ένδειξη της κατανάλωσης της ενέργειας δίνουμε το query:

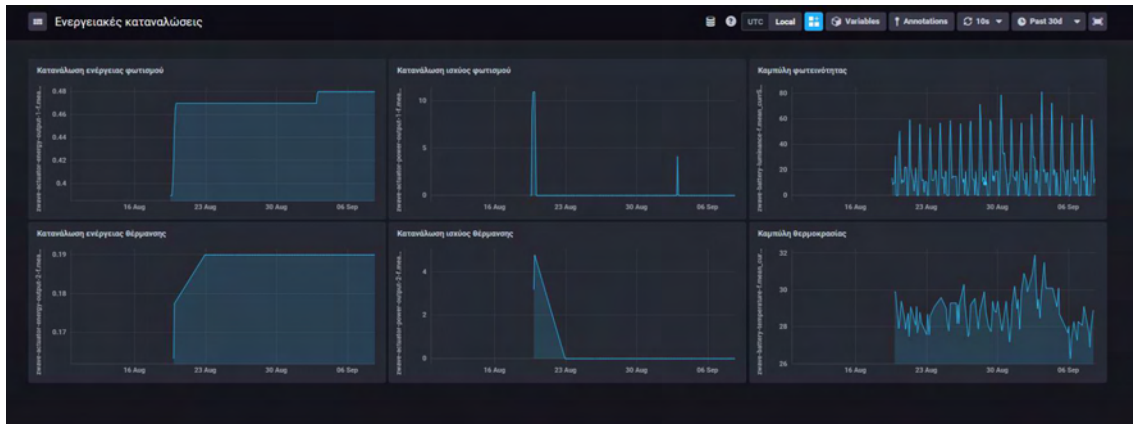
```
SELECT mean("currState") AS "mean_currState" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zwave-actuator-energy-output-2-f" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Για την ένδειξη της κατανάλωσης ισχύος δίνουμε το query:

```
SELECT mean("currState") AS "mean_currState" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zwave-actuator-power-output-2-f" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```


Για την ένδειξη της μεταβολής της θερμοκρασίας στο χρόνο, σαν αποτέλεσμα του χειρισμού της θέρμανσης δίνουμε το query:

```
SELECT mean("currState") AS "mean_currState" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zwave-battery-temperature-f" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```



ΕΙΚΟΝΑ 60: DASHBOARD ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΣΤΟ USER INTERFACE ΤΟΥ CHRONOGRAF

6.2.6 Κατάσταση λειτουργίας ασύρματων κόμβων

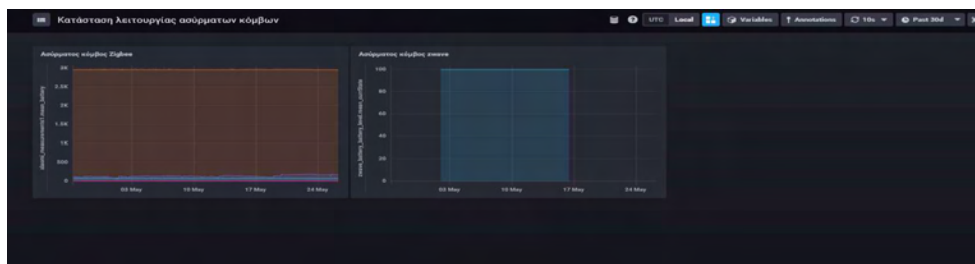
Η σωστή και απρόσκοπτη λειτουργία των ασύρματων κόμβων είναι ζωτικής σημασίας για την εξασφάλιση της λειτουργίας του δικτύου, οπότε είναι σκόπιμη η παρακολούθηση κάποιων ζωτικών στοιχείων της εφαρμογής, όπως η στάθμη της μπαταρίας κάθε κόμβου, η τάση λειτουργίας, το qos και το linkquality

Για τον αισθητήρα ZigBee εισάγουμε το query:

```
SELECT mean("battery") AS "mean_battery", mean("linkquality") AS "mean_linkquality", mean("qos") AS "mean_qos", mean("voltage") AS "mean_voltage" FROM "xiaomi_data"."autogen"."xiaomi_measurements1" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Για τον αισθητήρα Z-Wave εισάγουμε το query:

```
SELECT mean("currState") AS "mean_currState" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zwave_battery_battery_level" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```



ΕΙΚΟΝΑ 61: ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

6.2.7 Κλιματολογικά δεδομένα κτιρίου

Για τα κλιματολογικά δεδομένα του εξωτερικού περιβάλλοντος εισάγουμε το query:

```
SELECT mean("external humidity") AS "mean_external humidity", mean("external pressure") AS "mean_external pressure", mean("external temperature") AS "mean_external temperature", mean("external winddirection") AS "mean_external winddirection" FROM "xiaomi_data"."autogen"."external_weather_data" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Όπου καταγράφουμε την εξωτερική υγρασία, την πίεση, την θερμοκρασία και την κατεύθυνση του ανέμου.

Για τα κλιματολογικά δεδομένα του 1^{ου} ορόφου εισάγουμε το query:

```
SELECT mean("humidity") AS "mean_humidity", mean("temperature") AS "mean_temperature" FROM "xiaomi_data"."autogen"."xiaomi_measurements1" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Όπου καταγράφουμε την υγρασία και την θερμοκρασία στον 1^ο όροφο

Για τη θερμοκρασία ισογείου εισάγουμε το query:

```
SELECT mean("currState") AS "mean_currState" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zwave-battery-temperature-f" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```

Για τη φωτεινότητα ισογείου εισάγουμε το query:

```
SELECT mean("currState") AS "mean_currState" FROM "xiaomi_data"."autogen"."zwave-battery-luminance-f" WHERE time > :dashboardTime: AND time < :upperDashboardTime: GROUP BY time(:interval:) FILL(null)
```



ΕΙΚΟΝΑ 62: ΚΑΡΤΕΛΑ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΓΡΑΦΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΤΙΡΙΟΥ

7 Συμπεράσματα

7.1 Γενικά

Όπως είδαμε και στην εισαγωγική ενότητα η Ευρωπαϊκή Ένωση με την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία έχει θέσει σαν στόχο την μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 50-55% σε σχέση με το 1990 και επενδύει στις τεχνολογίες πράσινης ενέργειας και στα κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Σημειώσαμε την σημαντική συμβολή των κτιριακών αυτοματισμών στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια με το πρότυπο EN15232 και την Ευρωπαϊκή Οδηγία EPBD στην τροποποιημένη της έκδοση του 2018, όπου επισημαίνεται ο έλεγχος του φωτισμού και της θέρμανσης ανάλογα με την παρουσία ανθρώπου (χρήστη) στο χώρο που λειτουργεί η θέρμανση και ο φωτισμός.

Στην εργαστηριακή πιλοτική μας εφαρμογή για τη συλλογή και αξιολόγηση δεδομένων, μελετήσαμε και ενσωματώσαμε δεδομένα και λειτουργίες από διαφορετικά πρότυπα ασύρματων συσκευών, έτσι ώστε να υπάρχει η μεγαλύτερη δυνατή ευελιξία (οικονομική και τεχνική) στην εφαρμογή λύσεων αυτοματισμού στο εκάστοτε δημόσιο κτίριο, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα τις λιγότερες οικοδομικές παρεμβάσεις στο κτίριο, και τη συνέχιση της χρήσης του από τους εκάστοτε εργαζόμενους.

Παρουσιάσαμε πρόταση ελέγχου των λειτουργιών του κτιρίου λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα από φορητή συσκευή BLE, στην περίπτωση μας ένα smartwatch, αλλά θα μπορούσε επίσης να ήταν και μια συσκευή κινητού τηλεφώνου, το οποίο είναι ένα παράδειγμα ατομικού εξοπλισμού που θεωρείται αυτόνοτο στην εποχή μας. Με αυτό τον τρόπο ικανοποιούμε το πρότυπο EN15232 για έλεγχο της θέρμανσης και του φωτισμού ανάλογα με την παρουσία χρήστη στο χώρο.

Επιπρόσθετα παρουσιάσαμε μια προτεινόμενη λύση περαιτέρω εξοικονόμησης ενέργειας συσχετίζοντας τη λειτουργία της θέρμανσης του κτιρίου ανάλογα με το αν η εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από 20°C.

Παρουσιάσαμε μια λύση Τεχνικού Συστήματος Διαχείρισης Κτιρίου (TBM) δημιουργώντας User Interfaces στο Node-RED και στο Chronograf του TICK-Stack με σκοπό την ένδειξη, παρακολούθηση και αξιολόγηση των μετρούμενων μεγεθών και δεδομένων.

Στο User Interface του Node-RED έχουμε ένδειξη των μετρούμενων μεγεθών εσωτερικά και εξωτερικά του κτιρίου και εμφάνιση της κατάστασης των εξόδων του φωτισμού και της θέρμανσης, καθώς και παρακολούθηση της ορθής λειτουργίας (συνδεσιμότητα) των RF adapters και των ασύρματων κόμβων (στάθμη μπαταρίας, linkquality, qos κλπ)

Στο User Interface του Chronograf, το οποίο λειτουργεί σαν κέντρο λήψης αποφάσεων του κτιρίου, έχουμε τη δυνατότητα να δούμε την αξιολόγηση των δεδομένων που έχουν αποθηκευτεί σε κάθε measurement, και να παρακολουθήσουμε την συμπεριφορά του χρήστη ως προς τον χειρισμό των λειτουργιών του κτιρίου, αλλά ακόμα και εξασφαλίσουμε την ορθή λειτουργία του κτιρίου, παρακολουθώντας και δημιουργώντας alerts για κρίσιμα δεδομένα κλειδιά, όπως η συνδεσιμότητα των RF adapters και κόμβων, η χαμηλή στάθμη μπαταρίας στους ασύρματους κόμβους, η απουσία δεδομένων από αισθητήρες για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια από τη συχνότητα polling κλπ.

Μέσω της εργαστηριακής μας εφαρμογής προσπαθήσαμε να έχουμε μια συνολική προσέγγιση της βελτίωσης της διαχείρισης ενέργειας στο κτίριο, διερευνώντας τις περισσότερες δυνατές λύσης εξοικονόμησης και εξορθολογισμού της χρήσης αυτού.

Συνοψίζοντας αναφέρουμε ότι δημιουργήσαμε μέσω της εφαρμογής μας όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις για τη λήψη όλων των δεδομένων της εγκατάστασης, την επεξεργασία τους, την

δημιουργία analytics για τον εντοπισμό των σημείων σπατάλης ενέργειας και τον συσχετισμό των διεργασιών μεταξύ τους.

Η πρώτη καινοτομία που εισαγάγαμε με την παρούσα λύση είναι η δυνατότητα δημιουργίας συσχετισμών με περισσότερες και ανομοιογενείς παραμέτρους από ότι θα είχε ένα κλειστό σύστημα BMS, καθώς και εξωτερικά ανοιχτά δεδομένα.

Η δεύτερη καινοτομία που εισάγουμε είναι η εισαγωγή του χρήστη ως οντότητα στο κτίριο όπου παρακολουθούμε τη συμπεριφορά του και τις κινήσεις του για να βελτιώσουμε την ενεργειακή απόδοση.

Η τρίτη καινοτομία που εισάγουμε είναι ότι παρέχουμε τα δεδομένα της ηλεκτρικής εγκατάστασης και κυρίως τη δυνατότητα ελέγχου των ηλεκτρικών καταναλώσεων σε ανοιχτή μορφή και δημιουργούμε με αυτό τον τρόπο τις προϋποθέσεις για την λήψη σημάτων ADR από τον πάροχο, όταν και εφόσον προτυποποιηθεί η όλη διαδικασία.

7.2 Προτεινόμενες βελτιώσεις και επεκτάσεις

Στην πορεία των εργασιών μας αντιμετωπίσαμε μια σειρά προκλήσεων όσον αφορά την σύνθεση της τελικής μας πρότασης, σε θέματα που άπτονται με τις δυνατότητες ζεύξης των κόμβων, τη σταθερότητα λειτουργίας των host raspberries, προβλήματα αναβάθμισης dependencies λογισμικού κλπ.

Το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε και συνεχίζουμε να αντιμετωπίζουμε είναι η σταθερότητα της ζεύξης του KNX RF adapter, όπου παρατηρούμε συνεχείς συνδέσεις, αποσυνδέσεις και επανασυνδέσεις, γεγονός που αυξάνει σοβαρά τον αριθμό των interrupts και στα δύο host raspberries. Έπειτα από σχετικό έλεγχο παρατηρήσαμε ότι η αποσύνδεση δημιουργείται από την πλευρά του εγκατεστημένου client στο sensors raspberry. Σε κάθε περίπτωση η σύνδεση tunneling μεταξύ server και client στο δίκτυο knx πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω.

Ένα δεύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε είναι η συχνότητα δειγματοληψίας και τα polling intervals από τους διάφορους αισθητήρες, καθώς όσο πιο συχνά γίνεται η δειγματοληψία των μετρήσεων και όσο πιο σύντομα τα polling intervals, τόσο πιο πολύ πέφτει η απόδοση των host raspberries, εμφανίζοντας μεγαλύτερη χρήση μνήμης και σαφώς ανησυχητικό αριθμό interrupts.

Θέλοντας να διατηρήσουμε την παρουσίαση της λύσης με δεδομένα πραγματικού χρόνου, και θέλοντας να διατηρήσουμε τον αριθμό των δεδομένων που εμφανίζουμε στα dashboards των user interfaces που έχουμε δημιουργήσει, αναζητήθηκε και βρέθηκε η χρυσή τομή ρύθμισης των χρονισμών δειγματοληψίας.

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η λύση που προτείνουμε επιδέχεται μιας σειράς βελτιώσεων:

Πρώτη και σημαντικότερη βελτίωση είναι η ασφάλιση εκάστοτε ασύρματου δικτύου με κατάλληλο network key, καθώς στην υφιστάμενη πρώιμη λύση που παρουσιάζουμε είναι δυνατό το listening in των πακέτων που ανταλλάσσονται με χρήση κατάλληλου sniffer, οπότε είμαστε ευάλωτοι σε κακόβουλα attacks. Αυτό το αναφέρουμε επιπρόσθετα από την ασφάλιση του Node-RED editor και dashboard με username και password.

Καθώς τα περισσότερα κτίρια του δημοσίου τομέα, είναι τμήμα της υποδομής της χώρας, η εξασφάλιση της ασφάλειας οποιουδήποτε διασυνδεδεμένου κτιρίου πρέπει να θεωρηθεί μέγιστη προτεραιότητα.

Συμπεράσματα-Προτεινόμενες βελτιώσεις και επεκτάσεις

Η λύση που παρουσιάζουμε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής μπορεί να εμπλουτιστεί με περαιτέρω λειτουργίες, όπως καταγραφή χρόνου λειτουργίας των ηλεκτρικών καταναλώσεων, εμπλουτισμός με περισσότερους κόμβους και περισσότερα πρότυπα ασύρματων λειτουργιών όπως LoRaWan κλπ, αφού μεταφέρουμε την λύση μας στα σαφώς ανώτερα Raspberry Pi 4.

Βιβλιογραφία

- [1] «European Commission - Energy,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en. [Πρόσβαση 4 10 2020].
- [2] The Treaty of Lisbon, «Council of the European Union,» 13 02 2009. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/104692.pdf. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [3] ΟΔΗΓΙΑ 2010/31/ΕΕ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ, «EUR-Lex Πρόσβαση στο Δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης,» 18 06 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EL>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [4] ΟΔΗΓΙΑ 2012/27/ΕΕ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ, «EUR-Lex Πρόσβαση στο Δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης,» 14 11 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN>. [Πρόσβαση 24 9 2020].
- [5] ΟΔΗΓΙΑ (ΕΕ) 2018/844 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ, «EUR-Lex Πρόσβαση στο Δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης,» 19 6 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [6] Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή - Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, «EUR-Lex Πρόσβαση στο Δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης,» 11 12 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [7] Energy Efficiency of Public Sector Buildings, «EUROSAI - Operational Plan,» 09 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.eurosaio.org/docs/upload/documents/Riigikontroll_aruanne_veeb_1548765711.pdf. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [8] ΤΟΤΕΕ, «ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ (Κ.Εν.Α.Κ.),» 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.kenak.gr/files/ΤΟΤΕΕ_20701-1_2017.pdf. [Πρόσβαση 24 9 2020].
- [9] Μ. Πετρολιάγκη, «ΥΠΕΚΑ,» 13 10 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://bpes.ypeka.gr/wp-content/uploads/margarita.petroliagki.13.10.2016.pdf>. [Πρόσβαση 24 9 2020].
- [10] Guidance on Energy Efficiency in Public Buildings, «European Investment Bank,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.eib.org/attachments/epec/epec_guidance_on_energy_efficiency_in_public_buildings_en.pdf. [Πρόσβαση 24 9 2020].
- [11] Energy performance of buildings — Impact of Building Automation Control and Building Management, «Center For Renewable Energy Sources & Saving,» 05 08 2006. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set4/WI_22_TC-approval_version_prEN_15232_Integrated_Building_Automation_Systems.pdf. [Πρόσβαση 24 9 2020].

- [12] Demand response - empowering the European consumer, «SETIS-Strategic Energy Technologies,» 03 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-magazine/smart-grids/demand-response-empowering-european-consumer>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [13] Kosek, A. M., Costanzo, G. T., Bindner, H. W., & Gehrke, O., «An Overview of Demand Side Management,» 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6707934>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [14] Peter Palensky, Senior Member, IEEE, and Dietmar Dietrich, Senior Member, IEEE, «Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads,» 07 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/publication/224243498_Demand_Side_Management_Demand_Response_Intelligent_Energy_Systems_and_Smart_Loads. [Πρόσβαση 02 10 2020].
- [15] Papaioannou, Thanasis & Koutsopoulos, Iordanis & Hatzi, Vassiliki, «Modeling and Optimization of the Smart Grid Ecosystem,» 06 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/publication/304023360_Modeling_and_Optimization_of_the_Smart_Grid_Ecosystem. [Πρόσβαση 04 10 2020].
- [16] Thanasis G. Papaioannou, George D. Stamoulis and Marilena Minou, «Personalized Feedback-based Customer Incentives in Automated Demand,» 10 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/publication/329952789_Personalized_Feedback-based_Customer_Incentives_in_Automated_Demand_Response. [Πρόσβαση 04 10 2020].
- [17] European Commission, «Study on ensuring interoperability for enabling Demand Side Flexibility,» 04 01 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://publications.europa.eu/resource/cellar/a61d67de-9ecd-11e9-9d01-01aa75ed71a1.0001.01/DOC_1. [Πρόσβαση 04 10 2020].
- [18] Laura Daniele (TNO), Raúl Garcia-Castro (Universidad Politécnica de Madrid), Maxime Lefrançois (MINES Saint-Étienne), Maria Poveda-Villalon (Universidad Politécnica de Madrid), «SAREF4ENER: an extension of SAREF for the energy domain created in collaboration with Energy@Home and EEBus associations,» 04 06 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://saref.etsi.org/core/v3.1.1/>. [Πρόσβαση 04 10 2020].
- [19] «Commission Recommendation (EU) 2019/1019 on building modernisation,» 7 6 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019H1019&from=EN>. [Πρόσβαση 04 10 2020].
- [20] Daniel Minoli, Kazem Sohraby, and Benedict Occhiogrosso, «IoT Considerations, Requirements, and Architectures for Smart Buildings—Energy Optimization and Next-Generation Building Management Systems,» 1 02 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7805265>. [Πρόσβαση 04 10 2020].
- [21] Horizon 2020, «European Commission,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>. [Πρόσβαση 24 09 2020].

- [22] «ChArGED - The Project,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.charged-project.eu/The-project>. [Πρόσβαση 03 10 2020].
- [23] HEART Retrofit Toolkit, «HEART Project,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://heartproject.eu/what-is-heart/>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [24] The future of Smart Energy Homes in 32 Words, «Housing Europe,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.housingeurope.eu/resource-1264/the-future-of-smart-energy-homes-in-32-words>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [25] [Ηλεκτρονικό]. Available: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/47649087/2015_Li_-_The_internet_of_things-a_survey.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DThe_internet_of_things_a_survey.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=ASIATUSBJ6BAKZ.
- [26] A. Alkhatib, «Wireless Sensor Network Architecture,» 04 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/publication/227352986_Wireless_Sensor_Network_Architecture. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [27] Michael J. McGrath, Clíodhna Ni Scanail, «Healthcare, Wellness and Environmental Applications,» 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4302-6014-1.pdf>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [28] Djedouboum, Asside & ARI, Ado & Gueroui, Abdelhak & Mohamadou, Alidou & Aliouat, Zibouda, «Big Data Collection in Large-Scale Wireless Sensor Networks,» 12 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/publication/329012374_Big_Data_Collection_in_Large-Scale_Wireless_Sensor_Networks. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [29] Cui, Jin, «Data Aggregation in Wireless Sensor Networks,» 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://hal.inria.fr/tel-01428983/document>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [30] Annamalai Lakshmanan, «Internet Of Things(IoT) Application Simulation,» 10 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/publication/328271872_Internet_Of_ThingsIoT_Application_Simulation. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [31] Ngu, Anne & Gutierrez, Mario & Metsis, Vangelis & Nepal, Surya & Sheng, Quan., «IoT Middleware: A Survey on Issues and Enabling Technologies,» 10 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/publication/309081880_IoT_Middleware_A_Survey_on_Issues_and_Enabling_Technologies. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [32] Vincenzo Bonaiuto , Paolo Boatto , Nunzio Lanotte , Cristian Romagnoli and Giuseppe Annino, «A Multiprotocol Wireless Sensor Network for High Performance Sports Applications».
- [33] Maksimovic, Mirjana & Vujovic, Vladimir & Davidović, Nikola & Milosevic, Vladimir & Perisic, Branko, «Raspberry Pi as Internet of Things hardware: Performances and Constraints,» 06

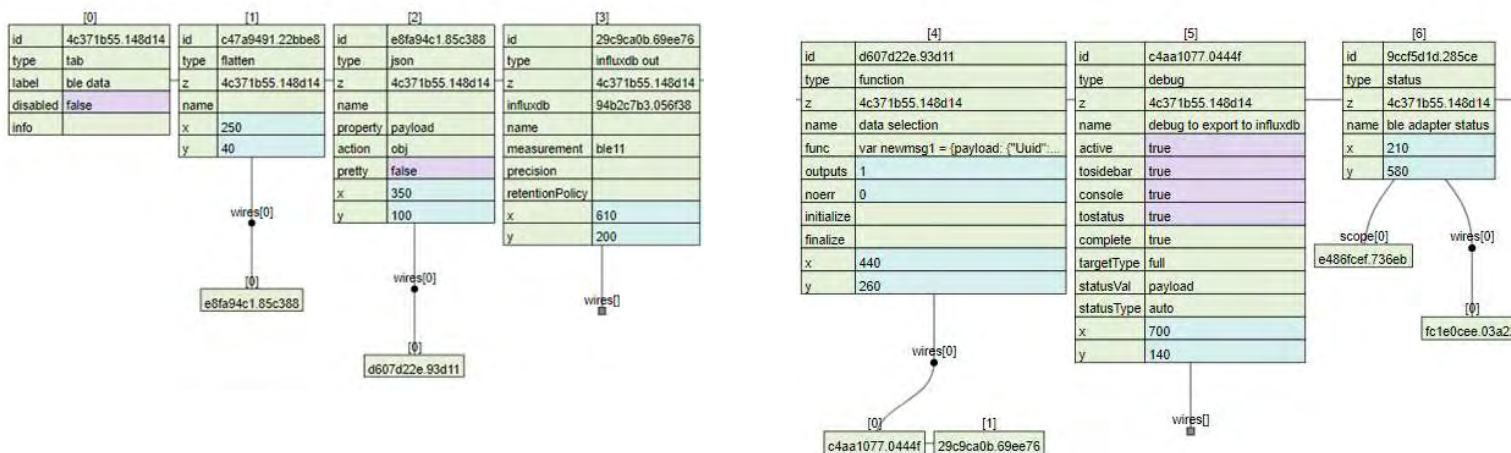
2014. [Ηλεκτρονικό]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/272175660_Raspberry_Pi_as_Internet_of_Things_hardware_Performances_and_Constraints. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [34] Jeon, Kang Eun & She, James & Soonsawad, Perm & Ng, Pc., «BLE Beacons for Internet of Things Applications: Survey, Challenges and Opportunities,» 04 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/322201975_BLE_Beacons_for_Internet_of_Things_Applications_Survey_Challenges_and_Opportunities. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [35] Mathworks, «What is Bluetooth,» [Ηλεκτρονικό]. Available:
<https://www.mathworks.com/help/comm/ug/what-is-bluetooth.html>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [36] Petar Tomic TAPKO Gmbh, «TAPKO Technologies,» [Ηλεκτρονικό]. Available:
<https://www.tapko.de/products/detail/uimrf/>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [37] CSANYI Group Electrical Engineering Portal, «KNX Architecture,» 29 05 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.csanyigroup.com/knx-architecture>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [38] Technische Universitaet Wien, «BCU SDK A free development environment for BCU1 and BCU2,» 06 03 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available:
<https://www.auto.tuwien.ac.at/~mkoegler/index.php/bcusdk>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [39] Pei, Zhongmin & Deng, Zhidong & Yang, Bo & Cheng, Xiaoliang., «Application-oriented wireless sensor network communication protocols and hardware platforms: A survey,» 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/224327774_Application-oriented_wireless_sensor_network_communication_protocols_and_hardware_platforms_A_survey. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [40] Cheng, Jin & Kunz, T., «A Survey on Smart Home Networking,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/267796249_A_Survey_on_Smart_Home_Networking. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [41] Lupato Giorgio, Marco Manzan, Amedeo Pezzi, «The Effect of Climatic Data on Building Performance Optimization,» 11 09 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available:
<http://www.ibpsa.org/proceedings/BSO2018/6B-2.pdf>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [42] M. & J. M. Peacock, «An analysis of security issues in building automation systems,» (2014). [Ηλεκτρονικό]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/277668073_An_analysis_of_security_issues_in_building_automation_systems. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [43] V. & D. H. Marinakis, «An Advanced IoT-based System for Intelligent Energy Management in Buildings,» 16 02 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/323284691_An_Advanced_IoT-based_System_for_Intelligent_Energy_Management_in_Buildings. [Πρόσβαση 24 09 2020].

- [44] O. Mokrenko, «Energy management of a Wireless Sensor Network at application level,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01285378/document>. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [45] Sarkar, Aranya., «Distributed Control System Technologies- NODERED, CODESYS, 4DIAC, DOME,» 11 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/publication/290123072_Distributed_Control_System_Technologies-_NODERED_CODESYS_4DIAC_DOME. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [46] Carlo Fischione, «An Introduction to Wireless Sensor Networks,» 09 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.kth.se/social/files/5431a388f276540a05ad2514/An_Introduction_WSNS_V1.8.pdf. [Πρόσβαση 24 09 2020].
- [47] Maarten Wolsink, «Advanced voltage control based on short-time ahead voltage fluctuation estimation in distribution system,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0378779620303631?token=DC90838598735A301B91E34313CBEC8CE2BADF7BD8A5775589BBE06E10C806A71E78014E029AA83199A425CF1F787A32>. [Πρόσβαση 04 10 2020].
- [48] «OASIS Energy Interoperation Version 1.0,» 11 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://docs.oasis-open.org/energyinterop/ei/v1.0/energyinterop-v1.0.html>. [Πρόσβαση 04 10 2020].
- [49] openADR ALLIANCE, 17 11 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.openadr.org/>. [Πρόσβαση 04 10 2020].

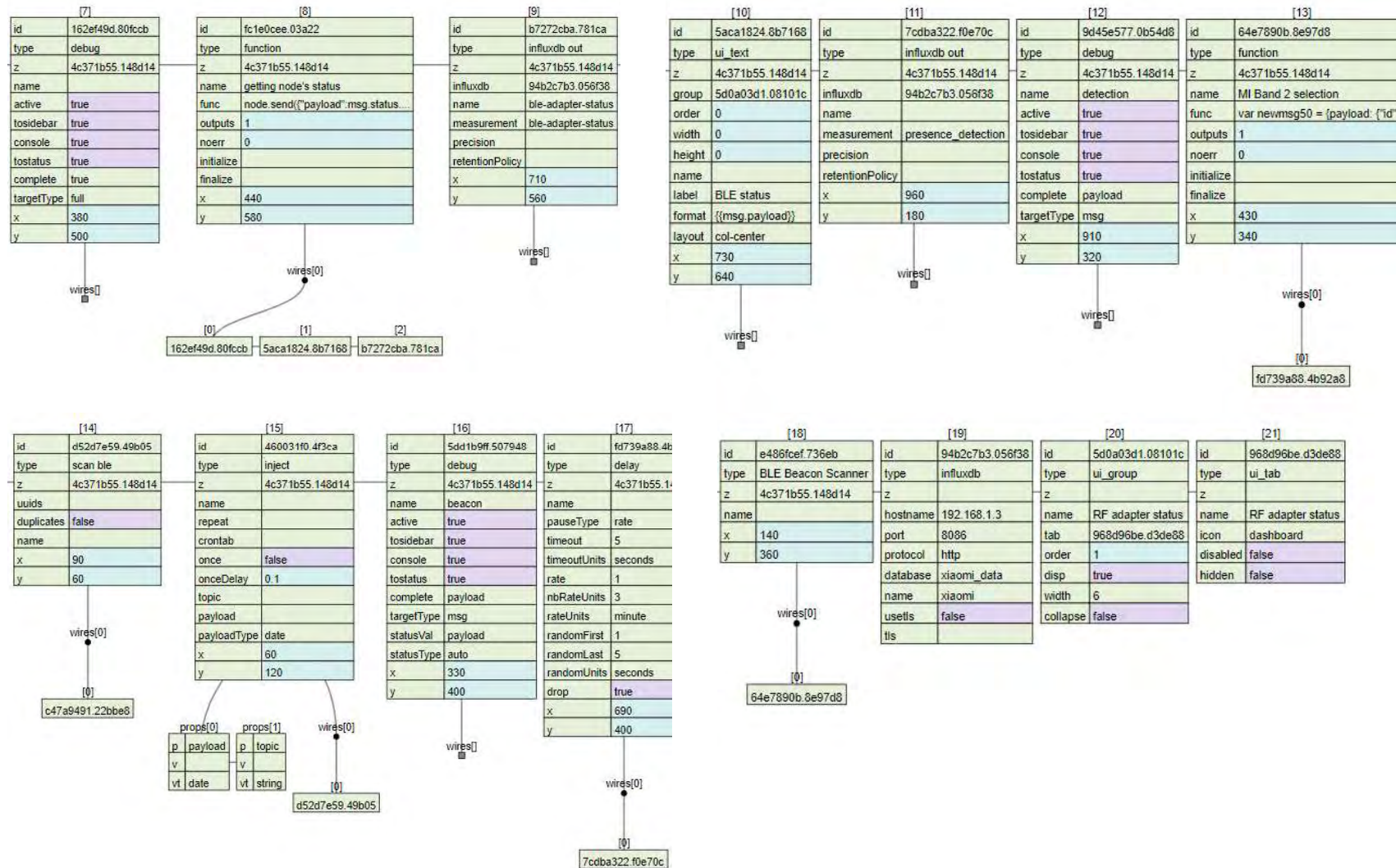
Παράρτημα

Τα διαγράμματα των ροών του Node-RED αποθηκεύτηκαν σε μορφή JSON και απεικονίζονται γραφικά (κάθε κόμβος και κάθε endpoint) μέσω του <https://github.com/ivan111/vtree> repository.

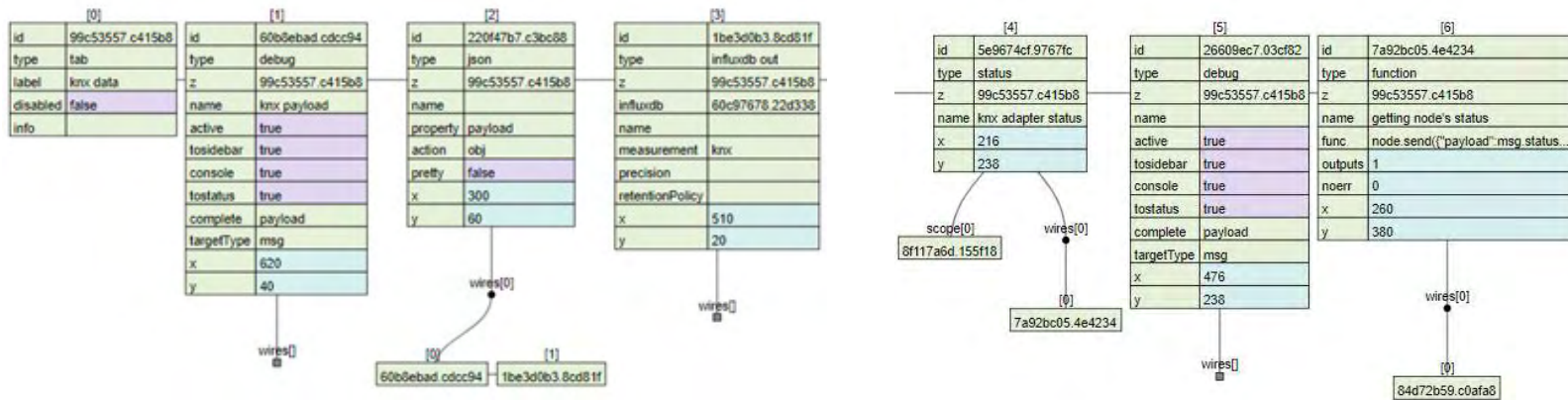
Διάγραμμα JSON των δεδομένων BLE



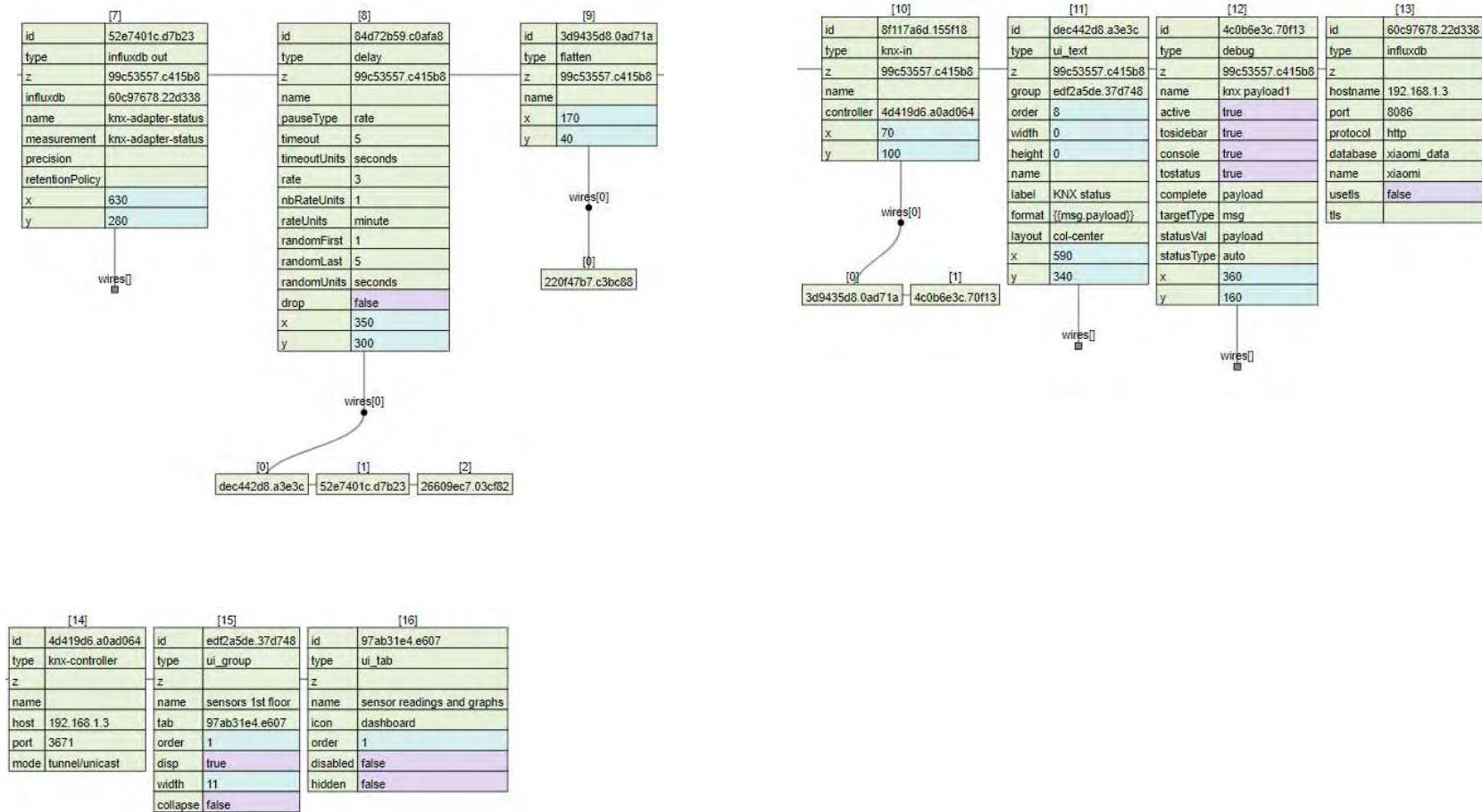
Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων BLE



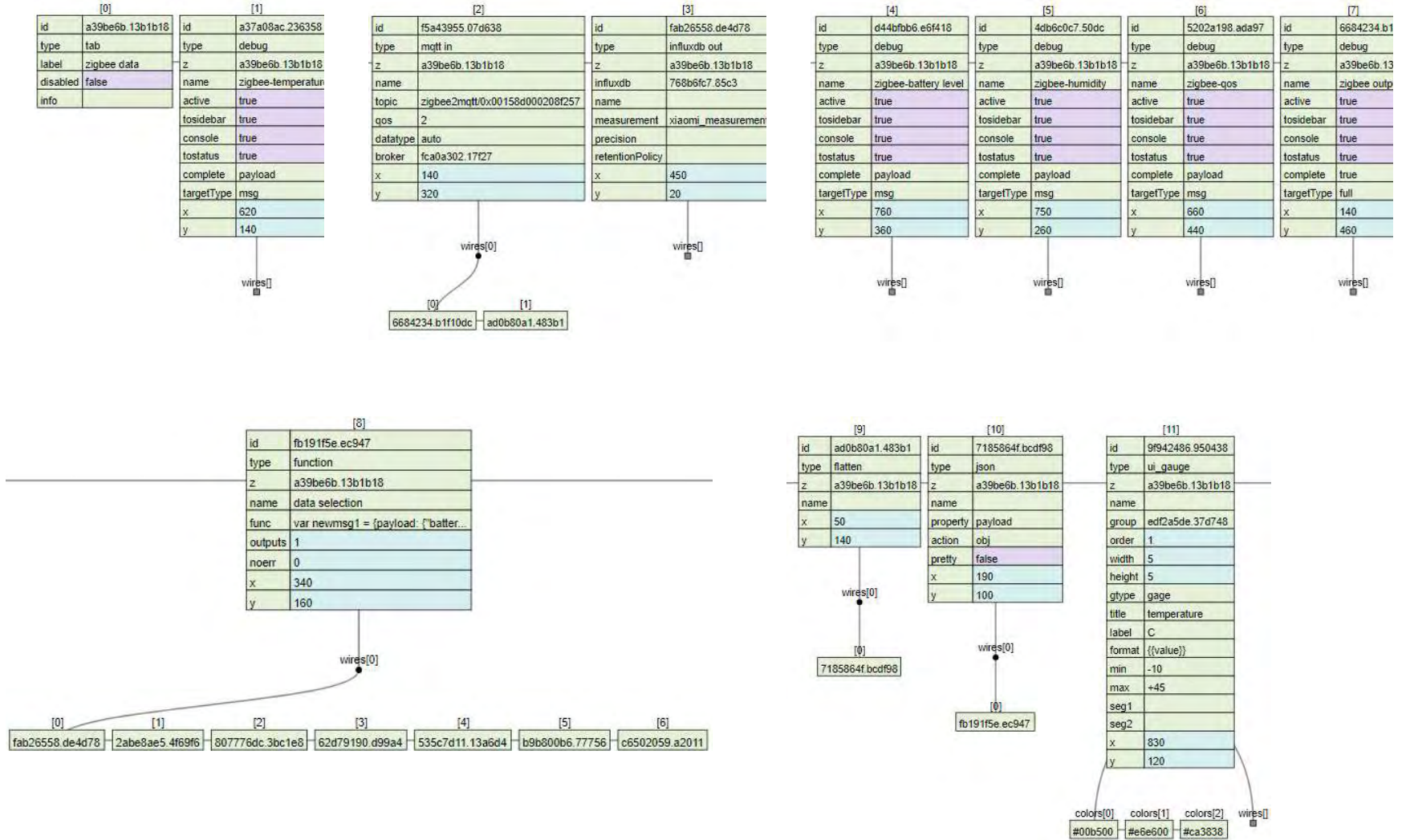
Διάγραμμα JSON των δεδομένων KNX-RF



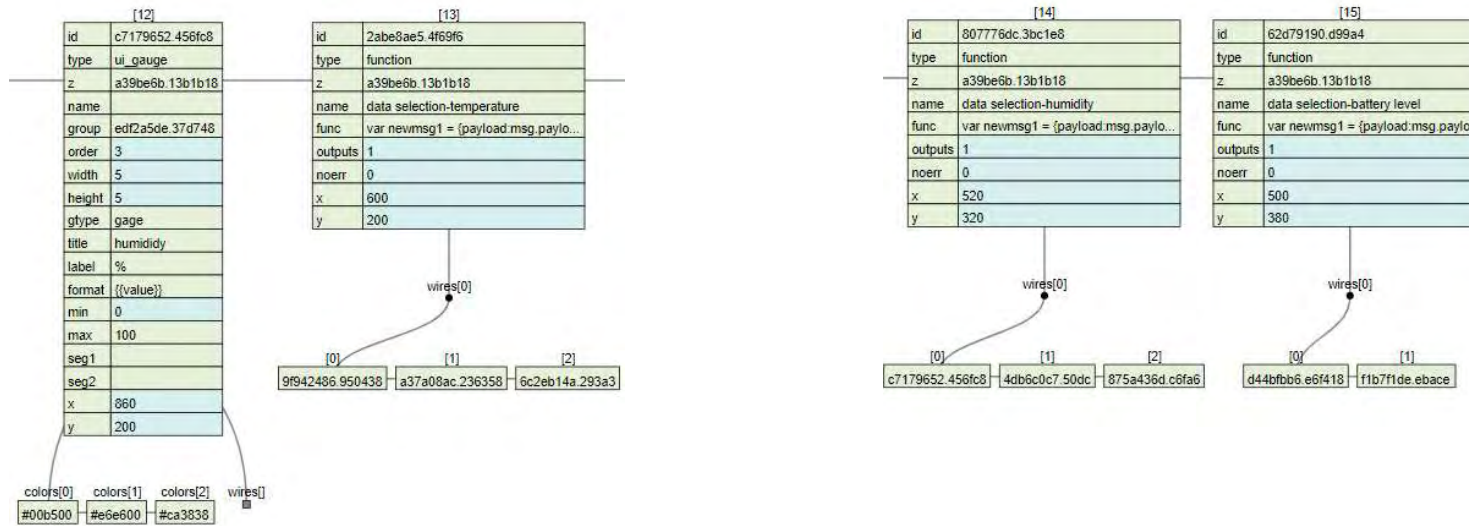
Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων KNX-RF



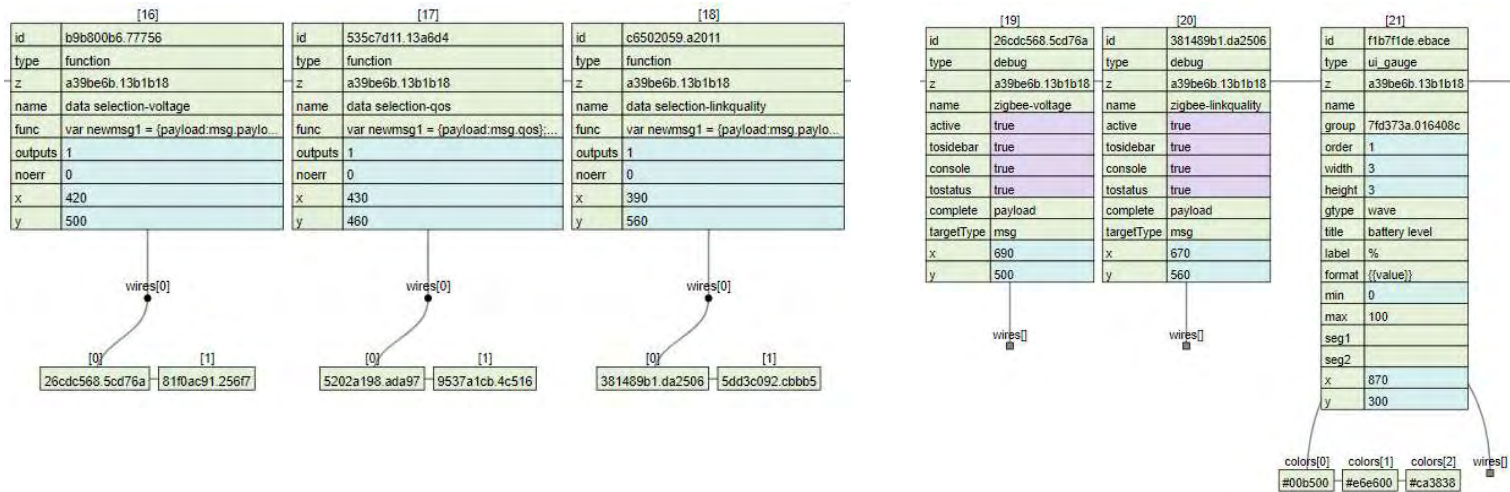
Διάγραμμα JSON των δεδομένων Zigbee



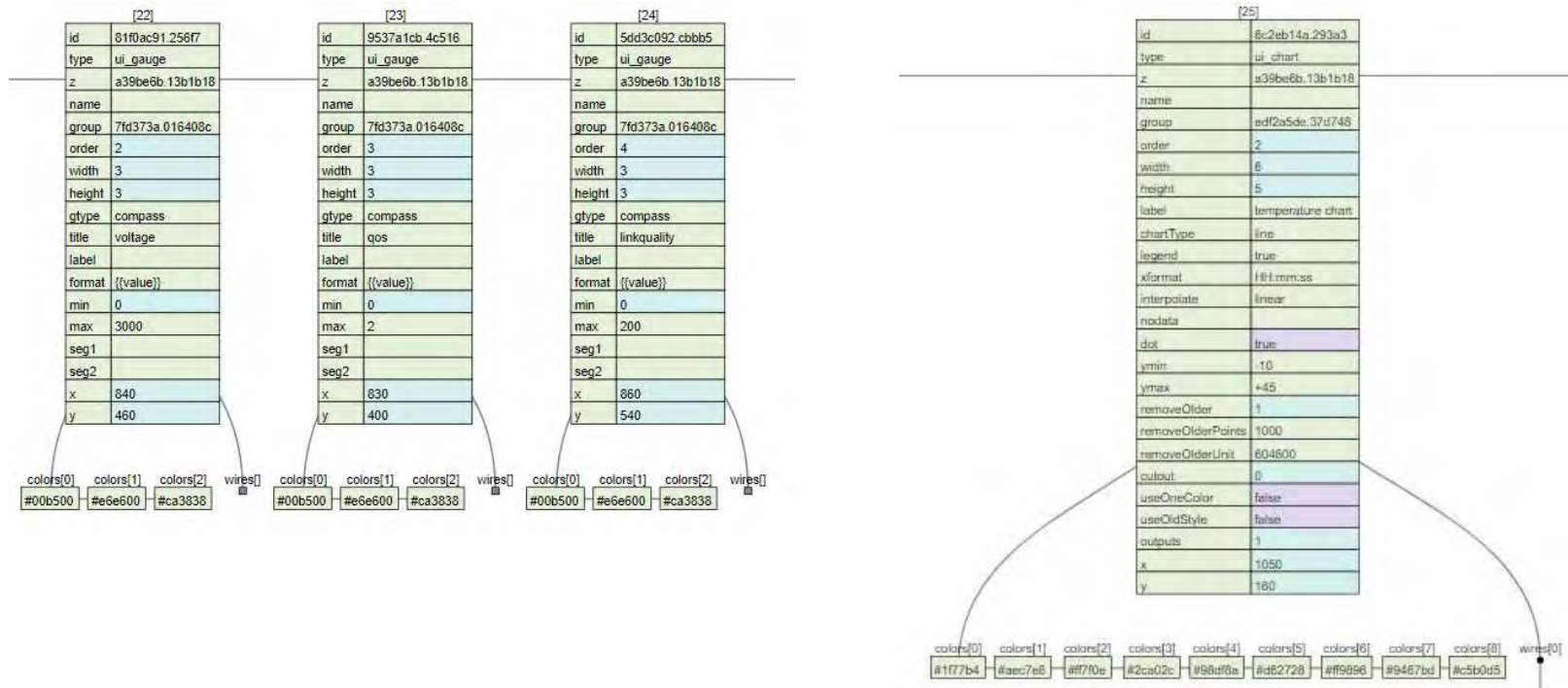
Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Zigbee



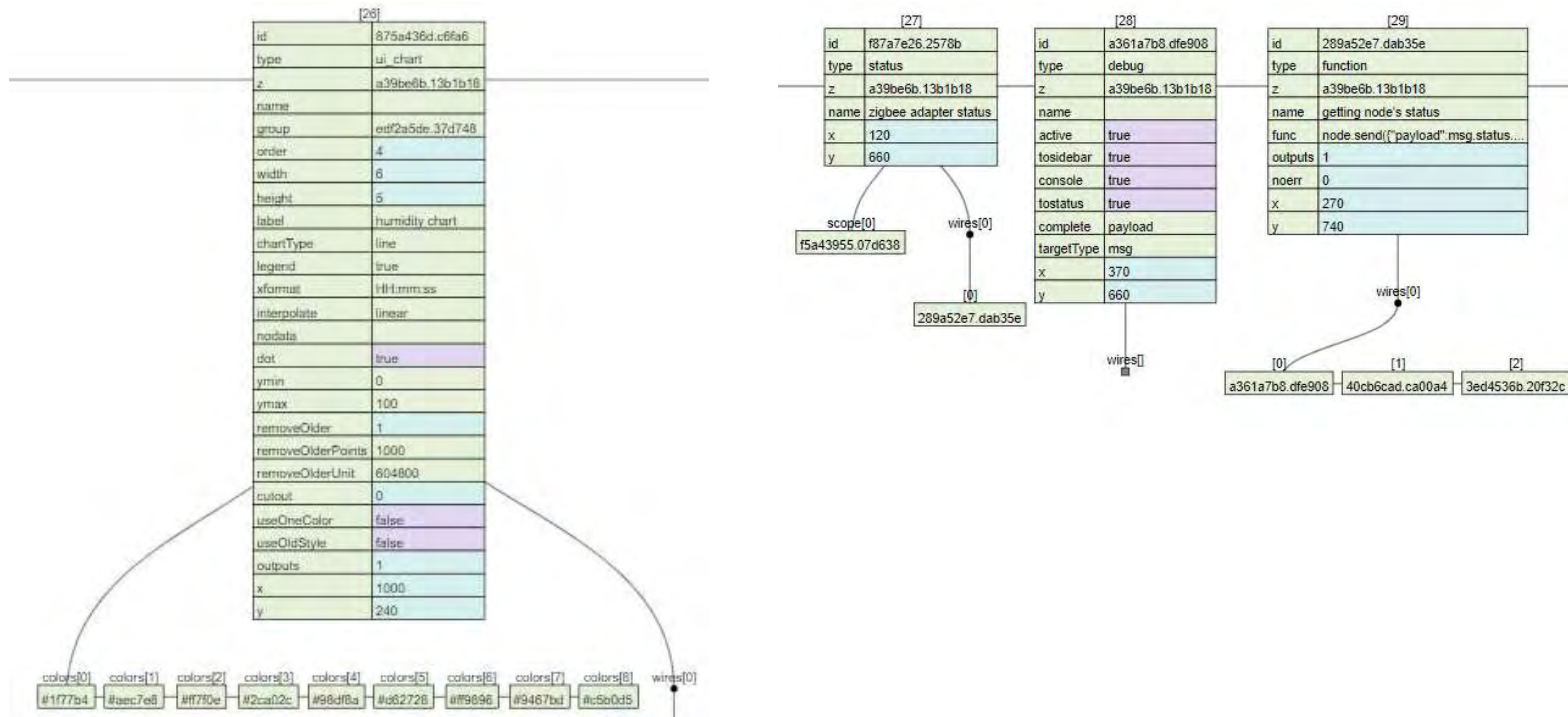
Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Zigbee



Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Zigbee



Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Zigbee



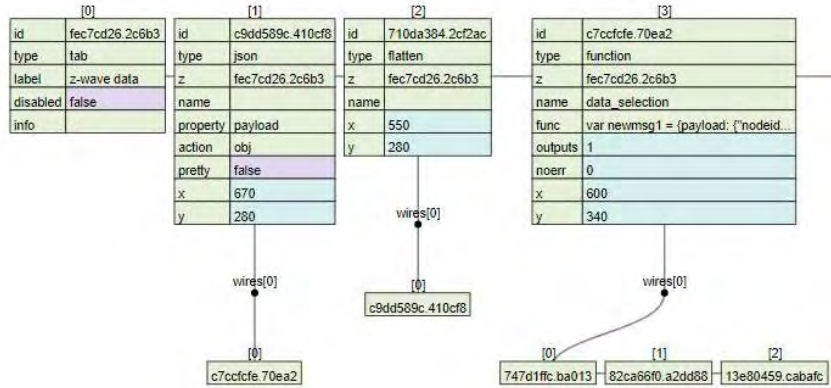
Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Zigbee

[30]		[31]		[32]		[33]	
id	3ed4538b.20f32c	id	40cb6cad.ca00a4	id	fca0a302.17f27	id	768b6fc7.85c3
type	influxdb out	type	ui_text	type	mqtt-broker	type	influxdb
z	a39be6b.13b1b18	z	a39be6b.13b1b18	z	a39be6b.13b1b18	z	
influxdb	768b6fc7.85c3	group	6268ed11.6bacf4	name		hostname	192.168.1.3
name		order	2	broker	localhost	port	8086
measurement	zigbee-adapter-status	width	0	port	1883	protocol	http
precision		height	0	clientid		database	xiaomi_data
retentionPolicy		name		useSsl	false	name	xiaomi
x	600	label	Zigbee status	compatmode	false	useSsl	false
y	740	format	{{msg.payload}}	keepalive	60	tls	
		layout	col-center	cleansession	true		
		x	530	birthTopic			
		y	860	birthQos	0		
				birthPayload			
				closeTopic			
				closeQos	0		
				closePayload			
				willTopic			
				willQos	0		
				willPayload			

[34]		[35]		[36]		[37]	
id	edf2a5de.37d748	id	7fd373a.016408c	id	6268ed11.6bacf4	id	97ab31e4.e607
type	ui_group	type	ui_group	type	ui_group	type	ui_tab
z		z		z		z	
name	sensors 1st floor	name	zigbee node	name	RF adapter status	name	sensor readings and graphs
tab	97ab31e4.e607	tab	15925fc1.8e618	tab	32f20b62.6356a4	icon	dashboard
order	1	order	1	order	1	order	1
disp	true	disp	true	disp	true	disabled	false
width	11	width	6	width	6	hidden	false
collapse	false	collapse	false	collapse	false		

[38]		[39]	
id	15925fc1.8e618	id	32f20b62.6356a4
type	ui_tab	type	ui_tab
z		z	
name	nodes status	name	RF adapter status
icon	dashboard	icon	dashboard
order	4	disabled	false
disabled	false	hidden	false
hidden	false		

Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave



Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave

[5]		[6]		[7]	
id	beea4ea2.85b2c	id	3648742.16aa08	id	5b11bba8.0b7a74
type	influxdb out	type	influxdb out	type	influxdb out
z	fec7cd26.2c6b3	z	fec7cd26.2c6b3	z	fec7cd26.2c6b3
influxdb	c37fb682.7373e8	influxdb	c37fb682.7373e8	influxdb	c37fb682.7373e8
name	zwave_battery_burglar	name	zwave_battery_luminance-f	name	zwave_battery_battery_lev
measurement	zwave_battery_burglar	measurement	zwave-battery-luminance-f	measurement	zwave_battery_battery_lev
precision		precision		precision	
retentionPolicy		retentionPolicy		retentionPolicy	
x	1440	x	1980	x	1860
y	280	y	420	y	540

wires[]

wires[]

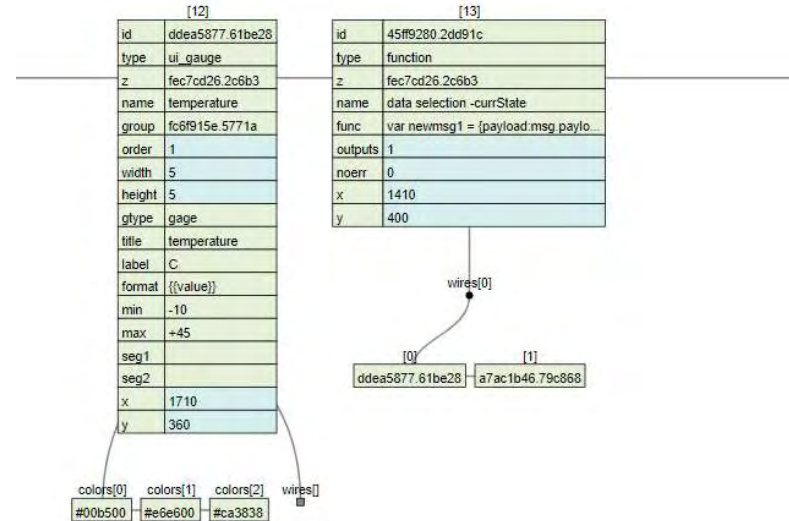
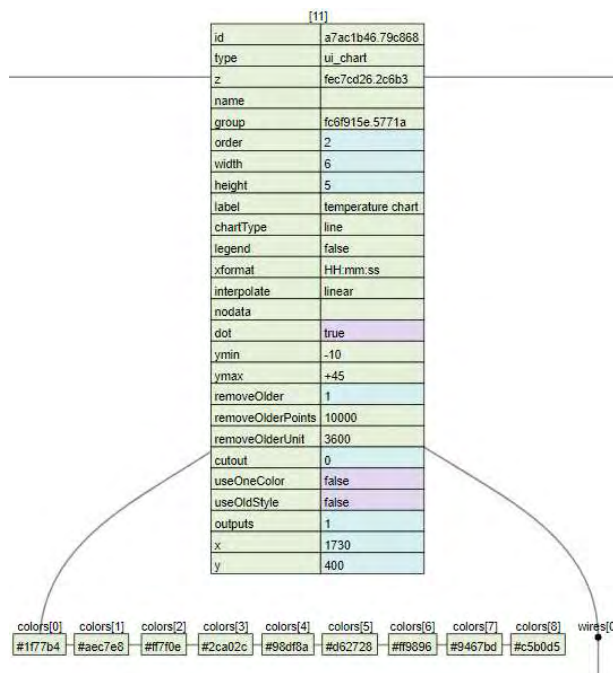
wires[]

[8]		[9]		[10]	
id	374c3b9c.693b54	id	45654728.e7e978	id	41d9e468.9f69bc
type	influxdb out	type	influxdb out	type	influxdb out
z	fec7cd26.2c6b3	z	fec7cd26.2c6b3	z	fec7cd26.2c6b3
influxdb	c37fb682.7373e8	influxdb	c37fb682.7373e8	influxdb	c37fb682.7373e8
name	zwave-actuator-level-output-1	name	zwave-actuator-energy-output-1-f	name	zwave-actuator-power-output-1
measurement	zwave-actuator-level-output-1	measurement	zwave-actuator-energy-output-1-f	measurement	zwave-actuator-power-output-1
precision		precision		precision	
retentionPolicy		retentionPolicy		retentionPolicy	
x	1730	x	1840	x	1770
y	600	y	660	y	760

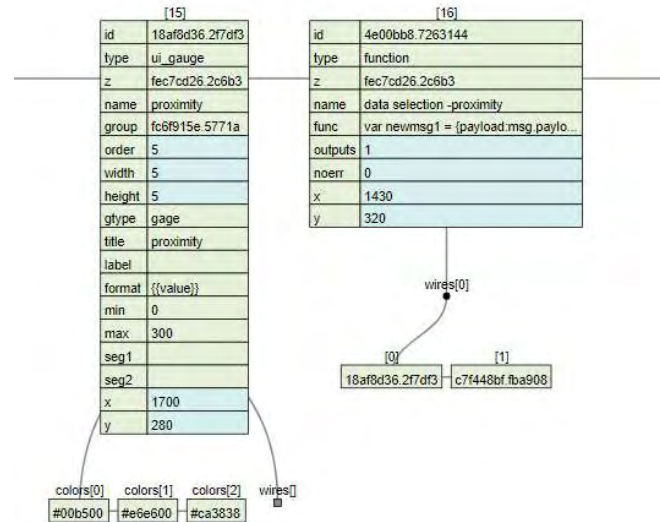
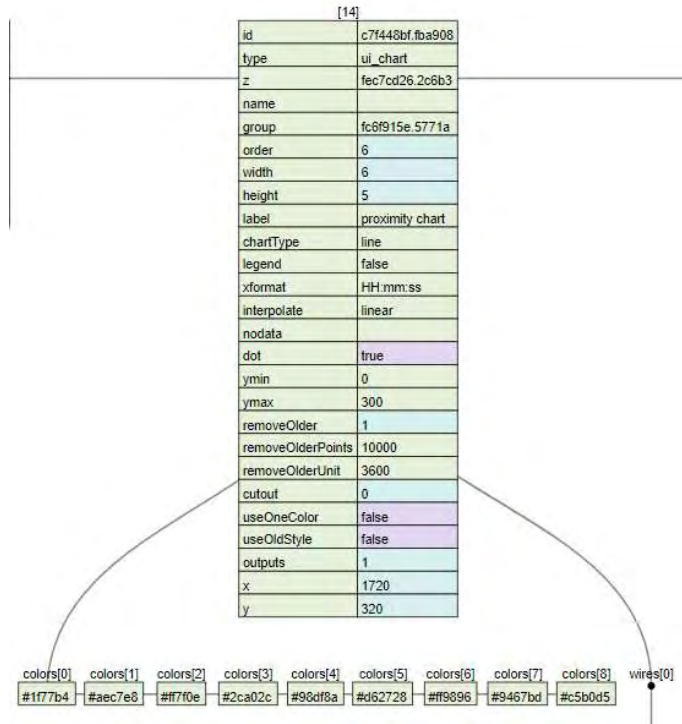
wires[]

wires[]

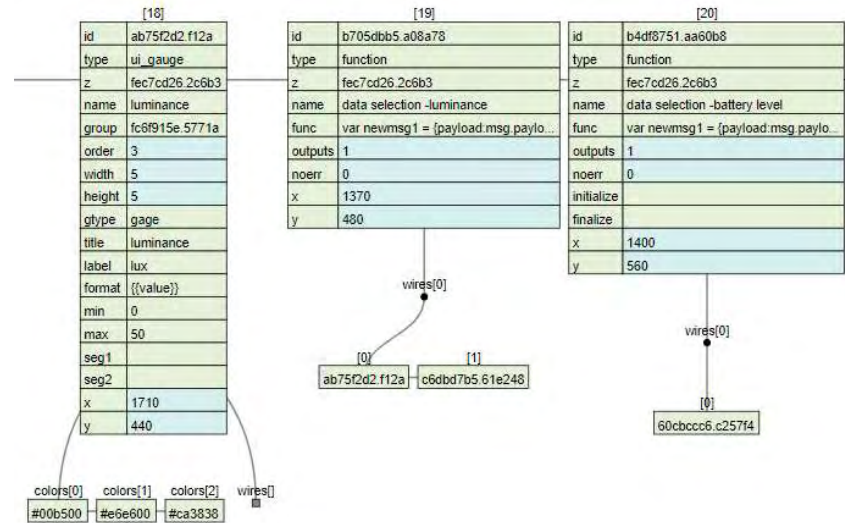
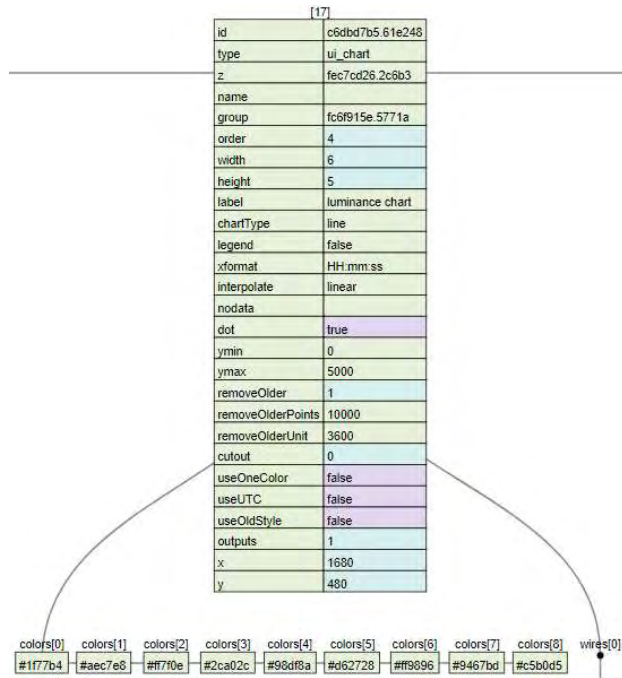
wires[]



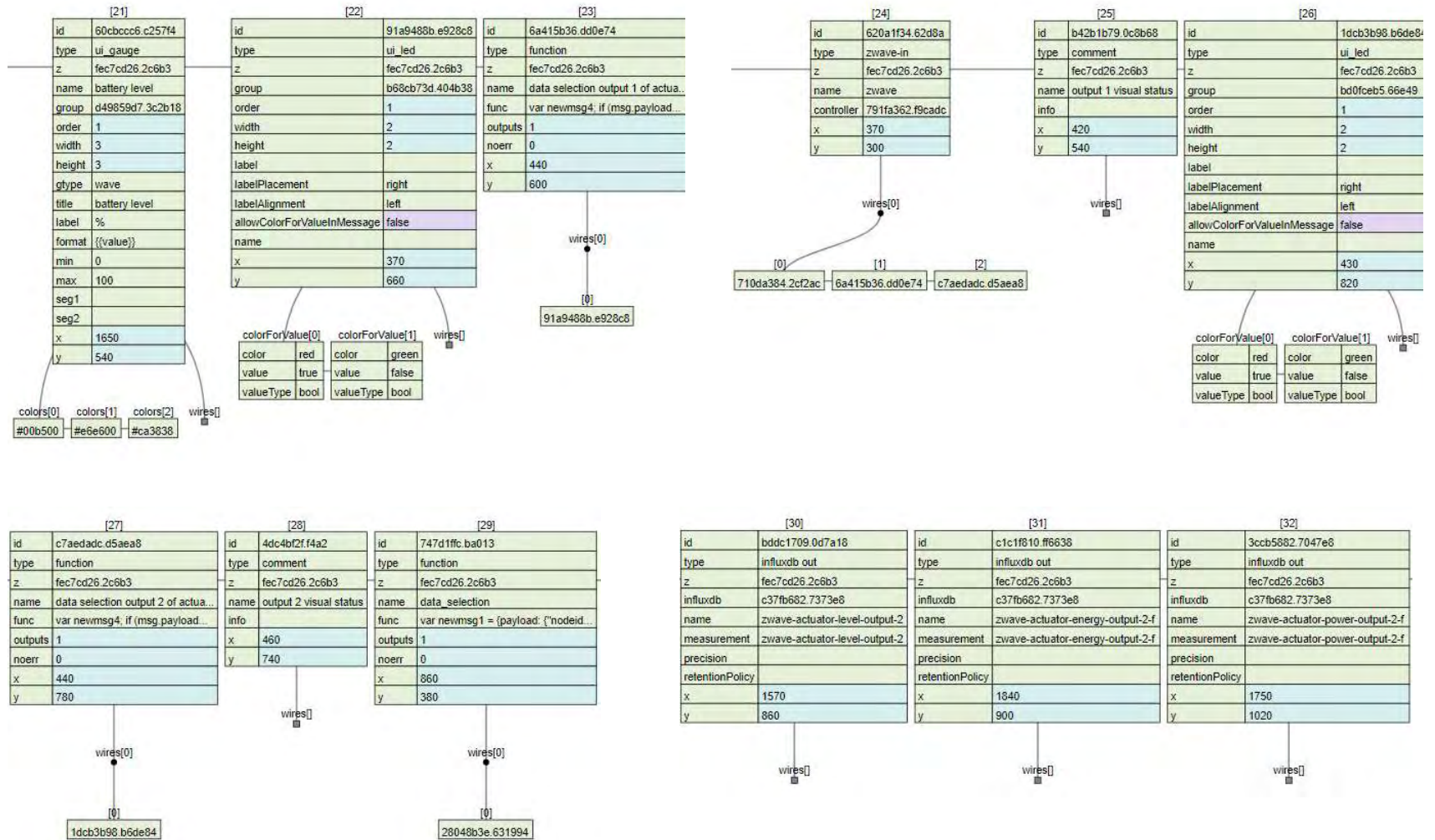
Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave



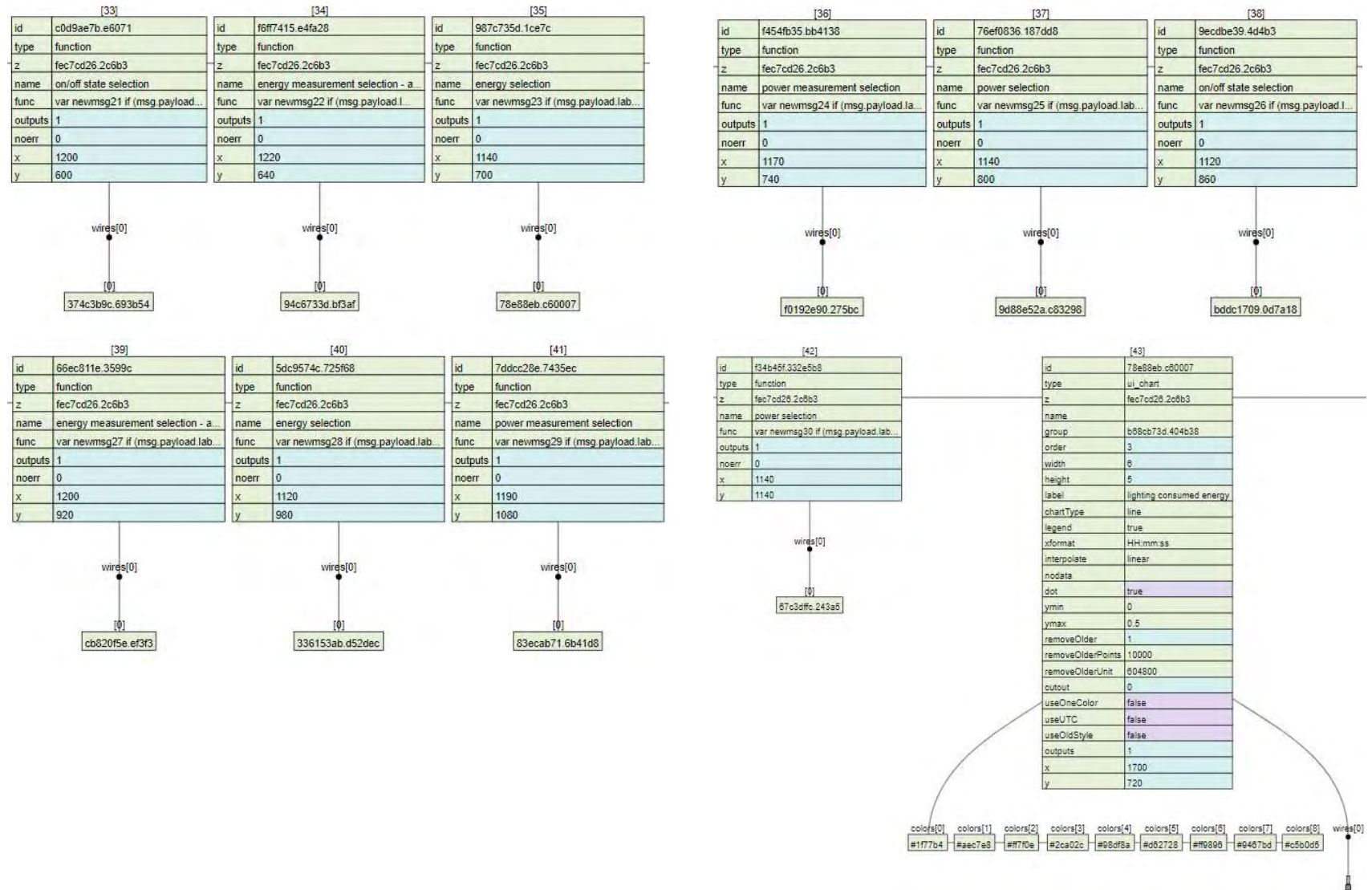
Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave



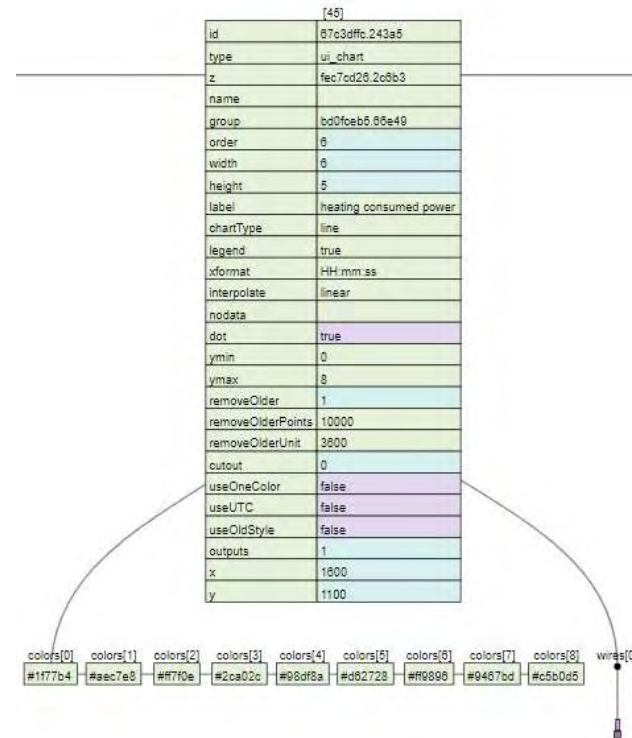
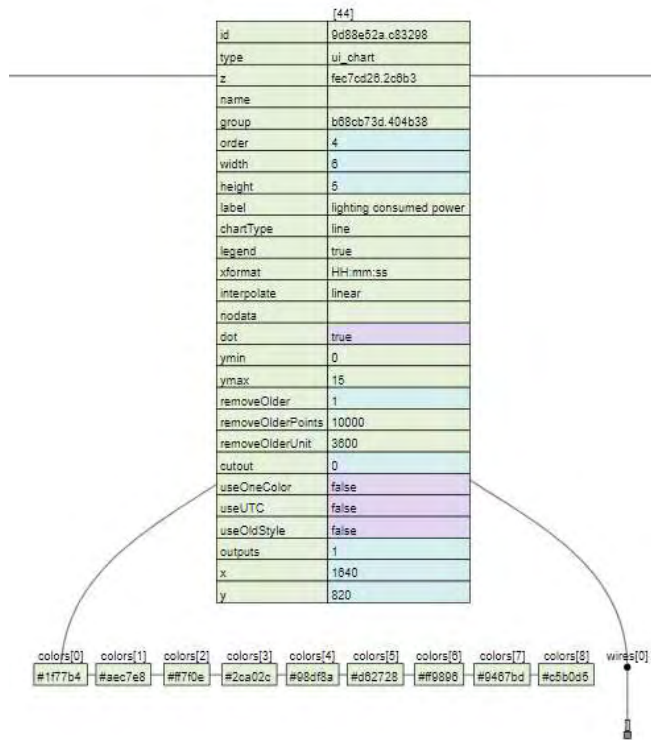
Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave



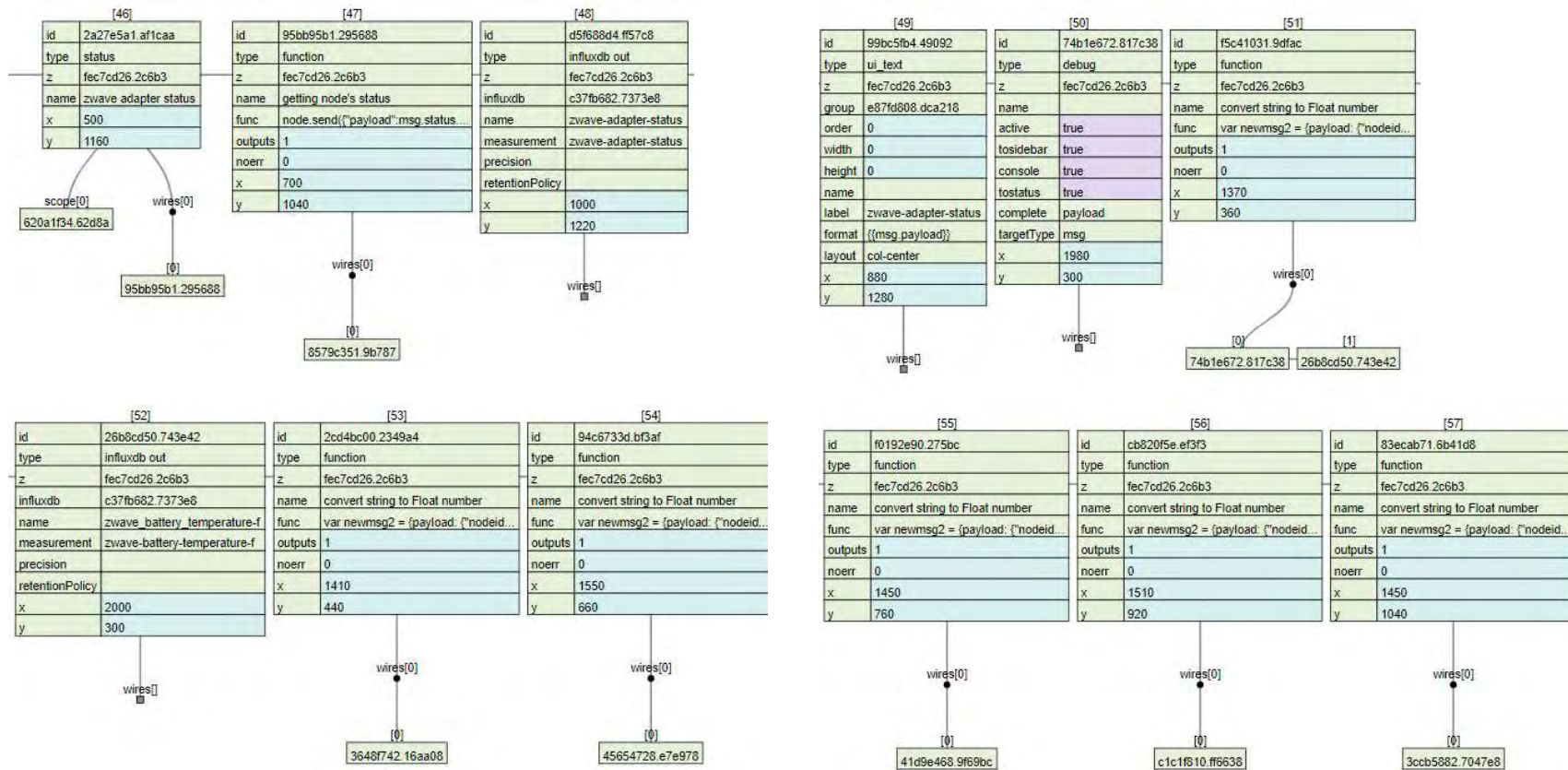
Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave



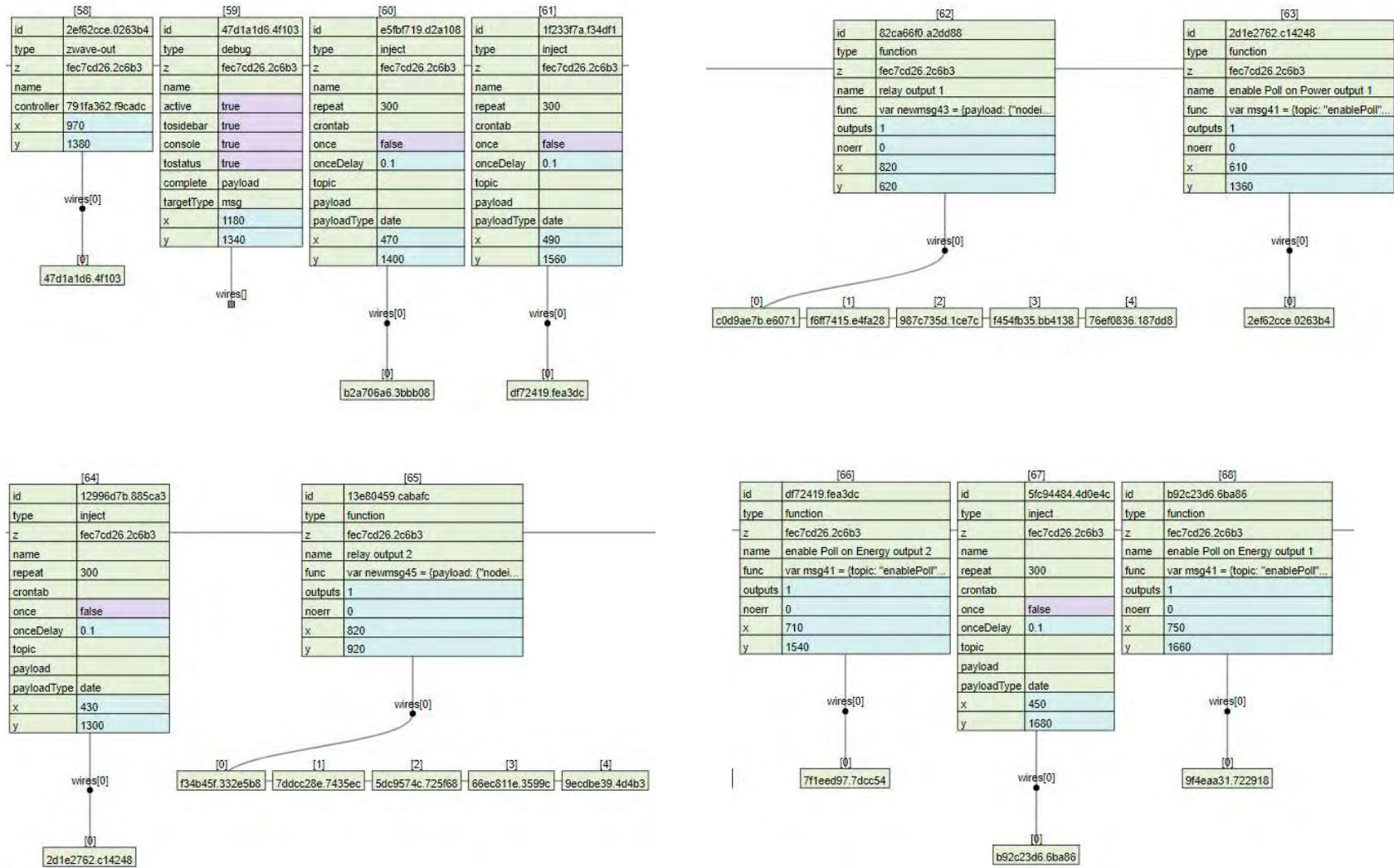
Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave



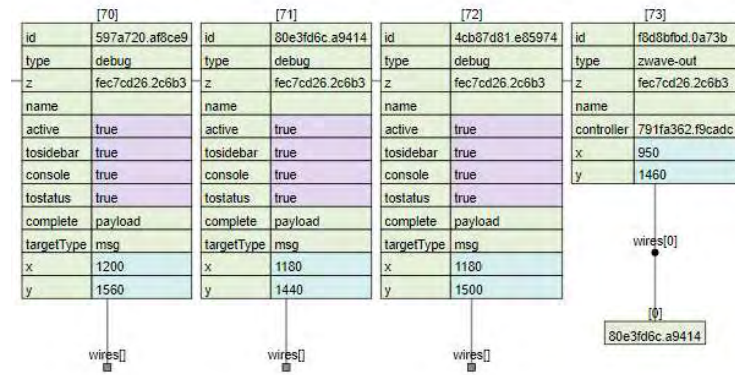
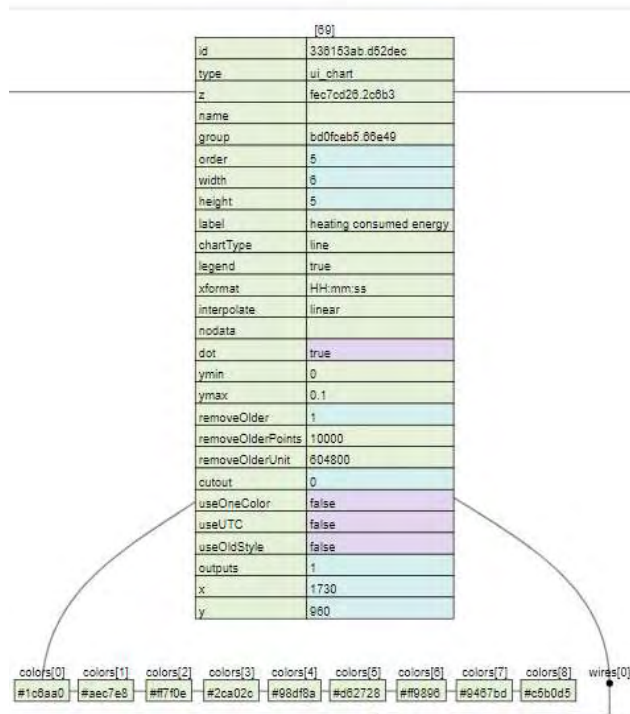
Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave



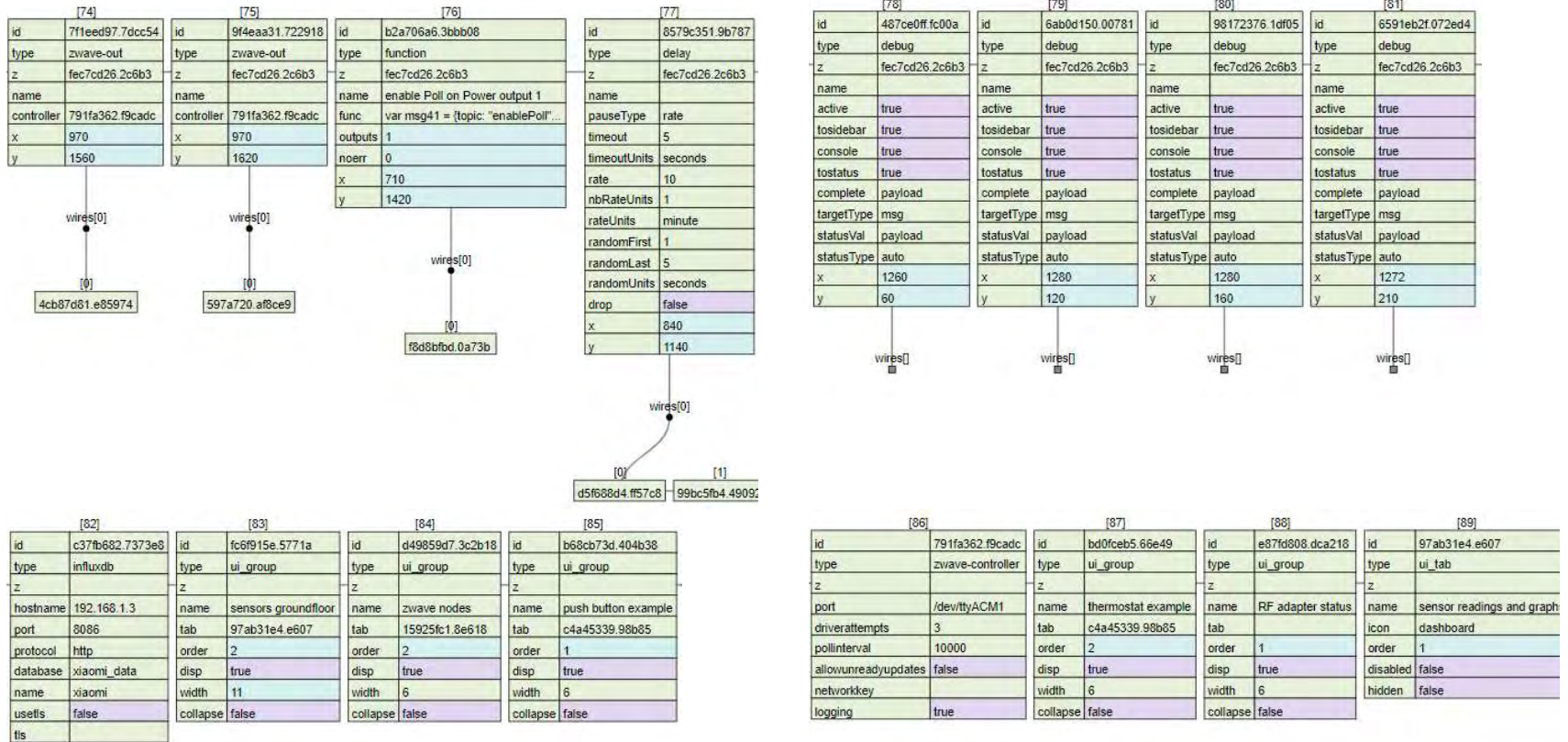
Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave



Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave



Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave

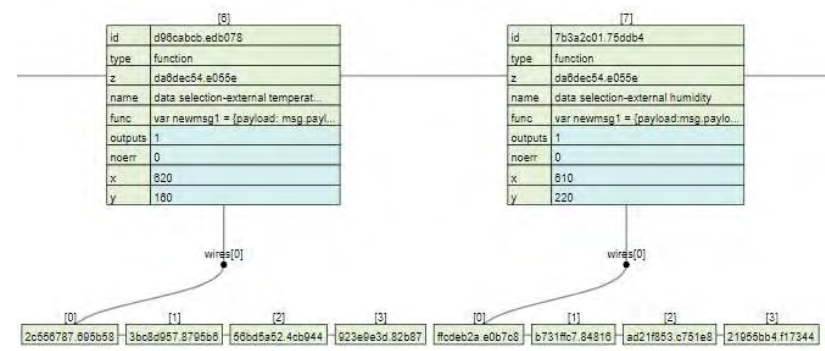
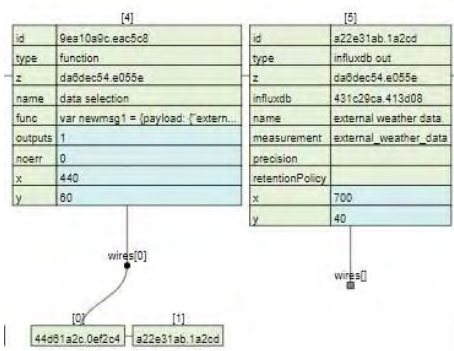
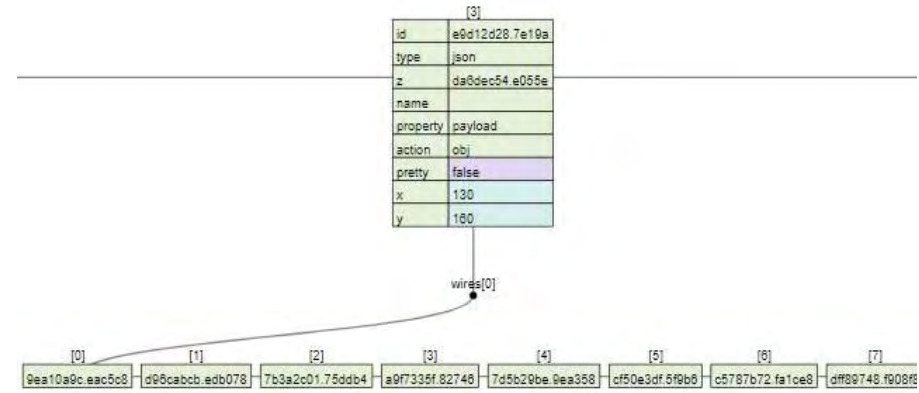
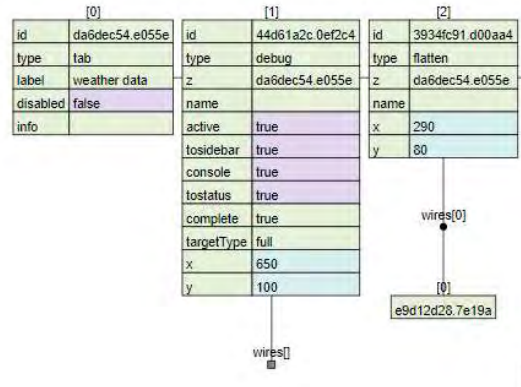


Παράρτημα Διάγραμμα JSON των δεδομένων Z-Wave

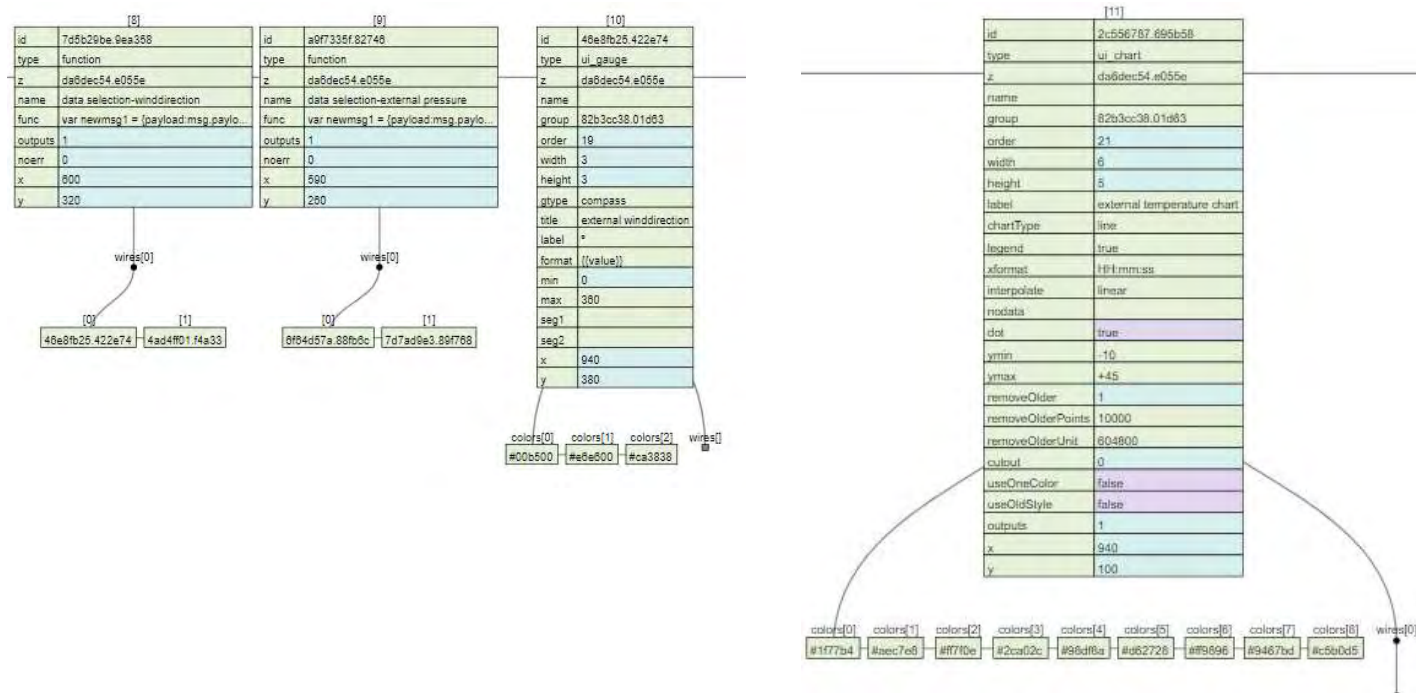
[90]		[91]	
id	15925fc1.8e618	id	c4a45339.98b85
type	ui_tab	type	ui_tab
z		z	
name	nodes status	name	automation
icon	dashboard	icon	dashboard
order	4	order	3
disabled	false	disabled	false
hidden	false	hidden	false

Παράρτημα Διάγραμμα JSON του OpenWeatherMap API

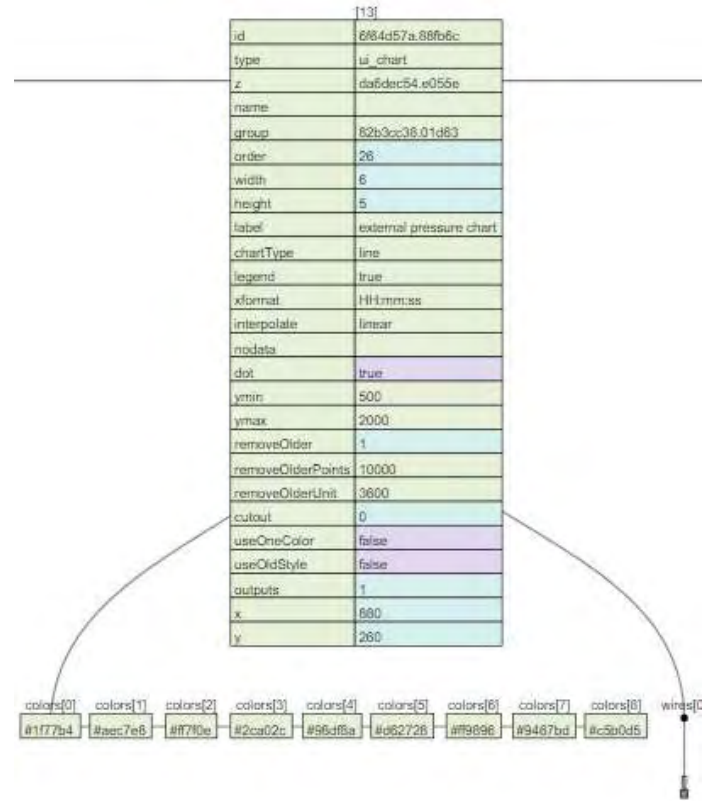
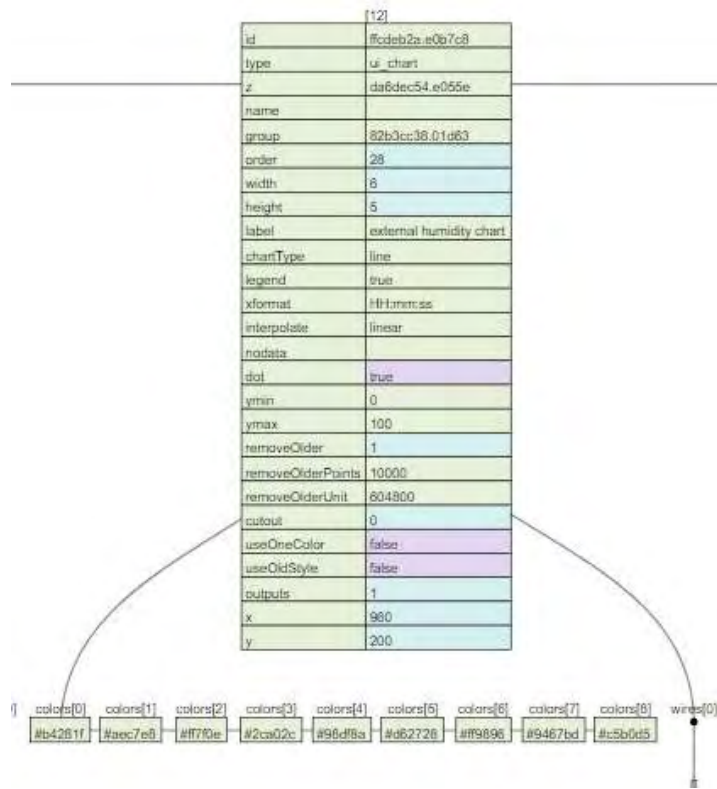
Διάγραμμα JSON του OpenWeatherMap API



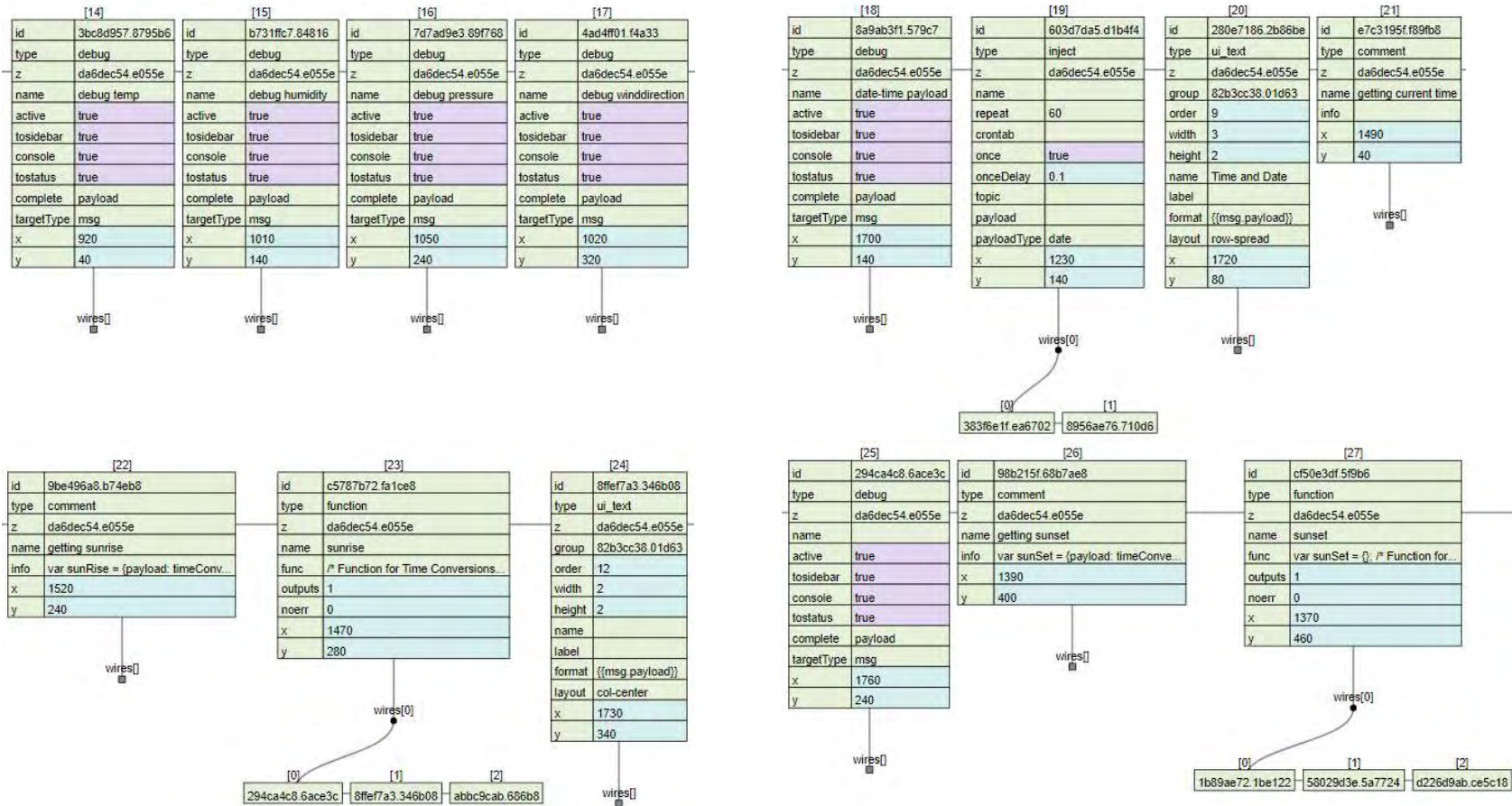
Παράρτημα Διάγραμμα JSON του OpenWeatherMap API



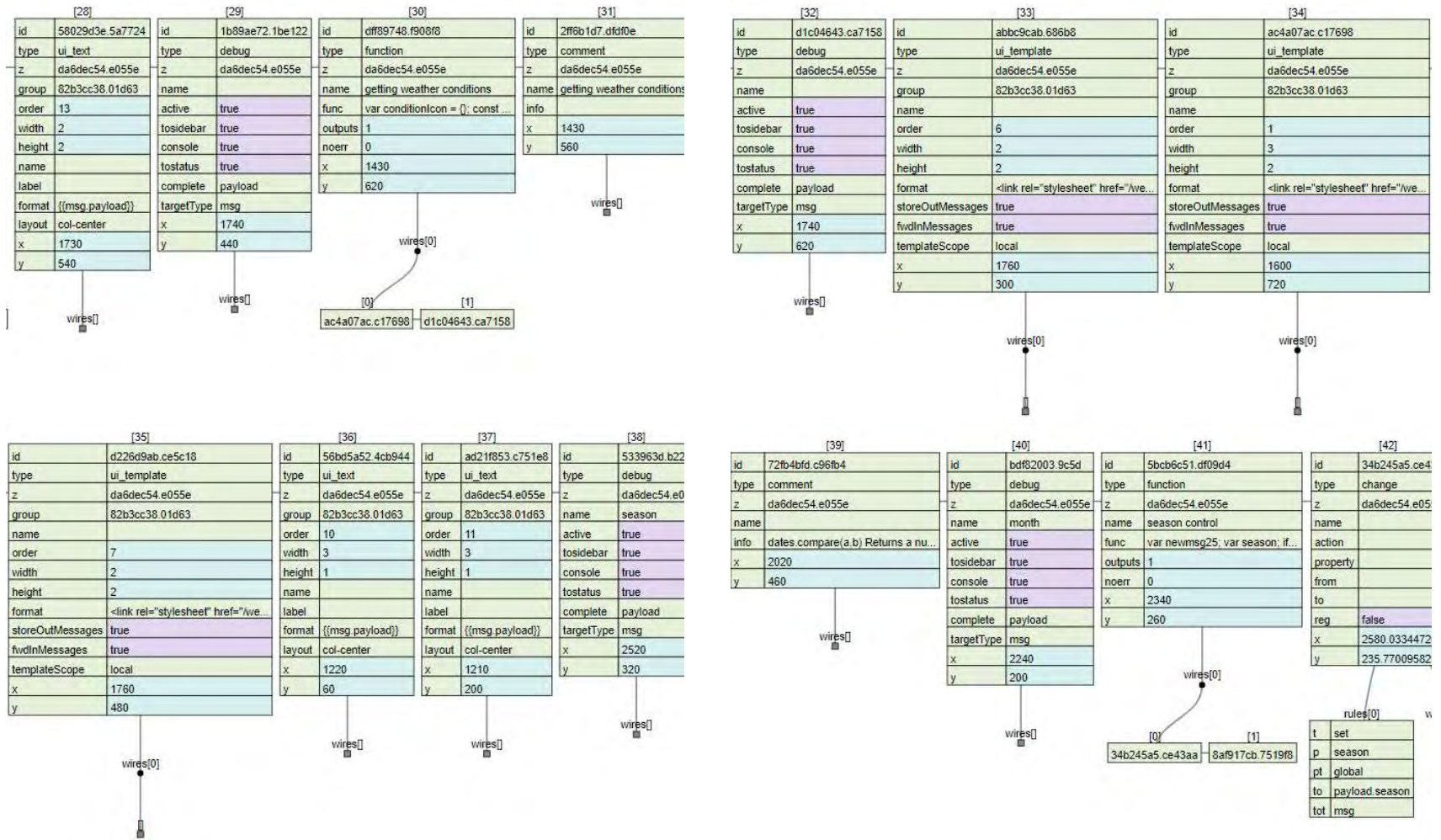
Παράρτημα Διάγραμμα JSON του OpenWeatherMap API



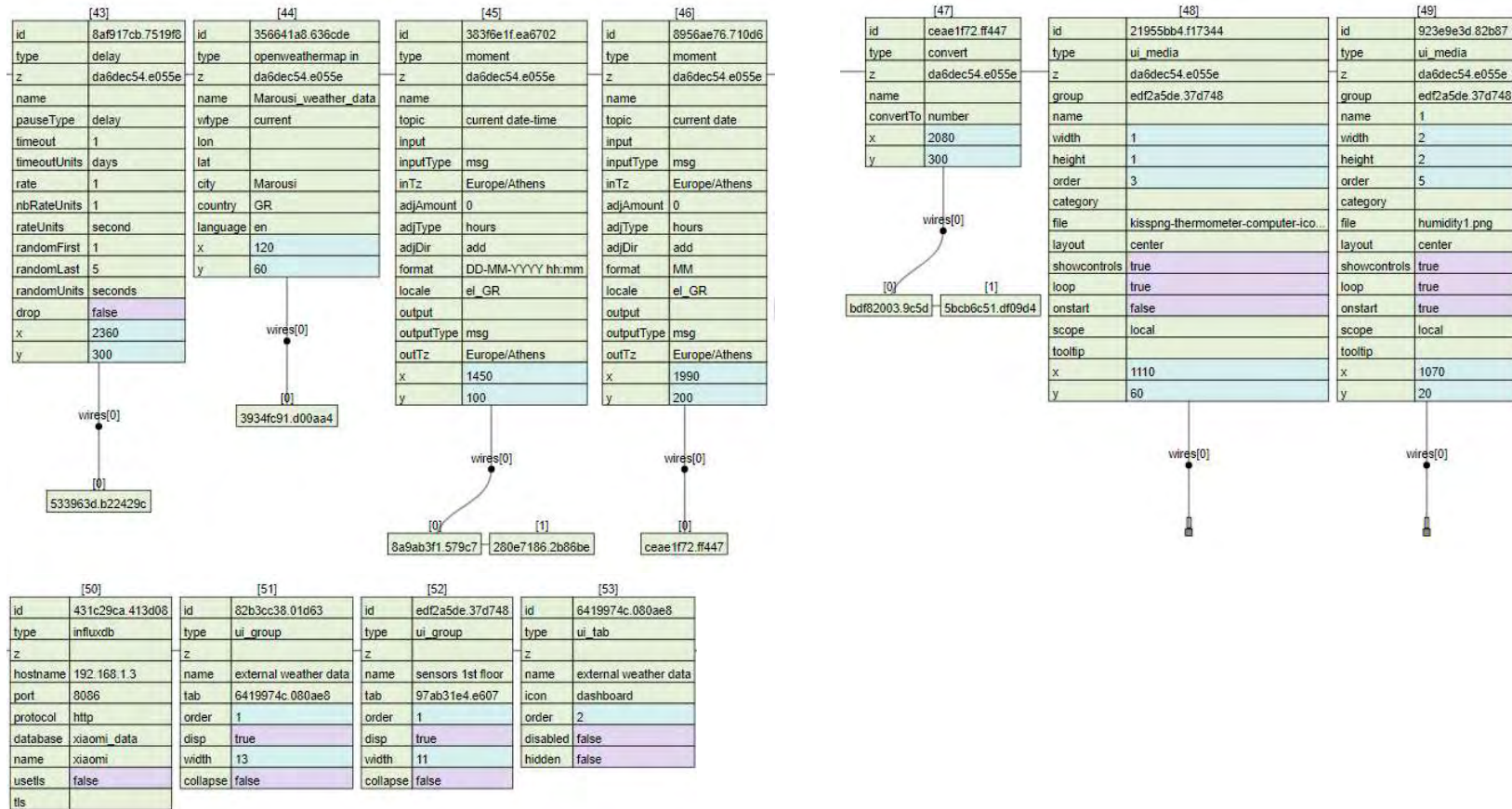
Παράρτημα Διάγραμμα JSON του OpenWeatherMap API



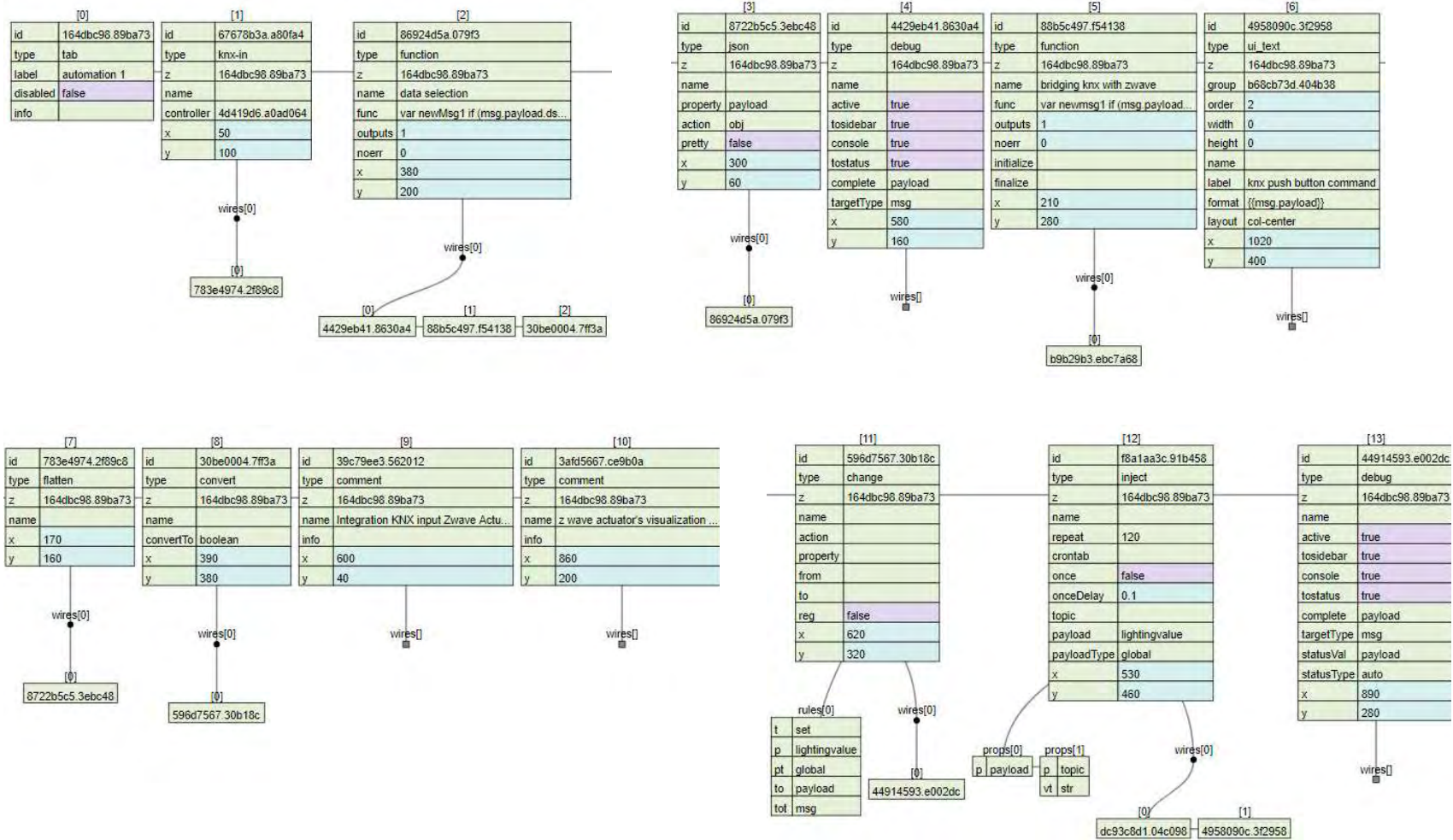
Παράρτημα Διάγραμμα JSON του OpenWeatherMap API



Παράρτημα Διάγραμμα JSON του OpenWeatherMap API



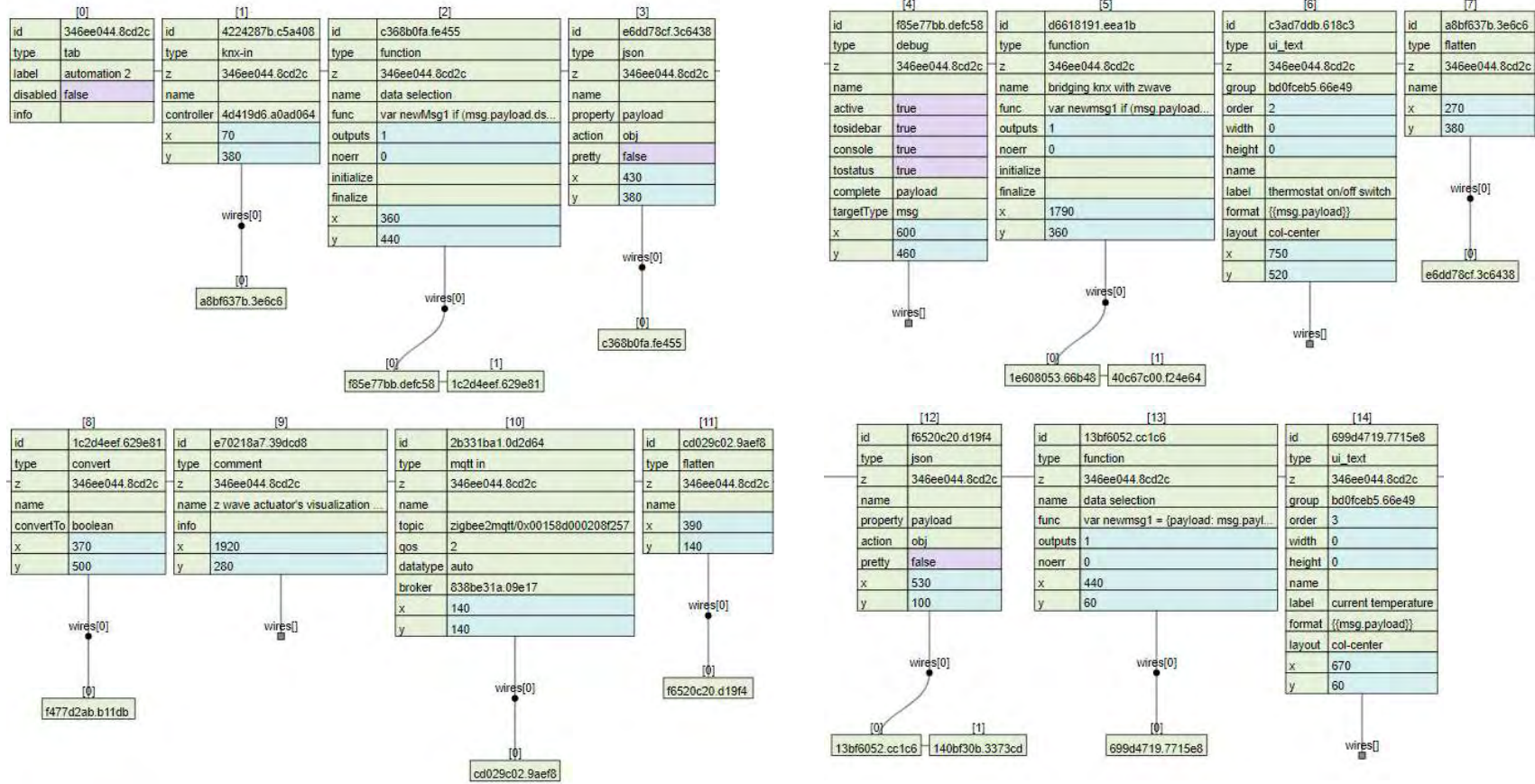
Διάγραμμα JSON της εντολής μπουτόν χειρισμού φωτισμού



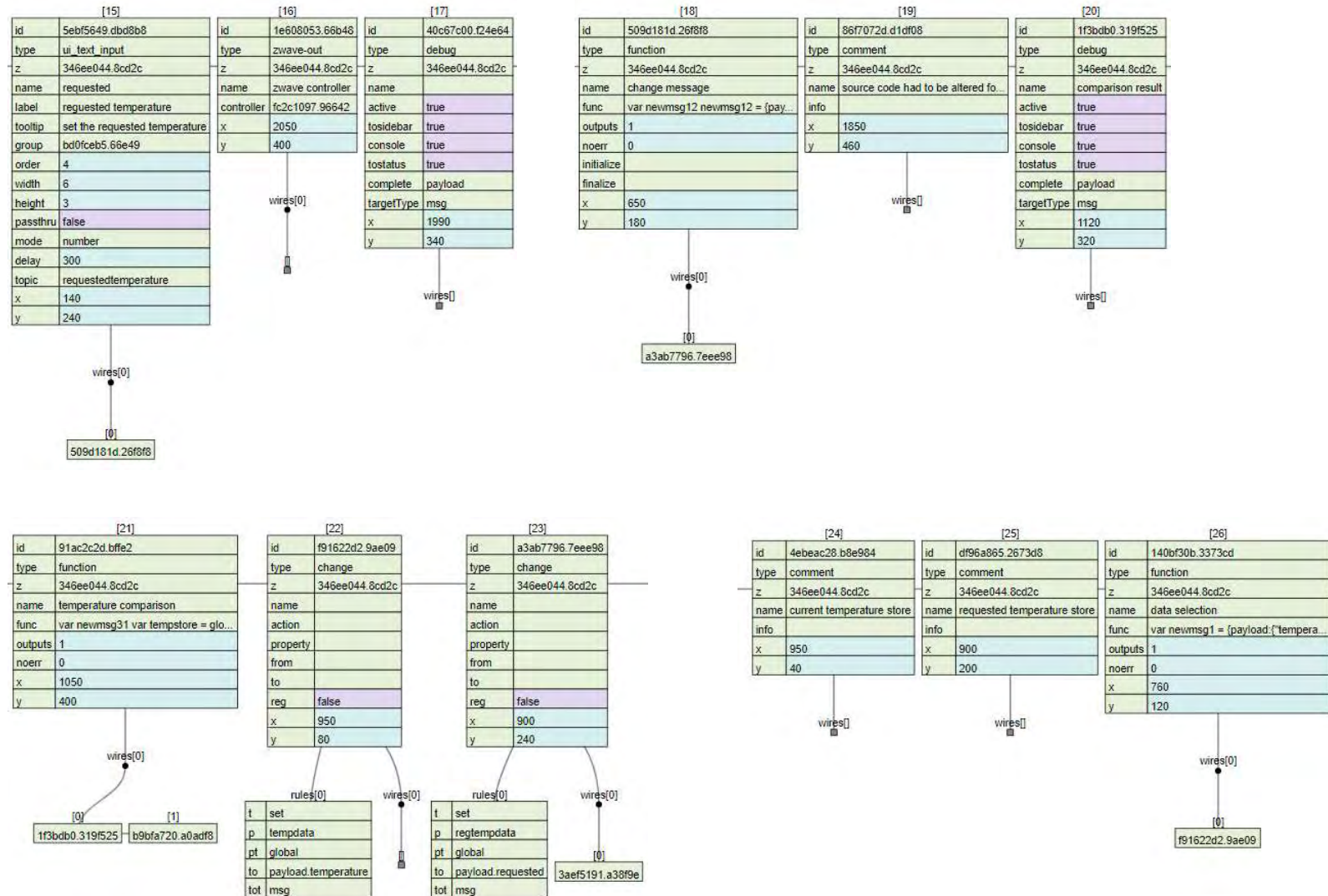
Παράρτημα Διάγραμμα JSON της εντολής μπουτόν χειρισμού φωτισμού



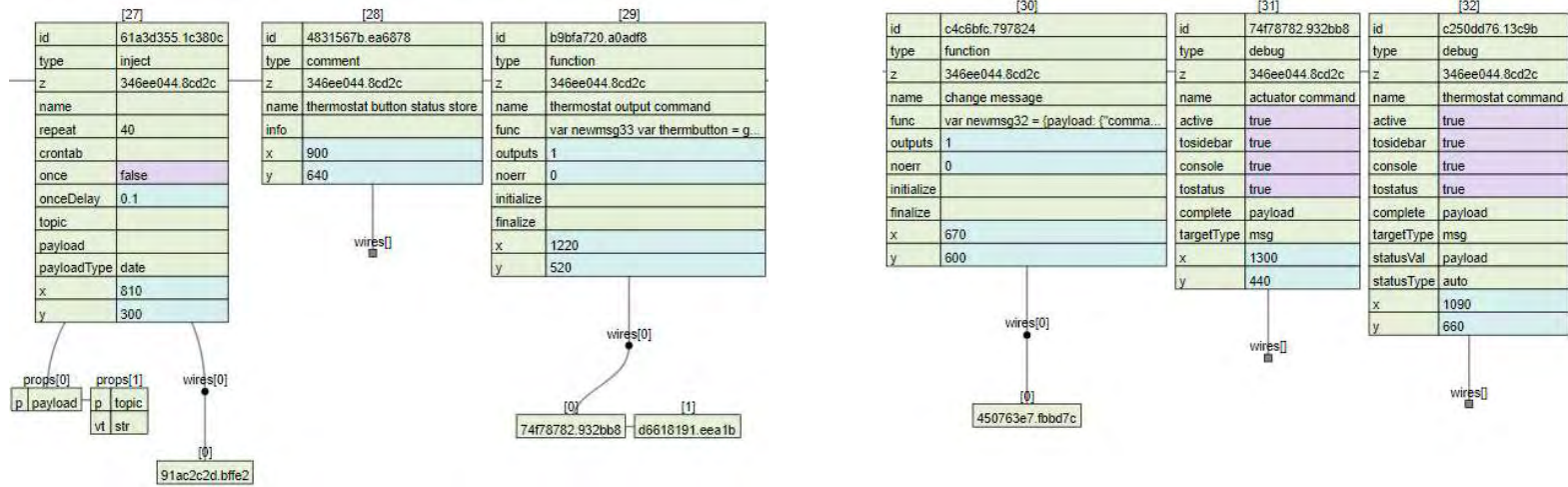
Διάγραμμα JSON της λειτουργίας θερμοστάτη



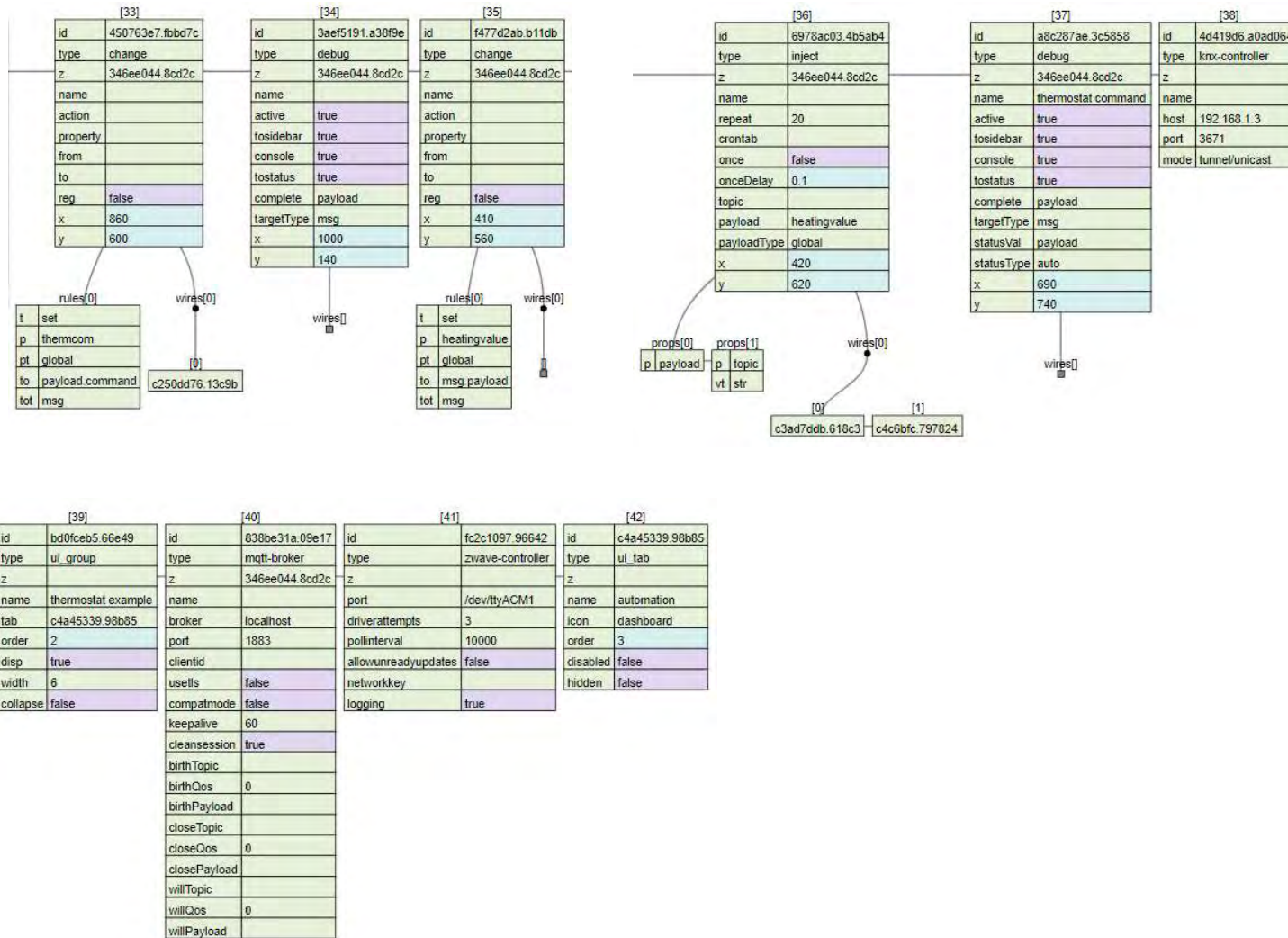
Παράρτημα Διάγραμμα JSON της λειτουργίας θερμοστάτη



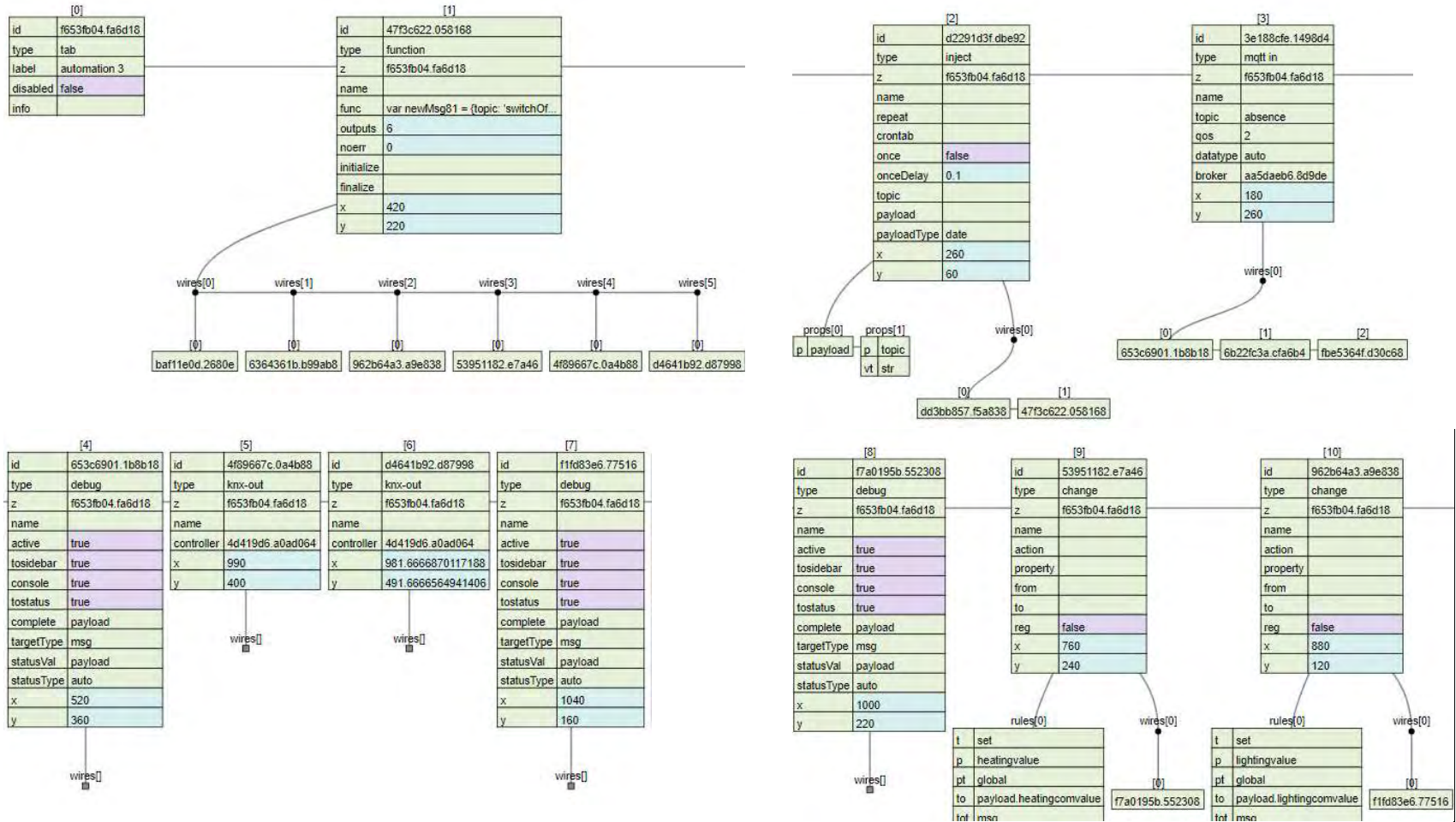
Παράρτημα Διάγραμμα JSON της λειτουργίας θερμοστάτη



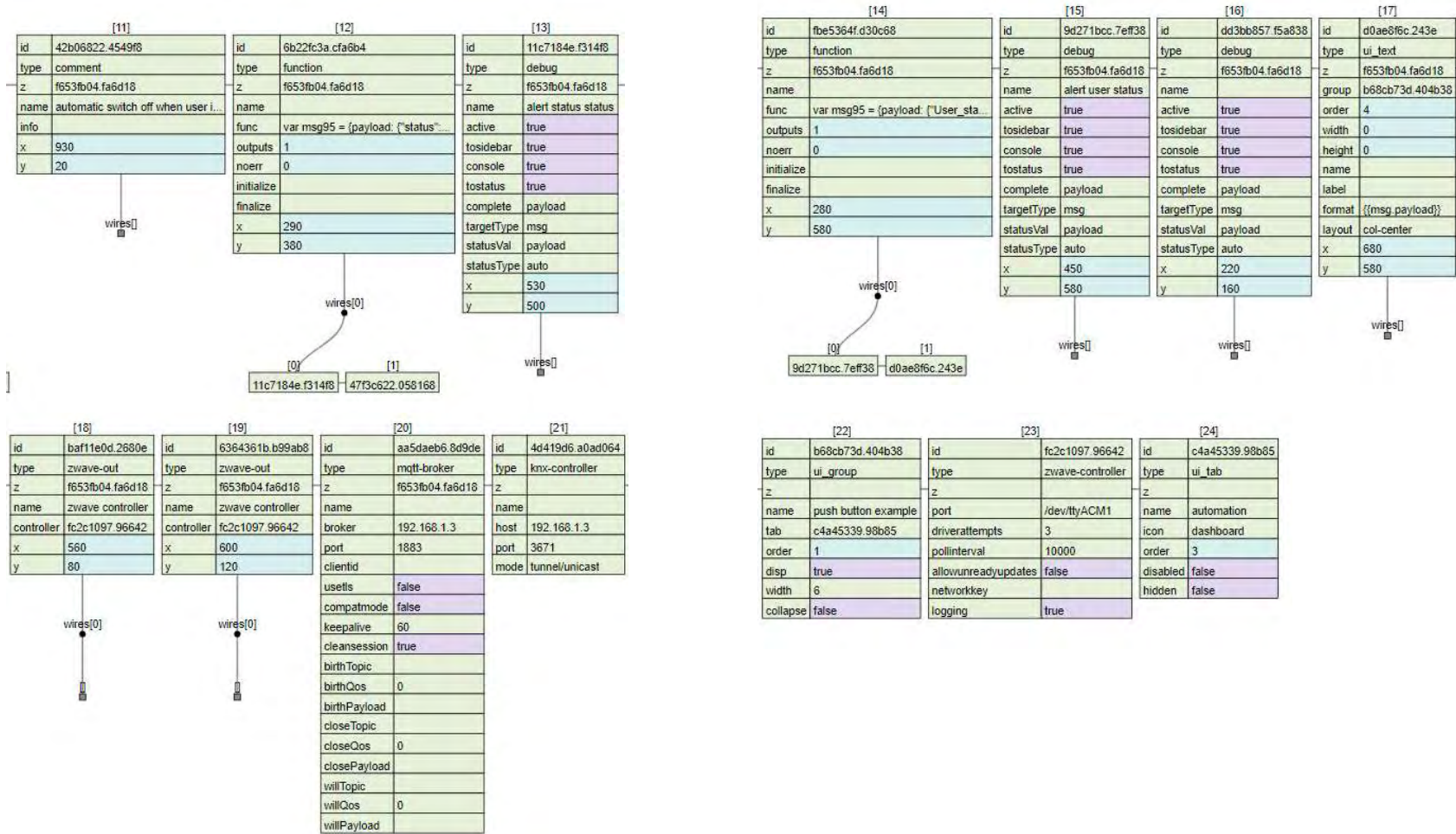
Παράρτημα Διάγραμμα JSON της λειτουργίας θερμοστάτη



Διάγραμμα JSON του Direct Control Load θέρμανσης & φωτισμού λόγω απουσίας χρήστη

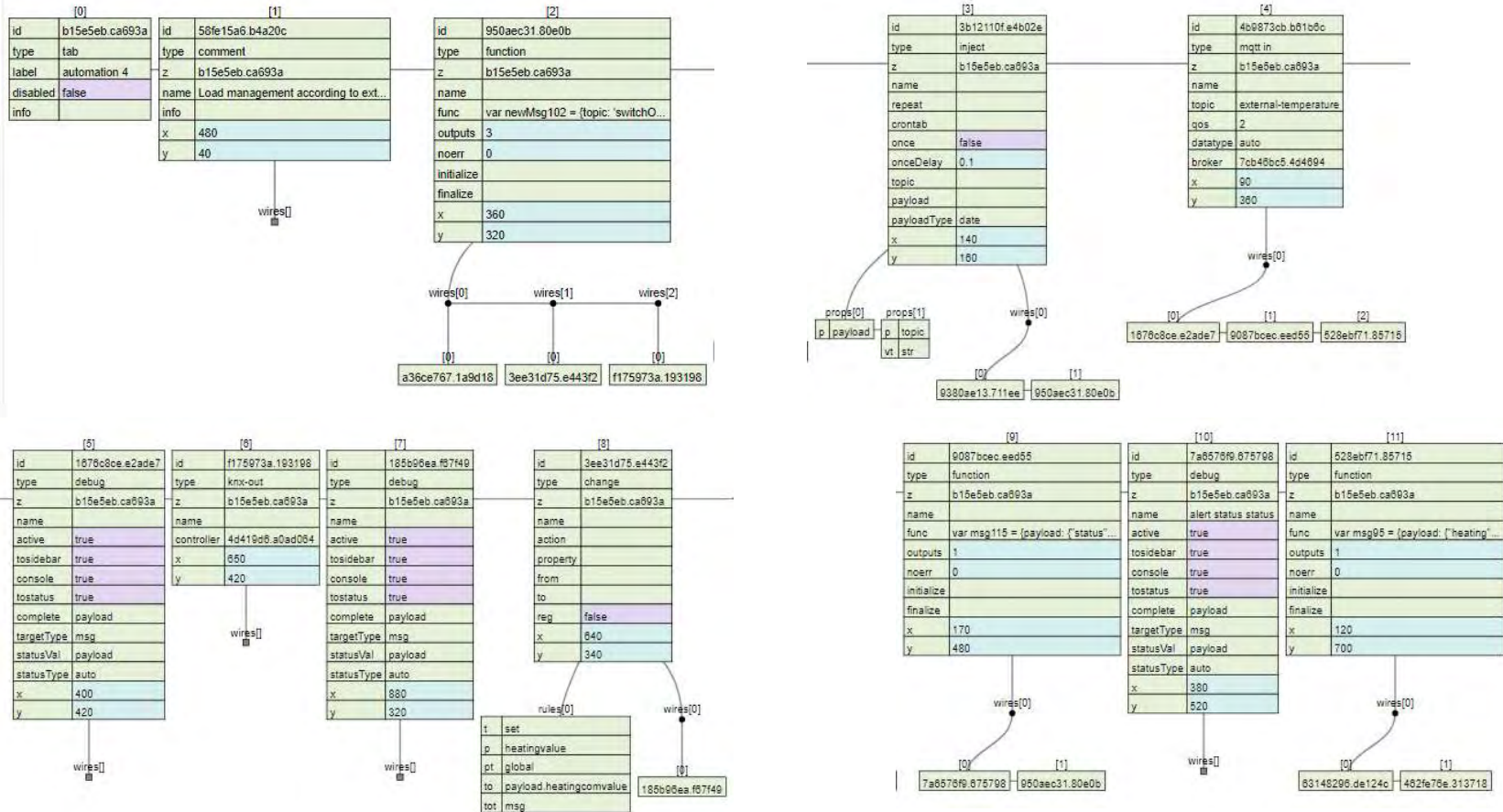


Παράρτημα Διάγραμμα JSON του Direct Control Load θέρμανσης & φωτισμού λόγω απουσίας χρήστη



Παράρτημα Διάγραμμα JSON του του Direct Control Load θέρμανσης λόγω εξ. θερμοκρασίας

Διάγραμμα JSON του του Direct Control Load θέρμανσης λόγω εξ. θερμοκρασίας



Παράρτημα Διάγραμμα JSON του του Direct Control Load θέρμανσης λόγω εξ. θερμοκρασίας

