



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΚΗΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΑΚΟ
ΤΟΜΕΑ**

Διπλωματική Εργασία

Φέγγαρης Γεώργιος

Επιβλέπων: Δούκας (Χάρης) Χρυσόστομος

Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΚΗΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΑΚΟ
ΤΟΜΕΑ**

Διπλωματική Εργασία

Φέγγαρης Γεώργιος

Επιβλέπων: Χρυσόστομος (Χάρης) Δούκας

Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 16/02/2022.

.....

Χ. Δούκας

Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Ι. Ψαρράς

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Δ. Ασκούνης

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2022

... ..

Φέγγαρης Γεώργιος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών ΕΜΠ

Copyright © Φέγγαρης Γεώργιος, 2022.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματός της, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Χρυσόστομο Δούκα, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα πραγματικά ενδιαφέρον θέμα. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον Υποψήφιο Διδάκτορα Κωνσταντίνο Κοασίδη για τη συνεχή και αμέριστη βοήθεια, επιστημονική καθοδήγηση, αρμονική συνεργασία και συμπαράσταση που μου προσέφερε καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Με το κλείσιμο ενός ακόμα κύκλου σπουδών, του κύκλου των μεταπτυχιακών σπουδών, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για τη δυνατότητα που μου έδωσε να φτάσω μέχρι και εδώ με κόπους και θυσίες, όπως επίσης σε όλους όσους ήταν στο πλευρό μου όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Στις μέρες μας παρατηρείται μεγάλη αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και των απαιτήσεων για μεγαλύτερη αξιοπιστία στην παροχή της και υψηλότερη ποιότητα ισχύος. Παράλληλα, η Συμφωνία του Παρισιού θέτει φιλόδοξους στόχους σε μία σειρά κρατών και κυβερνήσεων για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με στόχο την αντιστροφή της κλιματικής αλλαγής καταδεικνύοντας ως τον πιο ρυπογόνο τομέα τον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε αυτή τη βάση, σήμερα η ανθρωπότητα βρίσκεται σε μία περίοδο ενεργειακής μετάβασης με βασικό χαρακτηριστικό την αναζήτηση φιλικών προς το περιβάλλον τρόπων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πλαίσιο της ενεργειακής μετάβασης, ολοένα σπουδαιότερο ρόλο αποκτά και η εξοικονόμηση ενέργειας. Οι προσπάθειες επικεντρώνονται κυρίως στον κτηριακό τομέα ενώ ιεραρχείται ιδιαίτερα η εξοικονόμηση ενέργειας στον οικιακό τομέα. Παράλληλα, μία σειρά ερευνών και μελετών αναδεικνύει την αξία της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας στον οικιακό τομέα και την ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων υποστήριξης της με κατάλληλη αξιοποίηση των δεδομένων των συσκευών, των μετρητών και των αισθητήρων που βρίσκονται σήμερα σε ένα «έξυπνο» διαμέρισμα.

Ως βασικό πρόβλημα στην ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας αναδεικνύεται η σημασιολογική διαλειτουργικότητα των «έξυπνων» συσκευών. Μια ολοένα διευρυνόμενη άποψη προκρίνει την ανάπτυξη κατάλληλων οντολογιών για την υπέρβαση του προβλήματος.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνάται η δυνατότητα ανάπτυξης οντολογίας για την υποστήριξη της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας στο επίπεδο ενός διαμερίσματος.

Ειδικότερα, στο Κεφάλαιο I, αναλύονται το πλαίσιο μέσα στο οποίο εντάσσεται η διπλωματική εργασία και το πρόβλημα το οποίο επιχειρεί να διευθετήσει. Δίνονται οι ορισμοί της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας και της οντολογίας και προσδιορίζεται ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας.

Στο Κεφάλαιο II, πραγματοποιείται εκτενής αναφορά στις κυριότερες οντολογίες που έχουν αναπτυχθεί μέχρι στιγμής για την υποστήριξη εφαρμογών εξοικονόμησης ενέργειας. Αναδεικνύεται ως βασικό ζητούμενο κάθε οντολογία που αναπτύσσεται να μπορεί να αξιοποιηθεί πρακτικά ώστε να παράγει αξία σε πραγματικές συνθήκες.

Στο Κεφάλαιο III, περιγράφεται αναλυτικά η οντολογία που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας καθώς και το λογισμικό PROTÉGÉ που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξή της. Αποτυπώνεται η δυνατότητα επεξεργασίας, τροποποίησης και επέκτασης της οντολογίας μέσω του προγράμματος PROTÉGÉ ώστε να μπορεί να καλύπτει ένα ολοένα διευρυνόμενο φάσμα εφαρμογών.

Στο Κεφάλαιο IV, αναδεικνύεται με την ανάπτυξη κατάλληλου σεναρίου η δυνατότητα να συνδεθεί η οντολογία με ένα σύνολο κανόνων και αλγορίθμων για την ανάπτυξη ενός συστήματος υποστήριξης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας στο επίπεδο ενός διαμερίσματος μέσω της αποστολής μηνυμάτων προς το χρήστη. Αποτυπώνεται ως κύρια συμβολή της οντολογίας η αξιοποίησή της για την περιγραφή και την αναπαράσταση της ροής δεδομένων (Data Flow) που συντελείται στα πλαίσια του υπό εξέταση συστήματος.

Στο Κεφάλαιο V, αποτυπώνονται βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τη διπλωματική εργασία συνολικά καθώς και προτάσεις για το μέλλον.

Λέξεις-κλειδιά: Συμπεριφορική Εξοικονόμηση Ενέργειας, Σημασιολογική Διαλειτουργικότητα, Οντολογία, PROTÉGÉ, Ροή Δεδομένων.

Abstract

Nowadays both the demand for electricity and the requirements for greater reliability in its supply and higher power quality are increasing. Moreover, the Paris Agreement calls for a significant reduction of carbon dioxide emissions to address climate change and sets ambitious targets for a number of states and governments highlighting the electricity sector as the most polluting one.

Today humanity is in a period of transition searching for environmentally friendly ways of generating electricity. In the context of this transition, energy saving is becoming increasingly important. Efforts are mainly focused on the building sector while energy saving in the domestic sector is highly prioritized. At the same time, a series of studies highlight the value of behavioral energy saving in the domestic sector and the need to develop systems to support behavioral energy saving using data of “smart” devices, meters and sensors that are installed in a “smart” apartment.

The semantic interoperability of "smart" devices emerges as a key problem in the development of behavioral energy saving support systems. An ever-expanding view favors the development of appropriate ontologies for addressing the problem.

In the context of the current diploma thesis, an ontology to support behavioral energy saving at the level of an apartment is developed.

In particular, Chapter I analyzes the context of the diploma thesis and the problem it seeks to resolve. The definitions of behavioral energy saving and ontology are given and the purpose of the diploma thesis is stated.

In Chapter II, the most important ontologies which have been developed so far to support energy saving applications are extensively discussed. It is concluded that each ontology should be usable to bring value in actual conditions.

In Chapter III, the ontology developed as well as the PROTÉGÉ software used for its development are described in detail. The PROTÉGÉ program gives one the capability to edit, modify and extend the ontology to cover an ever-expanding range of applications.

In Chapter IV, the ontology is combined with a set of rules and algorithms for the development of a system to support behavioral energy saving at the level of an apartment by sending messages to the user. The main contribution of the ontology is its utilization for the description and the representation of the data flow that takes place within the framework of the examined system.

Chapter V sets out key conclusions from the diploma thesis as a whole as well as suggestions for future work.

Key Words: Behavioral Energy Saving, Semantic Interoperability, Ontology, PROTÉGÉ, Data Flow.

Περιεχόμενα

Πίνακας Εικόνων.....	- 13 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι - ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 15 -
1.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΚΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	- 17 -
1.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΚΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 20 -
1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	- 22 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ - ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΟΝΤΟΛΟΓΙΩΝ.....	- 23 -
2.1 THE SMART APPLIANCES REFERENCE ONTOLOGY (SAREF)	- 25 -
2.1.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	- 25 -
2.1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ.....	- 27 -
2.1.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	- 29 -
2.2 ΤΟ ΣΧΗΜΑ BRICK	- 31 -
2.2.1 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ BRICK.....	- 31 -
2.2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ BRICK.....	- 32 -
2.2.3 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ BRICK	- 34 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	- 37 -
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ.....	- 39 -
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	- 41 -
3.2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	- 41 -
3.2.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	- 44 -
3.2.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ	- 45 -
3.2.4 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ	- 47 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙV - ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	- 53 -
4.1 Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΟΝΤΟΛΟΓΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΟΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATA FLOW).....	- 55 -
4.1.1 ΟΙ ΕΙΣΟΔΟΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΚΗΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 56 -
4.1.2 ΟΙ ΕΞΟΔΟΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΚΗΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 57 -
4.1.3 Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΜΗ ΠΑΡΕΜΒΑΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ - 58 -	
4.2 Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΚΗΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 59 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ	- 63 -
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	- 65 -
5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ.....	- 66 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	- 67 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – Η ΟΝΤΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΕ XML	- 69 -

Πίνακας Εικόνων και Πινάκων

Εικόνα 1 Οι κατηγορίες “saref:Device”, “saref:BuildingObject” και “saref:BuildingSpace”.	- 27 -
Εικόνα 2 Η κατηγορία “saref:Function”	- 28 -
Εικόνα 3 Η κατηγορία “saref:Profile”	- 29 -
Εικόνα 4 Οι ιδιότητες των οντοτήτων (Entity Property)	- 33 -
Εικόνα 5 Κατευθυνόμενος γράφος.	- 34 -
Εικόνα 6 Το μοντέλο BRICK μίας κτηριακής εγκατάστασης.	- 35 -
Εικόνα 7 Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού PROTÉGÉ.	- 40 -
Εικόνα 8 (α) Οι κατηγορίες αντικειμένων της οντολογίας και οι υποκατηγορίες τους και (β) η περιγραφή της υποκατηγορίας “AC_Unit” της κατηγορίας “Electrical_Equipment”, όπως ορίστηκαν στο περιβάλλον του προγράμματος PROTEGE.	- 43 -
Εικόνα 9 (α) Οι σχέσεις μεταξύ των κατηγοριών της οντολογίας και των υποκατηγοριών τους και (β) η περιγραφή της σχέσης “isMeasuredBy”, όπως ορίστηκαν στο περιβάλλον του προγράμματος PROTEGE.	- 45 -
Εικόνα 10 (α) Οι ιδιότητες των κατηγοριών της οντολογίας και των υποκατηγοριών τους και (β) η περιγραφή της ιδιότητας “Power” της κατηγορίας “Electrical_Equipment”, όπως ορίστηκαν στο περιβάλλον του προγράμματος PROTEGE.	- 47 -
Εικόνα 11 Οπτική αναπαράσταση της οντολογίας αναφοράς.	- 47 -
Εικόνα 12 (α) Ο ορισμός της χώρας, της επαρχίας και της πόλης όπου βρίσκεται το διαμέρισμα και (β) τα δωμάτια από τα οποία αποτελείται το διαμέρισμα.	- 48 -
Εικόνα 13 Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που βρίσκεται εγκατεστημένος στα δωμάτια του διαμερίσματος.	- 49 -
Εικόνα 14 (α) Ο μετρητής ισχύος και ο αισθητήρας θερμοκρασίας του διαμερίσματος και (β) τα μεγέθη τα οποία μετρούν.	- 50 -
Εικόνα 15 Οι κατηγορίες “Season”, “Boundary_Conditions”, “Human_Machine_Interface_Functionalities” και οι υποκατηγορίες τους.	- 52 -
Εικόνα 16 Η ροή δεδομένων (Data Flow) που συντελείται στα πλαίσια της εφαρμογής του υπό εξέταση συστήματος υποστήριξης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας.	- 56 -
Εικόνα 17 Δεδομένα προβλήματος όπως συλλέχθηκαν από μετρητή για την συνολική κατανάλωση και την κατανάλωση των επιμέρους 5 βασικών συσκευών όπως υπολογίστηκαν από τον αλγόριθμο RNN-LSTM.	- 59 -
Εικόνα 18 Σενάριο αποστολής μηνύματος απενεργοποίησης του κλιματιστικού.	- 61 -
ΠΙΝΑΚΑΣ 1	-34-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΚΗ

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η αλματώδης αύξηση στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, η ανάγκη για όλο και μεγαλύτερη αξιοπιστία στην παροχή της και τα προβλήματα στην ποιότητα ισχύος καθιστούν επιτακτική την ανάγκη αναζήτησης εναλλακτικών τρόπων παραγωγής και εξοικονόμησης ενέργειας.

Παράλληλα, η Συμφωνία του Παρισιού έχει θέσει όρια για μείωση της αύξησης της θερμοκρασίας αρκετά χαμηλότερα από 2 °C, στοχεύοντας ακόμα και έως το επίπεδο του 1,5 °C. Τα τελευταία χρόνια η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί τον πιο ρυπογόνο τομέα, ακολουθούμενο από τον τομέα των μεταφορών. Ειδικότερα, τις τελευταίες δεκαετίες περισσότερο από 80% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει πραγματοποιηθεί με χρήση ορυκτών καυσίμων με τον άνθρακα να αποτελεί τη βάση πολλών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, το 21,5% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το 2016 προήλθε από ορυκτά καύσιμα [1]. Ως εκ τούτου, ο τομέας είναι υπεύθυνος για το υψηλό ποσοστό του 25% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) [2].

Σήμερα, η ανθρωπότητα βρίσκεται σε μία μεταβατική περίοδο που χαρακτηρίζεται από την ολοένα αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), την ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, την ένταση των προσπαθειών για εξηλεκτρισμό της βιομηχανίας και των μεταφορών με όχημα την ηλεκτροκίνηση.

Στο πλαίσιο της ενεργειακής μετάβασης που επιχειρείται, η ανθρωπότητα καλείται να ανταποκριθεί σε ένα ακόμη σπουδαίο καθήκον, την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας, δίνοντας έμφαση κυρίως στον κτηριακό τομέα. Οι προσπάθειες επικεντρώνονται κυρίως στον τριτογενή τομέα από τον οποίο προέρχεται σήμερα πάνω από το 40% της κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ [3].

Σημαντικό μέρος της κατανάλωσης ενέργειας στον τριτογενή τομέα αφορά τους οικιακούς καταναλωτές [3]. Η Ευρωπαϊκής Οδηγία ενεργειακής αποδοτικότητας (2012/27/EU) και η επικαιροποιημένη έκδοση της (2018/2002) ορίζει ένα σύνολο δεσμευτικών μέτρων με στόχο την επίτευξη των στόχων ενεργειακής αποδοτικότητας που η ίδια έχει θέσει. Στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Οδηγίας, οι εταιρείες-πάροχοι ενέργειας υποχρεούνται σε εξοικονομήσεις ενέργειας ισοδύναμες με το 1,5% των ετήσιων πωλήσεών τους στους τελικούς χρήστες-καταναλωτές. Επιπρόσθετα, με βάση το «Σύμφωνο των δημάρχων για το κλίμα και την ενέργεια», πόλεις έχουν δεσμευτεί για την μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε ποσοστό τουλάχιστον 40%. Οι συγκεκριμένοι στόχοι είναι δυνατόν να επιτευχθούν διαμέσου κατάλληλων μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας που πρόκειται να υιοθετούν από τους τελικούς χρήστες-καταναλωτές [4].

Μέχρι και σήμερα η προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας στον οικιακό τομέα επικεντρώνεται κυρίως σε παρεμβάσεις στα ίδια τα κτήρια είτε κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους είτε σε μεταγενέστερο χρόνο και σε αντικαταστάσεις παλαιών ενεργοβόρων ηλεκτρικών συσκευών με καινούριες «έξυπνες» και ενεργειακά αποδοτικότερες.

Σταδιακά, ωστόσο, αναδεικνύεται η μεταβολή της ενεργειακής συμπεριφοράς των καταναλωτών ως εκείνη η παράμετρος που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Με βάση έρευνες ένας οικιακός καταναλωτής είναι δυνατόν να εξοικονομήσει έως και 20% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνει αλλάζοντας τις καθημερινές συνήθειες του [5] [6]. Η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από την αλλαγή των συνηθειών ενός καταναλωτή αποκαλείται **συμπεριφορική εξοικονόμηση ενέργειας** [7].

Σήμερα, η παραδοσιακή προσέγγιση για την ενίσχυση της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας βασίζεται σε καμπάνιες ενημέρωσης μέσα από φυλλάδια και πλατφόρμες η επιρροή των οποίων όμως δείχνει περιορισμένη. Αντίθετα, πρόσφατες έρευνες αναδεικνύουν την αναγκαιότητα για την ανάπτυξη και την εφαρμογή ενός πλαισίου εξατομικευμένης υποστήριξης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας με βάση την κατανάλωση του τελικού χρήστη.

Η εφαρμογή ενός τέτοιου πλαισίου απαιτεί την ανάπτυξη σύγχρονων συστημάτων τα οποία θα συλλέγουν και θα επεξεργάζονται δεδομένα από «έξυπνους» μετρητές, αισθητήρες και «έξυπνες» συσκευές [8]. Στόχος αποτελεί η διαχείριση των δεδομένων που θα συλλέγονται για τη σύγκριση των επιδόσεων του τελικού χρήστη είτε σε σχέση με την αναμενόμενη κατανάλωση του είτε σε σχέση με την επίδοση καταναλωτών με παρόμοια χαρακτηριστικά, την παροχή συμβουλών, τη θέσπιση βραχυπρόθεσμων και μεσοπρόθεσμων στόχων, την παρακολούθηση επίτευξής τους και την επιβράβευση του τελικού χρήστη σε περίπτωση βέλτιστης ενεργειακής συμπεριφοράς.

1.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΚΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα τελευταία χρόνια η αναβάθμιση των τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνιών (ICT) σε συνδυασμό με την αύξηση των διαθέσιμων δεδομένων κλίμακας (Big Data) προσφέρουν νέες δυνατότητες στην βελτιστοποίηση της διαχείρισης ενέργειας. Η εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα «έξυπνων» μετρητών και αισθητήρων μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας επιφέροντας σημαντική μείωση του κόστους. Ως αποτέλεσμα, οι κυβερνήσεις ενθαρρύνονται να πραγματοποιήσουν συνδυασμούς φιλικών προς το περιβάλλον και ψηφιακών μεταβάσεων προκειμένου να επιτύχουν τους στόχους για το κλίμα.

Σε επίπεδο οικιακών καταναλωτών, τα φορτία μιας τυπικής κατοικίας αποτελούνται από πλήθος συσκευών. Σήμερα, ολοένα και περισσότερες οικιακές συσκευές είναι «έξυπνες», δηλαδή έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν στο Διαδίκτυο, ακόμα και να επικοινωνούν μεταξύ τους ανταλλάσσοντας δεδομένα. Αυτό δίνει τη δυνατότητα συγκρότησης ενός ενιαίου συστήματος «έξυπνων» συσκευών, μετρητών και αισθητήρων που επιτρέπουν τη συλλογή και την επεξεργασία πληθώρας δεδομένων.

Σε αυτό το πλαίσιο, η ενεργειακή εξοικονόμηση δε θα επιτυγχάνεται μόνο με την αναβάθμιση της απόδοσης των συσκευών αλλά και μέσω της διαχείρισης της κατανάλωσης ενέργειας σε επίπεδο συστήματος [9]. Η δυνατότητα δε τέτοια συστήματα να επεκτείνονται δυναμικά και ευέλικτα περιλαμβάνοντας νέες συσκευές με βάση τις εκάστοτε ανάγκες και την οικονομική δυνατότητα του τελικού χρήστη είναι κρίσιμης σημασίας.

Αναπόφευκτα, ένα τέτοιο σύστημα θα αποτελείται από συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών. Σε αυτή τη βάση, η μεταξύ τους επικοινωνία και η διαλειτουργικότητά τους με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση, αφού απαιτεί ένα ανοιχτό πρότυπο που θα επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών λογισμικών και υλικών (software-to-software και hardware-to-hardware connection).

Η διαλειτουργικότητα πρέπει να εξασφαλιστεί καταρχήν σε σημασιολογικό επίπεδο. Αν και αρκετά πρότυπα ήδη υπάρχουν, παρόλα αυτά, είναι ιδιωτικά ή/και λύνουν μόνο ένα μέρος του προβλήματος, ενίοτε λειτουργούν ανταγωνιστικά μεταξύ τους ή αλληλεπικαλύπτονται [10]. Αυτό είναι και το πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί ώστε να αναπτυχθούν ολιστικές εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας.

Η λύση που εξετάζεται σήμερα είναι η ανάπτυξη μιας οντολογίας αναφοράς. Ως **οντολογία** ορίζεται ένας επίσημος τρόπος περιγραφής αντικειμένων και των μεταξύ τους σχέσεων ο οποίος ορίζει τη δομή της γνώσης για ένα τομέα. Κάθε οντολογία περιλαμβάνει ουσιαστικά που αντιπροσωπεύουν κατηγορίες και ιδιότητες αντικειμένων και ρήματα που αντιπροσωπεύουν τις σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων [11].

Με την εισαγωγή μίας οντολογίας αναφοράς μπορεί να επιτευχθεί η περιγραφή και η αναπαράσταση των διαδικασιών και της ροής δεδομένων που συντελούνται στο πλαίσιο μίας εφαρμογής εξοικονόμησης ενέργειας με τον σαφή προσδιορισμό όλων των εμπλεκόμενων εννοιών και των μεταξύ τους σχέσεων. Ειδικότερα, η χρήση μίας οντολογίας αναφοράς επιτρέπει η κάθε συσκευή να αντιστοιχίζει τις έννοιες της με τις έννοιες της οντολογίας αναφοράς αντί να αντιστοιχίζει με τις έννοιες καθεμιάς συσκευής του συστήματος, δηλαδή καθιστά δυνατή τη διαλειτουργικότητα σε σημασιολογικό επίπεδο όλων των εμπλεκόμενων συσκευών χωρίς να πρέπει να εξασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα συσκευή προς συσκευή [9].

1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Υπό αυτό το πρίσμα, σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μίας οντολογίας αναφοράς για την υποστήριξη της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας στο επίπεδο ενός διαμερίσματος. Αφού πραγματοποιείται εκτενής αναφορά στις κυριότερες οντολογίες που έχουν αναπτυχθεί μέχρι στιγμής για την υποστήριξη εφαρμογών εξοικονόμησης ενέργειας, περιγράφεται αναλυτικά η οντολογία αναφοράς που αναπτύχθηκε καθώς και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξή της. Τέλος, διερευνάται πώς μπορεί να αξιοποιηθεί πρακτικά η οντολογία αναφοράς που αναπτύχθηκε ώστε να παράγει αξία σε πραγματικές συνθήκες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ - ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΟΝΤΟΛΟΓΙΩΝ

Στα πλαίσια του παρόντος κεφαλαίου θα πραγματοποιηθεί εκτενής αναφορά στις κυριότερες οντολογίες που έχουν αναπτυχθεί μέχρι στιγμής για την υποστήριξη εφαρμογών εξοικονόμησης ενέργειας.

2.1 THE SMART APPLIANCES REFERENCE ONTOLOGY (SAREF)

Η οντολογία SAREF (SMART APPLIANCE REFERENCE ONTOLOGY) αναπτύχθηκε από την Smart Machine-to-Machine (M2M) Technical Committee της European Telecommunication Standard Initiative (ETSI) μετά από πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής [9]. Στόχος της πρωτοβουλίας ήταν η προκαταρκτική μελέτη των εννοιών που χρησιμοποιούνται από τις κάθε είδους «έξυπνες» συσκευές και η αποτύπωσή τους σε μία οντολογία αναφοράς σε στενή συνεργασία και αλληλεπίδραση με τη σχετική βιομηχανία.

Η έρευνα ολοκληρώθηκε τον Απρίλιο του 2015 με τη δημοσίευση της οντολογίας SAREF.

2.1.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Κατά τη διερεύνηση του προβλήματος, εξετάστηκε αρχικά ένας μεγάλος όγκος αρχείων που έχουν αναπτυχθεί από την επιστημονική κοινότητα και από την αγορά σχετικά με τη διαχείριση ενέργειας και τις οικιακές συσκευές. Στα αρχεία περιλαμβάνονταν τεχνικές προδιαγραφές, πρότυπα, παραδοτέα έργων, μοντελοποιήσεις δεδομένων με χρήση της γλώσσας UML¹ ή XML², επιστημονικές εργασίες, ακόμα και παρουσιάσεις Power Point. Στόχος ήταν η επιλογή των αρχείων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για τη δημιουργία της οντολογίας αναφοράς.

Συνολικά εξετάστηκαν 47 αρχεία με ημερομηνία δημοσίευσης έως και τον Ιούνιο του 2014. Από τα 47 αρχεία που εξετάστηκαν επιλέχθηκαν τα 23 ως βάση για τη δημιουργία της οντολογίας αναφοράς. Τα αρχεία επιλέχθηκαν με κριτήριο την πληρότητα και τη σαφήνεια με την οποία όριζαν έννοιες σχετικές με το πρόβλημα. Σε αυτή τη διαδικασία, προτιμήθηκαν ιδιαίτερα τα αρχεία που όριζαν έννοιες με τη χρήση αρχείων XML.

¹UML (Unified Modeling Language): Γενικής χρήσης γλώσσα που χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση και την οπτικοποίηση ενός συστήματος.

²XML (Extensible Markup Language): Τρόπος αναπαράστασης δομημένων πληροφοριών με τη μορφή κειμένου με σκοπό το διαμοιρασμό δεδομένων.

Η ενδεδειγμένη μελέτη των 23 αρχείων που επιλέχθηκαν είχε ως αποτέλεσμα την εξαγωγή εννοιών που ορίζονταν σε αυτά είτε άμεσα είτε έμμεσα. Οι έννοιες που απομονώθηκαν αναπαραστάθηκαν με τη μορφή RDF¹ ή OWL². Η αναπαράσταση των εννοιών έγινε σε στενή συνεργασία με τους συντάκτες των αρχείων σε μία προσπάθεια να αντανακλά όσο το δυνατόν καλύτερα το περιεχόμενό τους.

Μέσα από αυτή τη διαδικασία, συγκροτήθηκε η οντολογία SAREF. Δεδομένου ότι υπήρχε ήδη μεγάλος όγκος εργασίας, η συγκρότηση της οντολογίας SAREF δε συνιστά κάποιου είδους εφεύρεση αλλά το αποτέλεσμα μίας προσπάθειας να αντιστοιχηθούν έννοιες που ήδη υπήρχαν στα 23 αρχεία που επιλέχθηκαν.

Πρακτικά, η οντολογία SAREF επιτρέπει την αντιστοίχιση των εννοιών μίας «έξυπνης» συσκευής με τις έννοιες της οντολογίας SAREF καθιστώντας δυνατή τη διαλειτουργικότητα διαφορετικών συσκευών σε σημασιολογικό επίπεδο χωρίς να πρέπει να εξασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα συσκευή προς συσκευή.

Σε όλα τα στάδιά της, η έρευνα πραγματοποιήθηκε με διαφάνεια ώστε να επιτρέπεται σε όλους τους ενδιαφερόμενους να παρακολουθούν την πρόοδο, να ανατροφοδοτούν και να υποστηρίζουν τη διαδικασία. Ως εκ τούτου, η οντολογία SAREF προέκυψε μέσα από μία διαδραστική και επαναληπτική διαδικασία και είναι προσιτή και εύχρηστη από τους εμπλεκόμενους με τον τομέα των «έξυπνων» συσκευών, όπως κατασκευαστές, φορείς προτυποποίησης και πιστοποίησης, προγραμματιστές.

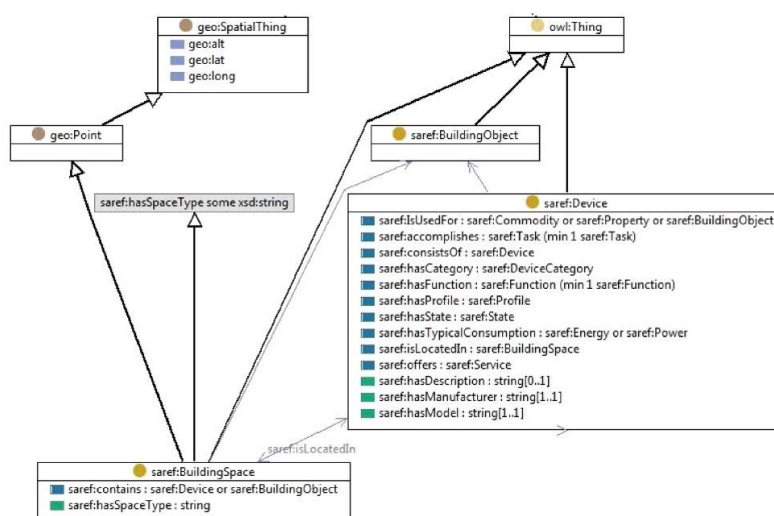
Χαρακτηριστικό στοιχείο της οντολογίας SAREF είναι η δυνατότητα του διαχωρισμού και του ανασχεδιασμού διαφορετικών τμημάτων της (**modularity**) με βάση τις συγκεκριμένες κάθε φορά ανάγκες. Σε αυτή τη βάση, εξασφαλίζεται η δυνατότητα η οντολογία SAREF να εμπλουτίζεται και να αναπτύσσεται διαρκώς (**extensibility**) και να βελτιώνεται μέσα από την αναγνώριση και τη διόρθωση ελαττωμάτων (**maintainability**).

¹RDF (Resource Description Framework): Κατευθυνόμενος γράφος που αποτελείται από έναν κόμβο για το υποκείμενο, έναν κόμβο για το αντικείμενο και ένα βέλος που μεταβαίνει από τον πρώτο κόμβο στο δεύτερο.

²OWL (Ontology Web Language): Γλώσσα που έχει σχεδιαστεί για να αντιπροσωπεύει σύνθετη γνώση σχετικά με αντικείμενα, ομάδες αντικειμένων και σχέσεις μεταξύ αντικειμένων στα πλαίσια της τεχνολογίας Semantic Web του World Wide Web Consortium (W3C).

2.1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ

Η οντολογία SAREF εστιάζει καταρχήν στην έννοια «συσκευή» (“**Device**”) την οποία ορίζει ως το αντικείμενο που σχεδιάστηκε για να πραγματοποιεί μία συγκεκριμένη λειτουργία με σκοπό να επιτελέσει μία συγκεκριμένη εργασία στο πλαίσιο μίας κτηριακής εγκατάστασης. [9] Σε αυτή τη βάση, ορίστηκαν οι κατηγορίες “saref:Device” μαζί με τις κατηγορίες “saref:BuildingObject” και “saref:BuildingSpace”. Οι συγκεκριμένες κατηγορίες απεικονίζονται στην Εικόνα 1.



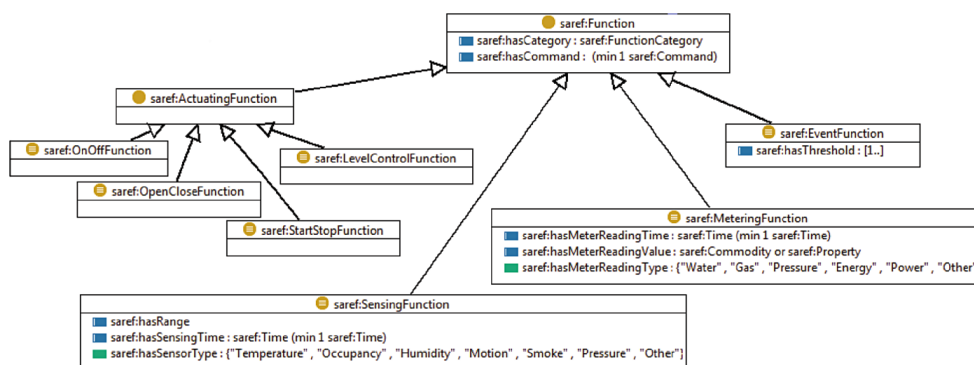
Εικόνα 1 Οι κατηγορίες “saref:Device”, “saref:BuildingObject” και “saref:BuildingSpace”.

Πηγή: [9]

Με βάση την Εικόνα 1, η κατηγορία “saref:Device” έχει κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες, όπως τον κατασκευαστή (“saref:hasManufacturer”) και το μοντέλο (“saref:hasModel”). Η σχέση “saref:isLocatedIn” συσχετίζει τις κατηγορίες “saref:Device” και “saref:BuildingSpace” που περιλαμβάνει τους χώρους μίας κτηριακής εγκατάστασης στους οποίους ενδέχεται να βρίσκεται η συσκευή. Ο χώρος μίας κτηριακής εγκατάστασης μπορεί να περιέχει αντικείμενα (“saref:BuildingObject”) που μπορεί να ελέγχονται από τη συσκευή, όπως οι πόρτες ή τα παράθυρα που μπορεί να ανοίγουν ή να κλείνουν αυτόματα με βάση ένα σήμα από ένα αισθητήρα. Η κατηγορία “saref:BuildingSpace” έχει τη χαρακτηριστική ιδιότητα “saref:hasSpaceType” που προσδιορίζει το είδος του χώρου. Παράλληλα, κάθε χώρος μίας κτηριακής εγκατάστασης είναι ένα “geo:point” που χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο υψόμετρο και συγκεκριμένες συντεταγμένες.

Η σχέση “saref:hasCategory” συσχετίζει τις κατηγορίες “saref:Device” και “saref:DeviceCategory” που περιγράφει το είδος της συσκευής. Παράλληλα, κάθε συσκευή με βάση το είδος της πραγματοποιεί (“saref:hasFunction”) κάποια λειτουργία (“saref:Function”) με σκοπό να επιτελέσει (“saref:accomplishes”) μία συγκεκριμένη εργασία (“saref:Task”). Ειδικότερα, μπορεί να χρησιμοποιείται (“saref:isUsedFor”) είτε για να προσφέρει κάποιο εμπόρευμα (“saref:Commodity”) είτε για να λειτουργεί ως αισθητήρας ή ως μετρητής (“saref:Property”) είτε για να ελέγχει ένα αντικείμενο της κτηριακής εγκατάστασης (“saref:Building Object”).

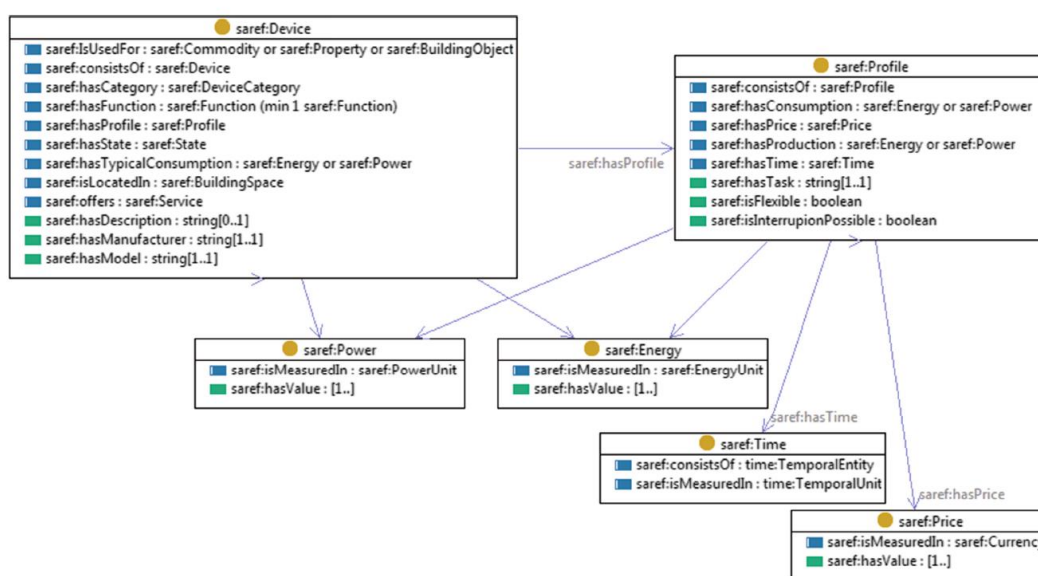
Στην Εικόνα 2 απεικονίζεται η κατηγορία “saref:Function”. Η κατηγορία “saref:Function” πρέπει να έχει (“saref:hasCommand”) τουλάχιστον μία εντολή (“saref:Command”). Παραδείγματα λειτουργιών είναι η λειτουργία “saref:ActuatingFunction” που επιτρέπει το άνοιγμα/κλείσιμο κάποιου διακόπτη (“saref:OnOffFunction”), την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση κάποιας συσκευής (“saref:StartStopFunction”), τον έλεγχο κάποιου αντικειμένου (“saref:OpenCloseFunction”) ή τον προσδιορισμό του επιπέδου λειτουργίας κάποιας συσκευής (“saref:LevelControlFunction”), η λειτουργία “saref:SensingFunction” που επιτρέπει τη λήψη δεδομένων από αισθητήρες, η λειτουργία “saref:MeteringFunction” που επιτρέπει τη λήψη δεδομένων από έναν μετρητή και η λειτουργία “saref:EventFunction” που επιτρέπει την ειδοποίηση κάποιας συσκευής όταν η μέτρηση ενός μεγέθους έχει υπερβεί κάποια συγκεκριμένη τιμή. Με βάση τη λειτουργία που πραγματοποιεί μία συσκευή, βρίσκεται (“saref:hasState”) σε μία συγκεκριμένη κατάσταση (“saref:State”).



Εικόνα 2 Η κατηγορία “saref:Function”.

Πηγή: [9]

Μία ακόμη σημαντική κατηγορία που ορίζεται στο πλαίσιο της οντολογίας SAREF είναι η κλάση “saref:Profile” που αποτυπώνεται στην Εικόνα 3. Η συγκεκριμένη κατηγορία επιτρέπει την περιγραφή της ενέργειας (“saref:Energy”) ή της ισχύος (“saref:Power”) που παράγει (“saref:hasProduction”) ή καταναλώνει (“saref:hasConsumption”) μία συγκεκριμένη συσκευή. Η παραγωγή και η κατανάλωση μπορεί να υπολογίζεται (“saref:hasTime”) σε ένα χρονικό διάστημα (“saref:Time”) και να συσχετίζεται (“saref:hasPrice”) με ορισμένα έσοδα ή κόστη (“saref:Price”).



Εικόνα 3 Η κατηγορία “saref:Profile”.

Πηγή: [9]

2.1.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Κατά τη διάρκεια ανάπτυξης της οντολογίας, παρατηρήθηκε ότι οι ενδιαφερόμενοι από τη βιομηχανία δεν ήταν εξοικειωμένοι με την ανάπτυξη οντολογιών και σε κάποιο βαθμό ήταν ακόμη και απρόθυμοι στη χρήση οντολογιών ως τρόπου για τη μοντελοποίηση δεδομένων. Κατά κύριο λόγο, δεν επιθυμούσαν να εγκαταλείψουν τις παραδοσιακές μεθόδους μοντελοποίησης δεδομένων με χρήση της γλώσσας UML ή XML. Ακόμη, θεωρούσαν ότι η ανάπτυξη μιας οντολογίας αναφοράς θα τους ανάγκαζε να εγκαταλείψουν το δικό τους μοντέλο παρότι σκόπευε να λειτουργήσει ως η κοινή βάση ώστε όλοι οι εμπλεκόμενοι να αντιστοιχίζουν τις έννοιες των μοντέλων τους με τις έννοιες της οντολογίας.

Αντίθετη ήταν η εικόνα από την πλευρά της ακαδημαϊκής κοινότητας η οποία αποδείχθηκε εξοικειωμένη με την ανάπτυξη οντολογιών. Από την πλευρά των ακαδημαϊκών ερευνητών, ωστόσο, υπήρχε δυσκολία να μετουσιώσουν τις οντολογίες σε πρακτικές εφαρμογές ή να συμβιβάσουν την πολυπλοκότητα ενός μοντέλου όταν αποτελούσε εμπόδιο για την πρακτική εφαρμογή.

Συμπερασματικά, υπήρχε ένα χάσμα μεταξύ της σκέψης των ακαδημαϊκών ερευνητών και της βιομηχανίας. Το πρόβλημα ξεπεράστηκε όταν συνειδητοποιήθηκε ότι η επιμονή σε ακαδημαϊκά άρτιες μεθοδολογίες δεν ευνοούσε την υιοθεσία τους από τη βιομηχανία. Ένας βασικός παράγοντας επιτυχίας της μελέτης ήταν η σταδιακή εισαγωγή της βιομηχανίας στη νέα μεθοδολογία, η περιγραφή και επεξήγησή της με εκτεταμένη χρήση παραδειγμάτων, η επαρκής τεκμηρίωση των δυνατοτήτων υιοθέτησης και πρακτικής εφαρμογής, συνολικά η διαρκής αλληλεπίδραση με τη βιομηχανία.

Πρόκληση για να αποτελέσει η οντολογία SAREF το σημείο αναφοράς στον τομέα της διαλειτουργικότητας των «έξυπνων» συσκευών σε σημασιολογικό επίπεδο αναδεικνύεται η δυνατότητα εξέλιξης και προσαρμογής της στα δεδομένα ενός δυναμικού κλάδου που αναπτύσσεται ραγδαία. Ως βασικό μειονέκτημα για την οντολογία αποτελεί το γεγονός ότι είναι περιορισμένη στον προσδιορισμό εννοιών σχετικών με κτηριακές εγκαταστάσεις και ως εκ τούτου εσωτερικούς χώρους.

2.2 ΤΟ ΣΧΗΜΑ BRICK

Το σχήμα BRICK αποτελεί πρωτοβουλία της μη κερδοσκοπικής εταιρείας BRICK CONSORTIUM που έχει ως στόχο να ενθαρρύνει την έρευνα για την ανάπτυξη μίας οντολογίας αναφοράς που θα διασφαλίζει τη σημασιολογική λειτουργικότητα των συσκευών που βρίσκονται σε μία κτηριακή εγκατάσταση [12]. Η εταιρεία αποτελείται από ερευνητές, παρόχους λύσεων σύγχρονης τεχνολογίας και διαχειριστές κτηριακών εγκαταστάσεων και θα παρέχει την υποστήριξη που απαιτείται για τη διατήρηση και την ενίσχυση του σχήματος BRICK έως το 2040.

Στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας, έχει αναπτυχθεί η οντολογία BRICK που είναι διαθέσιμη στο Διαδίκτυο με τη μορφή ανοιχτού κώδικα. Η οντολογία BRICK αποτελείται από ένα σύνολο εννοιών που αφορούν τις κτηριακές εγκαταστάσεις και ένα σύνολο σχέσεων για την περιγραφή των μεταξύ τους συνδέσεων και έχει τη δυνατότητα να περιγράψει ένα ευρύ σύνολο χαρακτηριστικών, συσκευών, συστημάτων και υποσυστημάτων μίας κτηριακής εγκατάστασης επιτρέποντας την ανάπτυξη εφαρμογών εξοικονόμησης ενέργειας.

2.2.1 ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ BRICK

Η ανάπτυξη της οντολογίας BRICK βασίστηκε στις ακόλουθες αρχές σχεδιασμού:

- Πληρότητα: Η οντολογία θα πρέπει να ορίζει κάθε έννοια που εμπλέκεται στην ανάπτυξη εφαρμογών σε κτηριακές εγκαταστάσεις.
- Εκφραστικότητα: Η οντολογία θα πρέπει να περιγράφει κάθε σχέση που προκύπτει μεταξύ των εννοιών που εμπλέκονται στην ανάπτυξη εφαρμογών σε κτηριακές εγκαταστάσεις.
- Συνέπεια: Η οντολογία θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από αυστηρή λογική συνέπεια στους ορισμούς των εννοιών και στην περιγραφή των μεταξύ τους σχέσεων.
- Ευχρηστία: Η οντολογία δεν πρέπει να είναι ιδιαίτερα περίπλοκη για να μπορεί να κατανοηθεί και να χρησιμοποιηθεί από τους χρήστες.
- Επεκτασιμότητα: Η οντολογία θα πρέπει να είναι εύκολα επεκτάσιμη για να καλύπτει νέες έννοιες και νέες σχέσεις που προκύπτουν.

2.2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ BRICK

Στην οντολογία BRICK συναντώνται οι ακόλουθες έννοιες:

- Οι οντότητες (Entity).
- Οι ετικέτες (Tag).
- Οι κατηγορίες (Class).
- Οι ιδιότητες των οντοτήτων (Entity Property).
- Οι σχέσεις (Relationship).
- Οι «αντίστροφες» σχέσεις (“Inverse” Relationships).

Ως **οντότητα (Entity)** ορίζεται οποιοδήποτε αντικείμενο βρίσκεται σε μία κτηριακή εγκατάσταση [12]. Οι οντότητες διακρίνονται σε φυσικές, εικονικές και λογικές οντότητες.

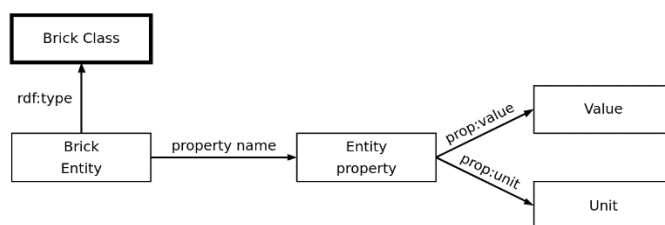
Στις φυσικές οντότητες περιλαμβάνεται οτιδήποτε έχει φυσική παρουσία σε μία κτηριακή εγκατάσταση. Για παράδειγμα, ως φυσικές οντότητες θεωρούνται ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, όπως τα φωτιστικά, οι ηλεκτρικές συσκευές, τα κλιματιστικά και το σύστημα εξαερισμού, οι δικτυωμένες συσκευές όπως οι μετρητές και οι αισθητήρες θερμοκρασίας και φωτεινότητας, και χωροταξικά στοιχεία, όπως τα δωμάτια και τα δάπεδα.

Στις εικονικές οντότητες περιλαμβάνεται οτιδήποτε σχετίζεται με την ανάπτυξη εφαρμογών λογισμικού. Για παράδειγμα, ως εικονικές οντότητες θεωρούνται οι τιμές ενός μετρητή ή ενός αισθητήρα που επιτρέπουν σε μία εφαρμογή λογισμικού να προσδιορίζει την τρέχουσα κατάσταση μιας κτηριακής εγκατάστασης, οι τιμές τις οποίες ορίζει η εφαρμογή λογισμικού, όπως οι τιμές της επιθυμητής θερμοκρασίας ή της επιθυμητής φωτεινότητας στο εσωτερικό μίας κτηριακής εγκατάστασης, και οι τιμές τις οποίες υπολογίζει η εφαρμογή λογισμικού, όπως η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ή η μέση θερμοκρασία μίας κτηριακής εγκατάστασης στη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος.

Στις λογικές οντότητες περιλαμβάνονται οι οντότητες που ορίζονται από ένα σύνολο κανόνων. Για παράδειγμα, ως λογικές οντότητες θεωρούνται οι ζώνες HVAC και οι ζώνες φωτισμού.

Στην κατηγορία των λογικών οντοτήτων εμπίπτουν επιπλέον οι **ετικέτες (Tag)** και οι **κλάσεις (Class)**. Ως ετικέτες ορίζονται οι όροι που χρησιμοποιούνται για να αποδώσουν χαρακτηριστικά μίας οντότητας ενώ ως κλάσεις ορίζονται οι κατηγορίες που χρησιμοποιούνται για την ομαδοποίηση των οντοτήτων [12]. Οι κλάσεις υπόκεινται σε συγκεκριμένη ιεραρχία και χαρακτηρίζονται από ένα σύνολο ετικετών. Μία οντότητα μπορεί να ανήκει σε μία ή περισσότερες κλάσεις. Παρότι οι ετικέτες χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών μίας οντότητας, δε θεωρούνται σαφής τρόπος αναπαράστασης της γνώσης σχετικά με μία οντότητα. Ως εκ τούτου, στην οντολογία BRICK ο τύπος κάθε οντολογίας προσδιορίζεται από τις κλάσεις στις οποίες αυτή ανήκει και τις ετικέτες τους.

Οι οντότητες χαρακτηρίζονται από ένα σύνολο ιδιοτήτων (**Entity Property**) [12]. Οι ιδιότητες είναι χρήσιμες για να αποδώσουν χαρακτηριστικά των οντοτήτων που δε μεταβάλλονται, όπως η επιφάνεια ενός δαπέδου ή ο όγκος ενός δωματίου. Κάθε ιδιότητα φέρει μία συγκεκριμένη τιμή που ακολουθείται από τη μονάδα μέτρησής της. Η χρήση των ιδιοτήτων ακολουθεί γενικά το μοτίβο που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4 Οι ιδιότητες των οντοτήτων (Entity Property).

Πηγή: [12]

Οι **σχέσεις (Relationship)** εκφράζουν τον τρόπο με τον οποίο οι οντότητες και οι κλάσεις αλληλοεπιδρούν και συνδέονται μεταξύ τους [12]. Πρακτικά, πρόκειται για ρηματικές φράσεις που συσχετίζουν δύο οντότητες ή δύο κλάσεις μεταξύ τους περιγράφοντας το είδος της μεταξύ τους σύνδεσης.

Η οντολογία BRICK επιτρέπει τον καθορισμό πολλών σχέσεων προς την «αντίστροφη» κατεύθυνση. Αυτό το χαρακτηριστικό της οντολογίας BRICK προσδίδει ευελιξία στη χρήση της οντολογίας για ανάπτυξη εφαρμογών σε κτηριακές εγκαταστάσεις. Παραδείγματα αντίστροφων σχέσεων (**“Inverse” Relationships**) δίνονται στον Πίνακα 1.

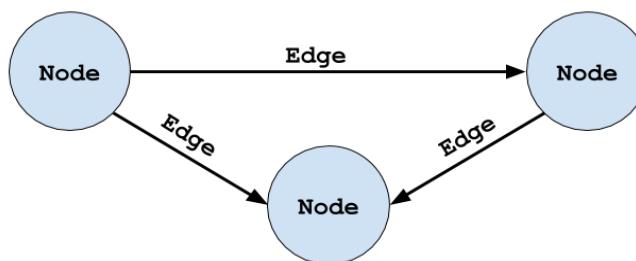
ΠΙΝΑΚΑΣ 1 Πηγή: [12]

Relationship	“Inverse” Relationship
hasPoint	isPointOf
hasPart	isPartOf
hasLocation	isLocationOf
feeds	isFedBy

2.2.3 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ BRICK

Η οντολογία BRICK μπορεί να αναπαρασταθεί με τη μορφή ενός κατευθυνόμενου γράφου. Με τη βοήθεια των κατευθυνόμενων γράφων, είναι δυνατή η αναπαράσταση μίας κτηριακής εγκατάστασης με τη μορφή ενός μοντέλου BRICK.

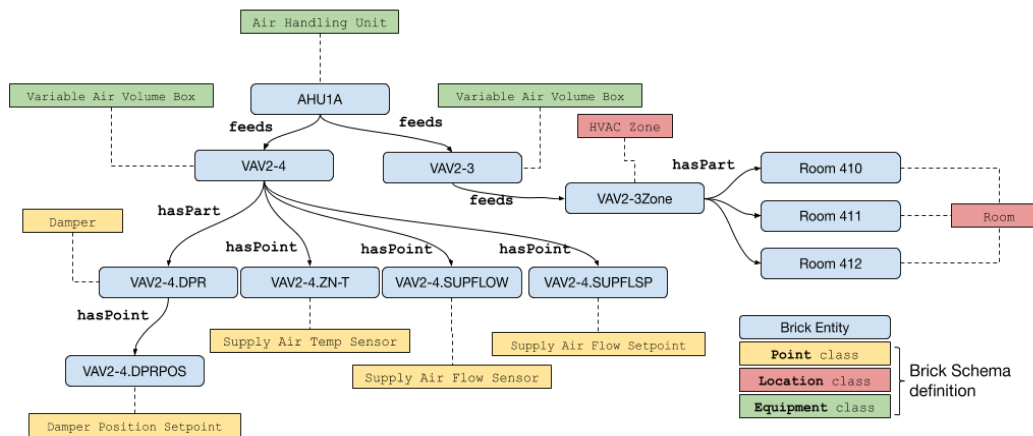
Οι γράφοι είναι μορφές αναπαράστασης δεδομένων. Στο πλαίσιο της αναπαράστασης της οντολογίας BRICK, οι κόμβοι ενός γράφου αναπαριστούν τις οντότητες και οι ακμές του τις μεταξύ τους σχέσεις. Οι κόμβοι αναχώρησης και άφιξης κάθε κατευθυνόμενης ακμής υποδεικνύουν το υποκείμενο και το αντικείμενο της ρηματικής φράσης που περιγράφει τη σχέση μεταξύ των δύο οντοτήτων. Παράδειγμα κατευθυνόμενου γράφου δίνεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5 Κατευθυνόμενος γράφος.

Πηγή: [12]

Το μοντέλο BRICK είναι η αναπαράσταση μίας κτηριακής εγκατάστασης με βάση την οντολογία BRICK. Οι οντότητες σε ένα μοντέλο BRICK ταξινομούνται σύμφωνα με τις κλάσεις που ορίζονται στην οντολογία BRICK και συνδέονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που ορίζονται στην οντολογία BRICK. Στην Εικόνα 6 παρατίθεται το μοντέλο BRICK μίας κτηριακής εγκατάστασης.



Εικόνα 6 Το μοντέλο BRICK μίας κτηριακής εγκατάστασης.

Πηγή: [12]

Οι κόμβοι μπλε χρώματος αντιπροσωπεύουν οντότητες που ανήκουν σε κλάσεις της οντολογίας BRICK. Αυτά είναι τα αντικείμενα που βρίσκονται στο εσωτερικό της υπό εξέταση κτηριακής εγκατάστασης. Οι κόμβοι κίτρινου, πράσινου και κόκκινου χρώματος που συνδέονται με τους κόμβους μπλε χρώματος με διακεκομμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν κλάσεις της οντολογίας BRICK. Ουσιαστικά, η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει τη σχέση “rdf:type” ενώ οι συμπαγείς κατευθυνόμενες γραμμές αντιπροσωπεύουν τις σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΑΝΑΦΟΡΑΣ**

Στα πλαίσια του παρόντος κεφαλαίου θα πραγματοποιηθεί αναλυτική περιγραφή της οντολογίας αναφοράς που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξή της.

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ PROTÉGÉ

Η οντολογία αναφοράς που περιγράφεται στα πλαίσια του παρόντος κεφαλαίου αναπτύχθηκε με τη χρήση του λογισμικού PROTÉGÉ [13].

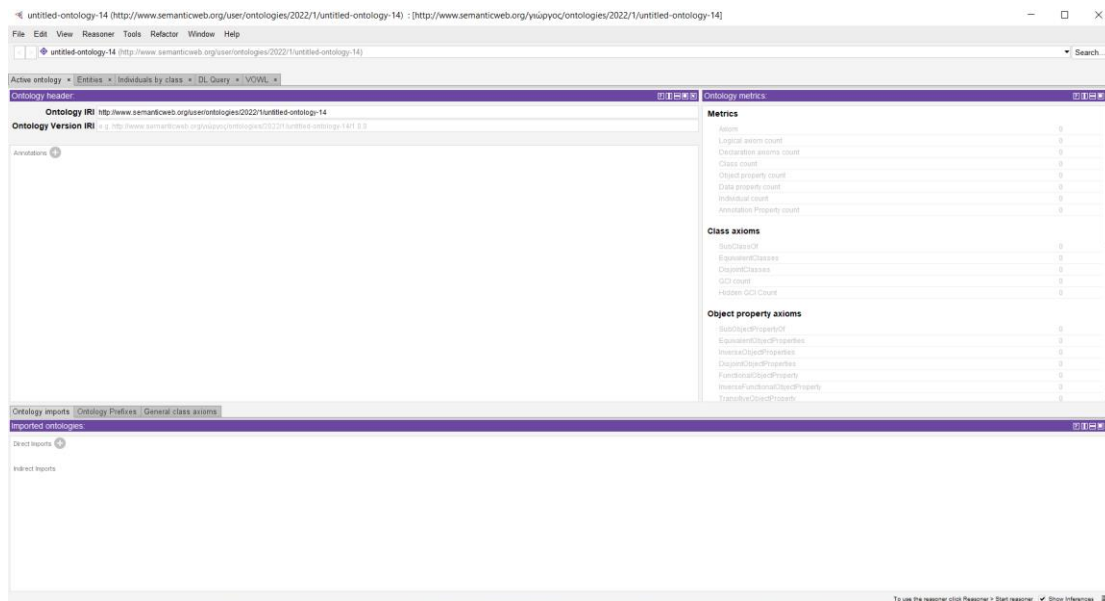
Το λογισμικό PROTÉGÉ αναπτύχθηκε από το Ερευνητικό Κέντρο Βιοϊατρικής Πληροφορικής της Φαρμακευτικής Σχολής του Πανεπιστημίου του Stanford. Υποστηρίζει τη δημιουργία και την επεξεργασία μιας ή και περισσότερων οντολογιών σε ένα ενιαίο χώρο εργασίας μέσω ενός φιλικού προς το χρήστη περιβάλλοντος. Τα εργαλεία οπτικοποίησης που υποστηρίζει επιτρέπουν τη διαδραστική πλοήγηση στις σχέσεις μεταξύ των διάφορων εννοιών της οντολογίας ενώ η συμβατότητά του με ελεγκτές λογικής, όπως τους ελεγκτές Hermit και Pellet, δίνει τη δυνατότητα του εντοπισμού λογικών ασυνεπειών στο πλαίσιο της οντολογίας.

Επιπλέον, το εν λόγω λογισμικό είναι συμβατό με την πλατφόρμα Web PROTÉGÉ που έχει αναπτύξει παράλληλα με το λογισμικό το Πανεπιστήμιο του Stanford. Η πλατφόρμα Web PROTÉGÉ είναι μία δωρεάν πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που προσφέρει ένα περιβάλλον ανάπτυξης οντολογιών στο Διαδίκτυο σε ένα διαρκώς διευρυνόμενο δίκτυο χρηστών δίνοντας τη δυνατότητα της συλλογικής παρακολούθησης και επεξεργασίας των οντολογιών. Ειδικότερα, προσφέρει τη δυνατότητα του διαμοιρασμού και της κοινής χρήσης, του σχολιασμού και της ανταλλαγής απόψεων, των ειδοποιήσεων μέσω email ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζει τη μεταφόρτωση και τη λήψη των οντολογιών σε διάφορους τύπους αρχείων, όπως RDF/XML, Turtle, OWL/XML, OBO.

Ένα στοιχείο που χαρακτηρίζει τόσο το λογισμικό PROTÉGÉ όσο και την πλατφόρμα Web PROTÉGÉ είναι η συμβατότητά τους με τα πρότυπα του World Wide Web Consortium (W3C), μίας διεθνούς κοινότητας οργανισμών και προγραμματιστών που εργάζονται για την ανάπτυξη ανοιχτών προτύπων για τη μακροπρόθεσμη και συνεχή ανάπτυξη του Διαδικτύου.

Συνολικά, το λογισμικό PROTÉGÉ χρησιμοποιείται σήμερα από μία δυναμική κοινότητα ακαδημαϊκών ερευνητών, κυβερνητικών οργανισμών και εταιρειών με στόχο τη μοντελοποίηση οντολογιών που επιτρέπουν την ενσωμάτωση δεδομένων με αλγορίθμους για την ανάπτυξη εφαρμογών σε εξαιρετικά διαφορετικούς τομείς δραστηριότητας, όπως η βιοϊατρική, το ηλεκτρονικό εμπόριο, η διαχείριση δεδομένων κτηριακών εγκαταστάσεων. Η αρχιτεκτονική του επιτρέπει κάθε αλλαγή ή προσθήκη στις οντολογίες που αναπτύσσονται με τη χρήση του. Οι τελευταίες μπορούν να συνδυαστούν από κατάλληλους προγραμματιστές με ένα σύστημα κανόνων για την ανάπτυξη «έξυπνων» συστημάτων.

Τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει το συγκεκριμένο λογισμικό το καθιστούν ιδανικό για την ανάπτυξη οντολογιών αναφοράς στα πλαίσια ανάπτυξης εφαρμογών εξοικονόμησης ενέργειας. Στην Εικόνα 7 απεικονίζεται το περιβάλλον εργασίας PROTÉGÉ.



Εικόνα 7 Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού PROTÉGÉ.

3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Στην παρούσα ενότητα, περιγράφεται αναλυτικά η οντολογία αναφοράς που αναπτύχθηκε με χρήση του λογισμικού PROTEGÉ. Η οντολογία επιχειρεί να εξασφαλίσει τη σημασιολογική διαλειτουργικότητα των «έξυπνων» μετρητών, των αισθητήρων και των «έξυπνων» συσκευών που υπάρχουν σήμερα σε ένα «έξυπνο» διαμέρισμα με στόχο την παροχή εξατομικευμένης υποστήριξης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της συλλογής και της επεξεργασίας συγκεκριμένων δεδομένων και την αποστολή συγκεκριμένων μηνυμάτων προς το χρήστη.

Η οντολογία αποτελείται από:

- Συγκεκριμένες κατηγορίες αντικειμένων/έννοιες και τις υποκατηγορίες τους (**Classes** και **Subclasses**).
- Συγκεκριμένες σχέσεις μεταξύ των κατηγοριών αντικειμένων/εννοιών και των υποκατηγοριών τους (**Object Properties**).
- Συγκεκριμένες ιδιότητες των κατηγοριών αντικειμένων/εννοιών και των υποκατηγοριών τους (**Data Properties**).

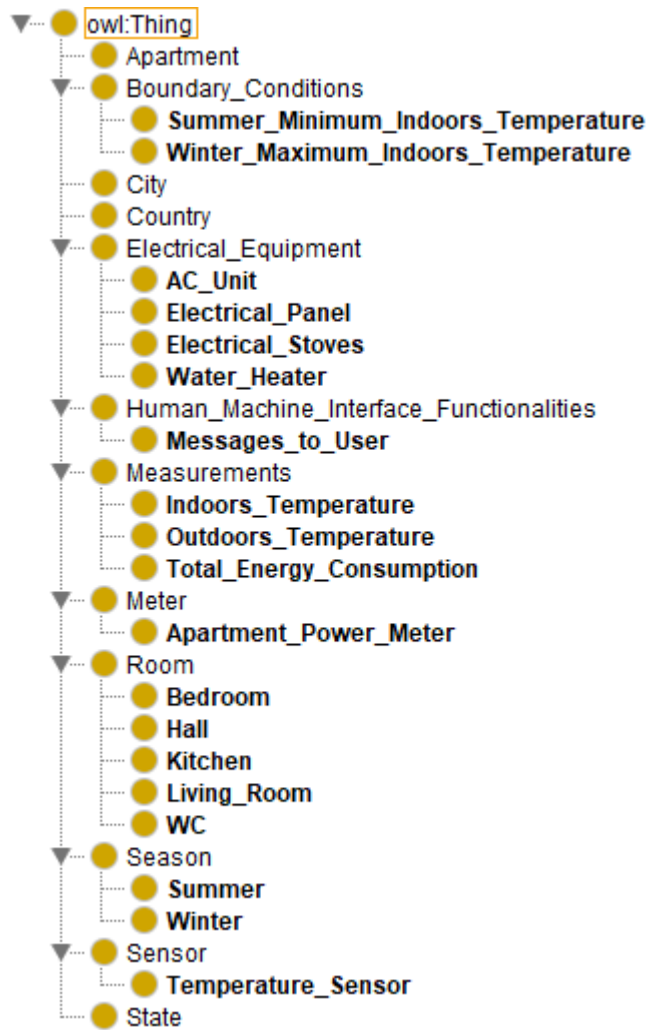
3.2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Οι κατηγορίες που ορίστηκαν για τις ανάγκες της εφαρμογής είναι οι εξής:

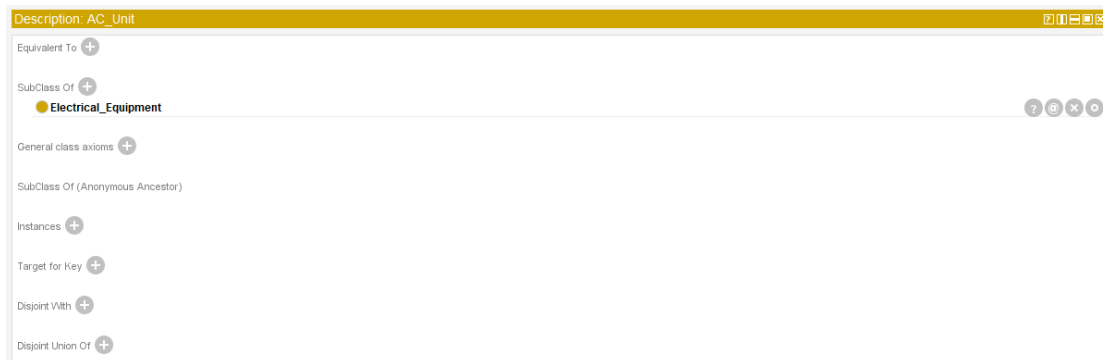
- Η κατηγορία **“Country”**: Αφορά τη χώρα στην οποία βρίσκεται το διαμέρισμα.
- Η κατηγορία **“State”**: Αφορά τη διοικητική / γεωγραφική περιφέρεια στην οποία βρίσκεται το διαμέρισμα.
- Η κατηγορία **“City”**: Αφορά την πόλη στην οποία βρίσκεται το διαμέρισμα.
- Η κατηγορία **“Apartment”**: Αφορά το είδος του κτηρίου στο οποίο στοχεύει η υπό ανάπτυξη εφαρμογή εξατομικευμένης υποστήριξης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας.
- Η κατηγορία **“Room”** που αποτελείται από τις υποκατηγορίες:
 - **“Living_Room”**
 - **“Kitchen”**
 - **“Hall”**
 - **“Bedroom”**
 - **“WC”**

- Η κατηγορία **“Electrical_Equipment”** που αποτελείται από τις υποκατηγορίες:
 - **“Electrical_Panel”**
 - **“Electrical_Stoves”**
 - **“Water_Heater”**
 - **“AC_Unit”**
- Η κατηγορία **“Meters”** που αποτελείται από τις υποκατηγορίες:
 - **“Apartment_Power_Meter”**
- Η κατηγορία **“Sensors”** που αποτελείται από τις υποκατηγορίες:
 - **“Temperature_Sensor”**
- Η κατηγορία **“Measurements”** που αποτελείται από τις υποκατηγορίες:
 - **“Indoors_Temperature”**
 - **“Outdoors_Temperature”**
 - **“Total_Energy_Consumption”**
- Η κατηγορία **“Season”** που αποτελείται από τις υποκατηγορίες:
 - **“Summer”**
 - **“Winter”**
- Η κατηγορία **“Boundary_Conditions”** που αποτελείται από τις υποκατηγορίες:
 - **“Summer_Minimum_Indoors_Temperature”**
 - **“Winter_Maximum_Indoors_Temperature”**
- Η κατηγορία **“Human_Machine_Interface_Functionalities”** που αποτελείται από τις υποκατηγορίες:
 - **“Messages_to_User”**

Στην Εικόνα 8 απεικονίζονται οι κατηγορίες αντικειμένων της οντολογίας και οι υποκατηγορίες τους, καθώς και η περιγραφή της υποκατηγορίας “AC_Unit” της κατηγορίας “Electrical_Equipment”, όπως ορίστηκαν στο περιβάλλον του προγράμματος PROTEGE. Η Εικόνα 8 (α) αποτυπώνει την ιεραρχική δομή στην οποία εντάσσονται οι κατηγορίες και οι υποκατηγορίες τους.



(α)



(β)

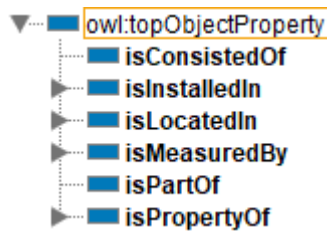
Εικόνα 8 (α) Οι κατηγορίες αντικειμένων της οντολογίας και οι υποκατηγορίες τους και (β) η περιγραφή της υποκατηγορίας “AC_Unit” της κατηγορίας “Electrical_Equipment”, όπως ορίστηκαν στο περιβάλλον του προγράμματος PROTEGE.

3.2.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ

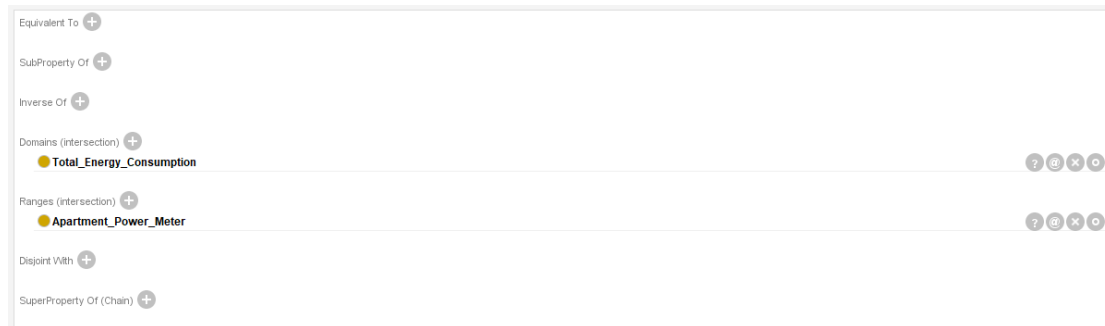
Οι σχέσεις που ορίστηκαν για τις ανάγκες της εφαρμογής είναι οι εξής:

- **“isPartOf”**: Είναι σχέση μεταξύ των κατηγοριών “State” και “Country”.
- **“isConsistedOf”**: Είναι σχέση μεταξύ των κατηγοριών “Apartment” και “Room”.
- **“isLocatedIn”**: Είναι σχέση μεταξύ των κατηγοριών “City” και “State”, των κατηγοριών “Apartment” και “City”, των υποκατηγοριών “Electrical_Stoves” και “Kitchen”, των υποκατηγοριών “Water_Heater” και “WC”, των υποκατηγοριών “AC_Unit” και “Living_Room”, των υποκατηγοριών “AC_Unit” και “Bedroom” και των υποκατηγοριών “Electrical_Panel” και “Hall”.
- **“isInstalledIn”**: Είναι σχέση μεταξύ των υποκατηγοριών “Apartment_Power_Meter” και “Electrical_Panel” και των υποκατηγοριών “Temperature_Sensor” και “Hall”.
- **“isPropertyOf”**: Είναι σχέση μεταξύ των κατηγοριών “Total_Energy_Consumption” και “Electrical_Equipment”, των κατηγοριών “Indoors_Temperature” και “Apartment” και των κατηγοριών “Outdoors_Temperature” και “City”.
- **“isMeasuredBy”**: Είναι σχέση μεταξύ των υποκατηγοριών “Total_Energy_Consumption” και “Apartment_Power_Meter” και των υποκατηγοριών “Indoors_Temperature” και “Temperature_Sensor”.

Στην Εικόνα 9 απεικονίζονται οι σχέσεις μεταξύ των κατηγοριών της οντολογίας και των υποκατηγοριών τους, καθώς και η περιγραφή της σχέσης “isMeasuredBy”, όπως ορίστηκαν στο περιβάλλον του προγράμματος PROTEGE. Η Εικόνα 9 (β) αποτυπώνει τις κατηγορίες “Total_Energy_Consumption” και “Apartment_Power_Meter” τις οποίες συσχετίζει η σχέση “isMeasuredBy”. Ουσιαστικά, σχηματίζεται μία ρηματική φράση με υποκείμενο (Domain) την κατηγορία “Total_Energy_Consumption” και αντικείμενο/ποιητικό αίτιο (Range) την κατηγορία “Apartment_Power_Meter” που περιγράφει το γεγονός ότι η συνολική κατανάλωση ενέργειας του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού του διαμερίσματος μετράται από το μετρητή ισχύος.



(α)



(β)

Εικόνα 9 (α) Οι σχέσεις μεταξύ των κατηγοριών της οντολογίας και των υποκατηγοριών τους και (β) η περιγραφή της σχέσης “isMeasuredBy”, όπως ορίστηκαν στο περιβάλλον του προγράμματος PROTEGE.

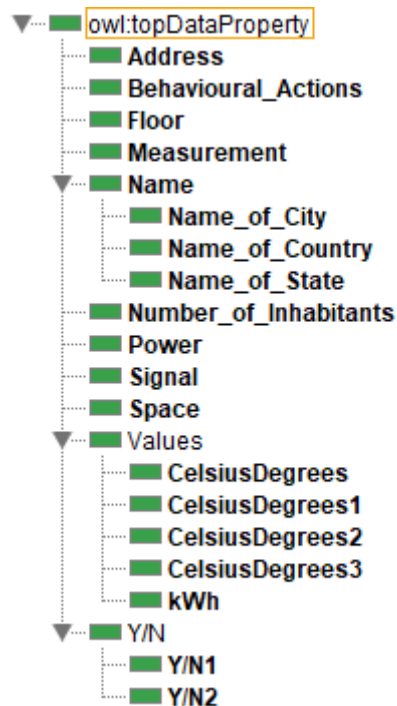
3.2.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ

Οι κατηγορίες και υποκατηγορίες που ορίστηκαν για τις ανάγκες της εφαρμογής παρουσιάζουν τις εξής ιδιότητες:

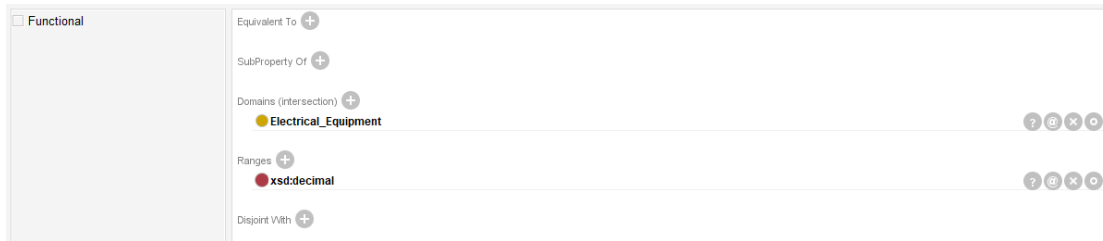
- **“Name_of_Country”**: Είναι ιδιότητα τύπου string της κατηγορίας “Country”.
- **“Name_of_State”**: Είναι ιδιότητα τύπου string της κατηγορίας “State”.
- **“Name_of_City”**: Είναι ιδιότητα τύπου string της κατηγορίας “City”.
- **“Address”**: Είναι ιδιότητα τύπου string της κατηγορίας “Apartment”.
- **“Floor”**: Είναι ιδιότητα τύπου integer της κατηγορίας “Apartment”.
- **“Number_of_Inhabitants”**: Είναι ιδιότητα τύπου integer της κατηγορίας “Apartment”.
- **“Space”**: Είναι ιδιότητα τύπου decimal της κατηγορίας “Apartment”.
- **“Power”**: Είναι ιδιότητα τύπου decimal της κατηγορίας “Electrical_Equipment”.
- **“Measurement”**: Είναι ιδιότητα τύπου decimal της υποκατηγορίας “Apartment_Power_Meter”.
- **“Signal”**: Είναι ιδιότητα τύπου base64Binary της υποκατηγορίας “Temperature_Sensor”.

- **“kWh”**: Είναι ιδιότητα τύπου decimal της υποκατηγορίας “Total_Energy_Consumption”.
- **“Celsius_Degrees”**: Είναι ιδιότητα τύπου decimal των υποκατηγοριών “Indoors_Temperature” και “Outdoors_Temperature” και των υποκατηγοριών “Summer_Minimum_Indoors_Temperature” και “Winter_Maximum_Indoors_Temperature”.
- **“Y/N”**: Είναι ιδιότητα τύπου boolean των υποκατηγοριών “Summer” και “Winter”.
- **“Behavioral_Actions”**: Είναι ιδιότητα τύπου string της υποκατηγορίας “Messages_to_User”.

Στην Εικόνα 10 απεικονίζονται οι ιδιότητες των κατηγοριών της οντολογίας και των υποκατηγοριών τους, καθώς και η περιγραφή της ιδιότητας “Power” της κατηγορίας “Electrical_Equipment”, όπως ορίστηκαν στο περιβάλλον του προγράμματος PROTEGE. Η Εικόνα 10 (β) αποτυπώνει το είδος της ιδιότητας ως “decimal”, δηλαδή δεκαδικός αριθμός.



(α)

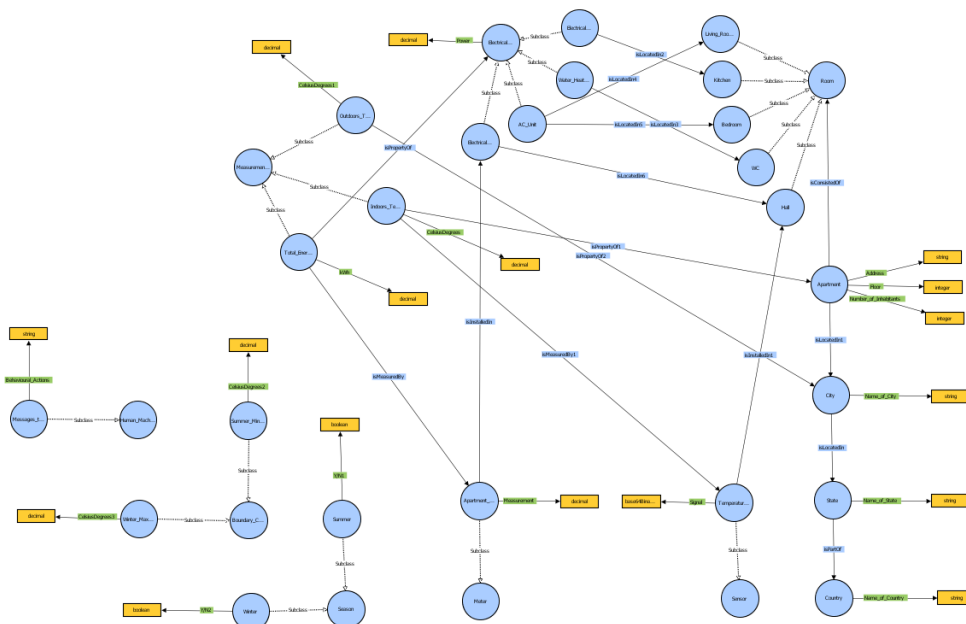


(β)

Εικόνα 10 (α) Οι ιδιότητες των κατηγοριών της οντολογίας και των υποκατηγοριών τους και (β) η περιγραφή της ιδιότητας “Power” της κατηγορίας “Electrical_Equipment”, όπως ορίστηκαν στο περιβάλλον του προγράμματος PROTEGE.

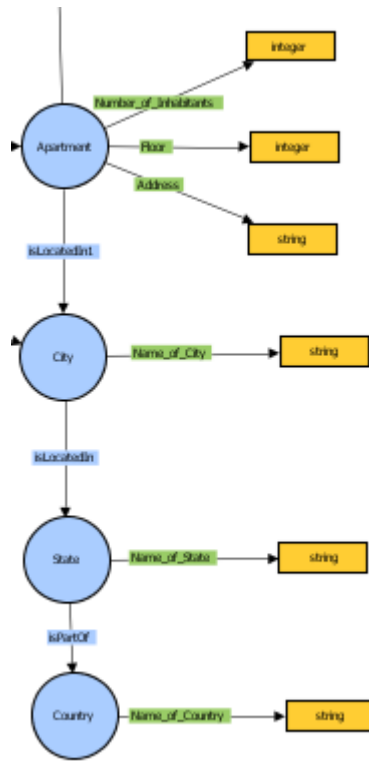
3.2.4 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ

Η οντολογία αναφοράς που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της εφαρμογής αναπαρίσταται οπτικά στην Εικόνα 11. Η οπτική αναπαράσταση περιλαμβάνει το σύνολο των κατηγοριών και των υποκατηγοριών, των σχέσεων και των ιδιοτήτων που ορίστηκαν στις υποενότητες 3.2.1 – 3.2.3.

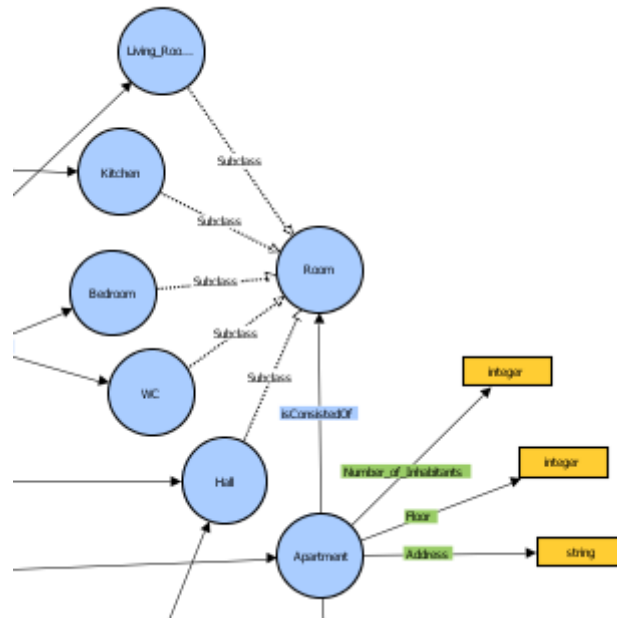


Εικόνα 11 Οπτική αναπαράσταση της οντολογίας αναφοράς.

Στην Εικόνα 12 αναπαρίστανται οπτικά ο ορισμός της χώρας, της επαρχίας και της πόλης όπου βρίσκεται το διαμέρισμα, καθώς και τα δωμάτια από τα οποία αποτελείται και συγκεκριμένα το σαλόνι, η κουζίνα, το υπνοδωμάτιο, το μπάνιο και ο διάδρομος.



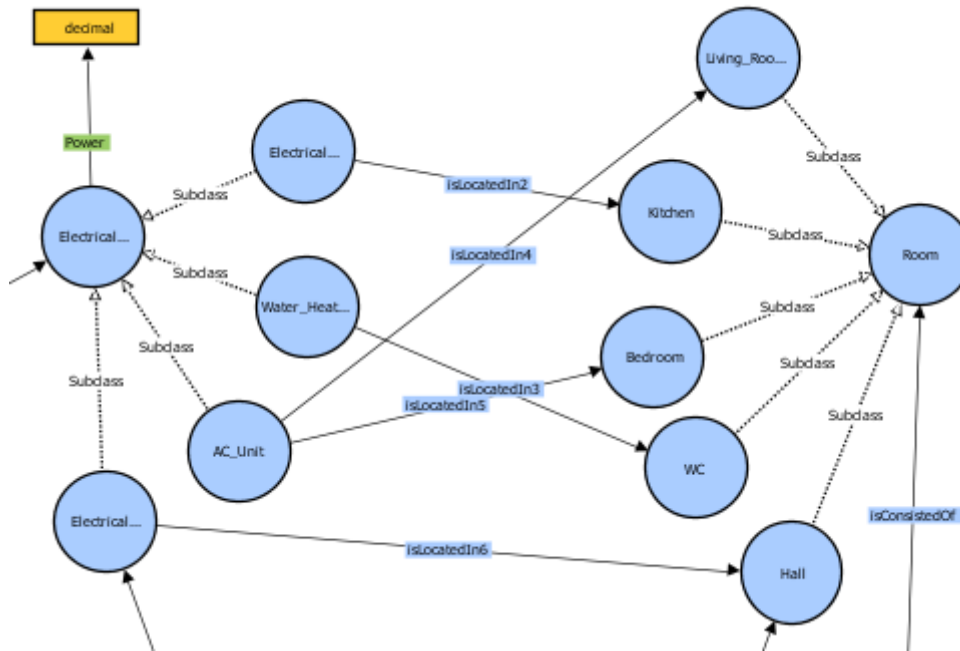
(α)



(β)

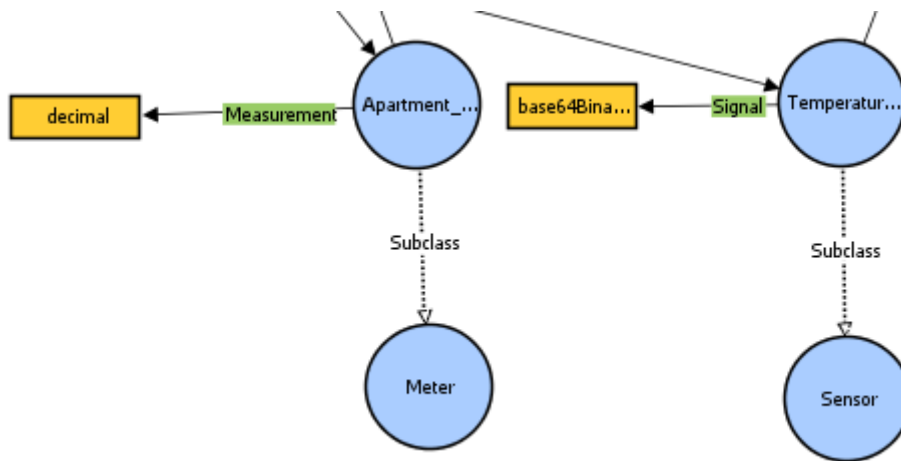
Εικόνα 12 (α) Ο ορισμός της χώρας, της επαρχίας και της πόλης όπου βρίσκεται το διαμέρισμα και (β) τα δωμάτια από τα οποία αποτελείται το διαμέρισμα.

Στα δωμάτια του διαμερίσματος υπάρχει εγκατεστημένος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός. Στα πλαίσια μίας εφαρμογής εξοικονόμησης ενέργειας στο επίπεδο ενός διαμερίσματος ενδιαφέρουν βασικά φορτία, όπως η ηλεκτρική κουζίνα που βρίσκεται στο χώρο της κουζίνας, ο ηλεκτρικός θερμοσίφοντας που βρίσκεται στο μπάνιο και τα κλιματιστικά που βρίσκονται στο σαλόνι και στο υπνοδωμάτιο. Στην Εικόνα 13 απεικονίζεται ο εγκατεστημένος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός.

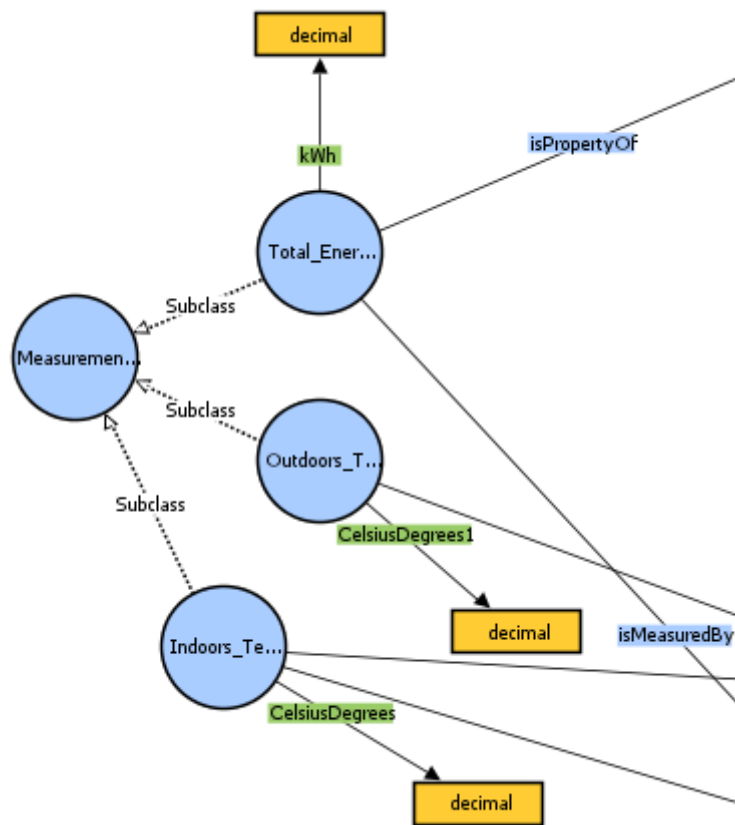


Εικόνα 13 Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που βρίσκεται εγκατεστημένος στα δωμάτια του διαμερίσματος.

Επιπλέον του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού υπάρχουν ένα μετρητής ισχύος εγκατεστημένος στον ηλεκτρολογικό πίνακα και ένας αισθητήρας θερμοκρασίας εγκατεστημένος στο διάδρομο. Ο μετρητής ισχύος μετρά τη συνολική κατανάλωση ενέργειας των φορτίων του διαμερίσματος και ο αισθητήρας θερμοκρασίας την εσωτερική θερμοκρασία του διαμερίσματος. Στην Εικόνα 14, απεικονίζονται ο μετρητής ισχύος και ο αισθητήρας θερμοκρασίας του διαμερίσματος, καθώς και τα μεγέθη τα οποία μετρούν.



(α)



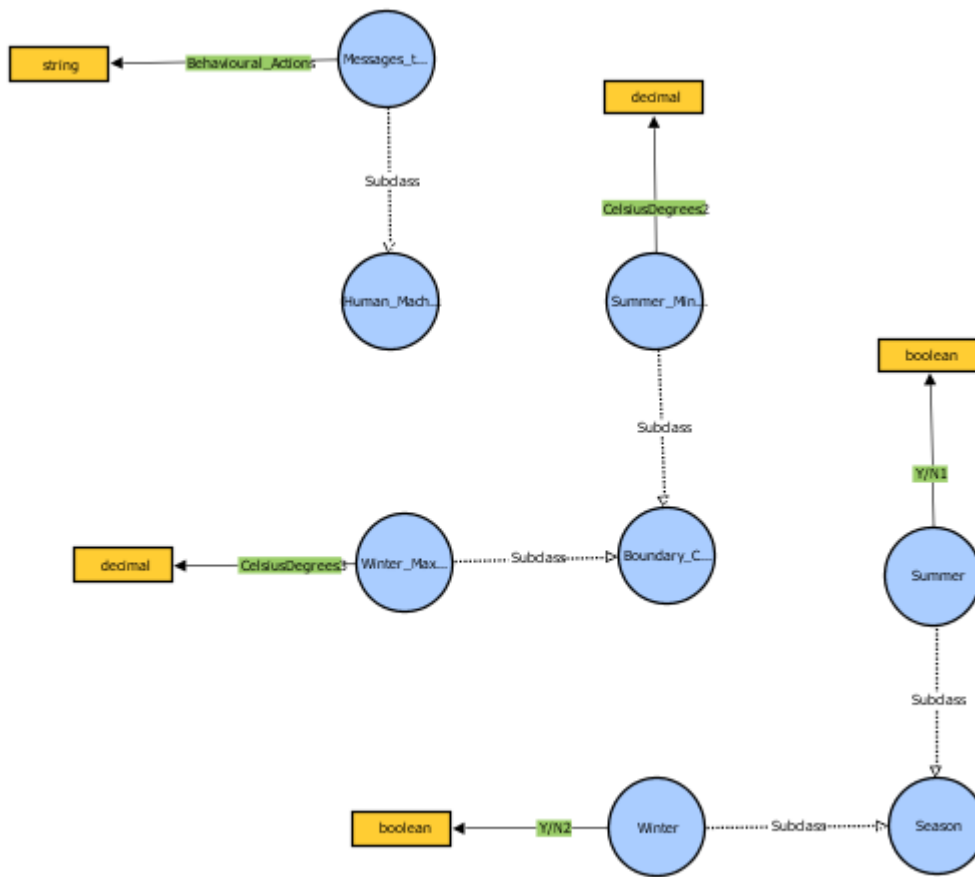
(β)

Εικόνα 14 (α) Ο μετρητής ισχύος και ο αισθητήρας θερμοκρασίας του διαμερίσματος και (β) τα μεγέθη τα οποία μετρούν.

Η εξωτερική θερμοκρασία ορίζεται ως ιδιότητα της πόλης στην οποία βρίσκεται το διαμέρισμα και ως εκ τούτου στα πλαίσια μίας εφαρμογής εξοικονόμησης ενέργειας στο επίπεδο ενός διαμερίσματος θα μπορούσε να θεωρείται ως μέγεθος η τιμή του οποίου μπορεί να παρέχεται από το Διαδίκτυο.

Η οντολογία αναφοράς που αναπτύχθηκε επιτρέπει τη σημασιολογική διαλειτουργικότητα των μετρητών, των αισθητήρων και των συσκευών του διαμερίσματος και μπορεί να συνδεθεί με ένα σύνολο κανόνων και αλγορίθμων για την ανάπτυξη ενός συστήματος υποστήριξης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της αποστολής μηνυμάτων προς το χρήστη.

Σε αυτή τη βάση, ορίζονται η εποχή του χρόνου (“Season”) ως “Summer” ή “Winter”, οι οριακές συνθήκες (“Boundary_Conditions”) “Summer_Minimum_Indoors_Temperature” και “Winter_Maximum_Indoors_Temperature” που αφορούν την εσωτερική θερμοκρασία του διαμερίσματος και οι λειτουργίες ενός συστήματος αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής (“Human_Machine_Interface_Functionalities”) με δυνατότητα αποστολής μηνυμάτων προς το χρήστη (“Messages_to_User”). Οι συγκεκριμένες κατηγορίες και υποκατηγορίες απεικονίζονται στην Εικόνα 15.



Εικόνα 15 Οι κατηγορίες “Season”, “Boundary_Conditions”, “Human_Machine_Interface_Functionalities” και οι υποκατηγορίες τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV - ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Στα πλαίσια του παρόντος κεφαλαίου, διερευνάται πώς μπορεί να αξιοποιηθεί πρακτικά η οντολογία αναφοράς που αναπτύχθηκε ώστε να παράγει αξία σε πραγματικές συνθήκες.

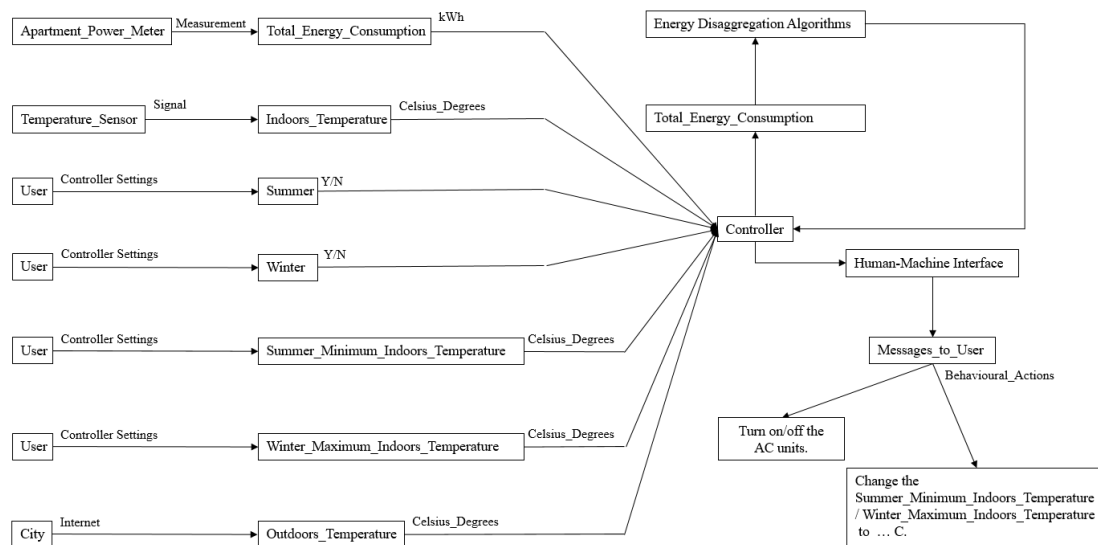
4.1 Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΟΝΤΟΛΟΓΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΟΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATA FLOW)

Με βάση και την εμπειρία από την αξιοποίηση της οντολογίας αναφοράς SAREF αποδεικνύεται ότι είναι σημαντικό η ανάπτυξη μιας οντολογίας αναφοράς να συνοδεύεται από πρακτικούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να αξιοποιηθεί ώστε να παράγει αξία σε πραγματικές συνθήκες.

Η οντολογία αναφοράς που αναπτύχθηκε μπορεί να συνδεθεί με ένα σύνολο κανόνων και αλγορίθμων για την ανάπτυξη ενός συστήματος υποστήριξης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας στο επίπεδο ενός διαμερίσματος μέσω της αποστολής μηνυμάτων προς το χρήστη.

Διευκρινίζεται ότι η οντολογία αναφοράς δε μπορεί από μόνη της να πραγματοποιήσει την ανάλυση δεδομένων και να παράξει συμβουλές. Η υλοποίηση του συστήματος απαιτεί τη σχεδίαση ενός ελεγκτή (Controller) και ενός συστήματος αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής (Human-Machine Interface) ώστε να αποστέλλονται τα μηνύματα προς το χρήστη. Η οντολογία αναφοράς που αναπτύχθηκε, ωστόσο, μπορεί να συμβάλει στη διαχείριση της ροής δεδομένων (Data Flow) που συντελείται στα πλαίσια της εφαρμογής του υπό εξέταση συστήματος υποστήριξης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας. Στην Εικόνα 16 απεικονίζεται η ροή δεδομένων που συντελείται στα πλαίσια εφαρμογής του υπό εξέταση συστήματος.



Εικόνα 16 Η ροή δεδομένων (Data Flow) που συντελείται στα πλαίσια της εφαρμογής του υπό εξέταση συστήματος υποστήριξης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας.

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι εισοδοι και οι εξοδοι του υπό εξέταση συστήματος καθώς και ο αλγόριθμος μη παρεμβατικής παρακολούθησης φορτίου “Energy Disaggregation”.

4.1.1 ΟΙ ΕΙΣΟΔΟΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΚΗΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το σύστημα θα έχει τις εξής εισόδους:

- Την συνολική κατανάλωση των φορτίων του διαμερίσματος (“Total_Energy_Consumption”) η τιμή της οποίας θα παρέχεται από το μετρητή ισχύος (“Apartment_Power_Meter”) που βρίσκεται εγκατεστημένος στον ηλεκτρολογικό πίνακα.
- Την εσωτερική θερμοκρασία (“Indoors_Temperature”) η τιμή της οποίας θα παρέχεται από τον αισθητήρα θερμοκρασίας (“Temperature_Sensor”) που βρίσκεται εγκατεστημένος στο διάδρομο του διαμερίσματος με τη μορφή κατάλληλου σήματος (“Signal”).
- Την εποχή του χρόνου (“Summer” ή “Winter”).
- Τις οριακές συνθήκες που αφορούν την εσωτερική θερμοκρασία του διαμερίσματος και συγκεκριμένα:

- Την μέγιστη επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία (“Summer_Minimum_Indoors_Temperature”) κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου (π.χ. 25 C).
- Την ελάχιστη επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία (“Winter_Maximum_Indoors_Temperature”) κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου (π.χ. 20 C).
- Την εξωτερική θερμοκρασία (“Outdoors_Temperature”) η τιμή της οποίας θα παρέχεται από το Διαδίκτυο με βάση την πόλη (“City”) στην οποία βρίσκεται το διαμέρισμα.

4.1.2 ΟΙ ΕΞΟΔΟΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΚΗΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ως έξοδοι του συστήματος θα μπορούσαν να θεωρηθούν κατάλληλα μηνύματα προς το χρήστη (“Messages_to_User”) μέσω του συστήματος αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής. Τα μηνύματα θα στοχεύουν στην προώθηση της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας προτείνοντας συγκεκριμένες δράσεις προς το χρήστη (“Behavioral_Actions”).

Με βάση τις εισόδους του συστήματος δύο είδη μηνυμάτων θα μπορούσαν να υποστηριχθούν:

- Μηνύματα που αφορούν στην ενεργοποίηση/απενεργοποίηση των κλιματιστικών. Το σύστημα θα συγκρίνει την εσωτερική θερμοκρασία του δωματίου με την επιθυμητή με βάση την εποχή του χρόνου και σε περίπτωση απόκλισης θα στέλνεται στο χρήστη το αντίστοιχο μήνυμα. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που κατά τη θερινή περίοδο η εσωτερική θερμοκρασία του διαμερίσματος υπερβεί την μέγιστη επιθυμητή θερμοκρασία, ο χρήστης θα λαμβάνει μήνυμα να ενεργοποιήσει τα κλιματιστικά. Όταν η εσωτερική θερμοκρασία του διαμερίσματος φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο, θα στέλνεται μήνυμα προς το χρήστη να απενεργοποιεί το κλιματιστικό.

- Μηνύματα που αφορούν στη ρύθμιση της επιθυμητής εσωτερικής θερμοκρασίας. Το σύστημα θα μπορούσε να επιτρέπει την αλλαγή του επιπέδου της επιθυμητής εσωτερικής θερμοκρασίας από το χρήστη προτείνοντας συγκεκριμένη κάθε φορά τιμή με βάση ένα σύνολο κανόνων που θα λαμβάνει υπόψιν την εποχή του χρόνου και την εξωτερική θερμοκρασία.

Μέσω των μηνυμάτων μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας αποφεύγοντας είτε μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές είτε άσκοπη λειτουργία των κλιματιστικών.

4.1.3 Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΜΗ ΠΑΡΕΜΒΑΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

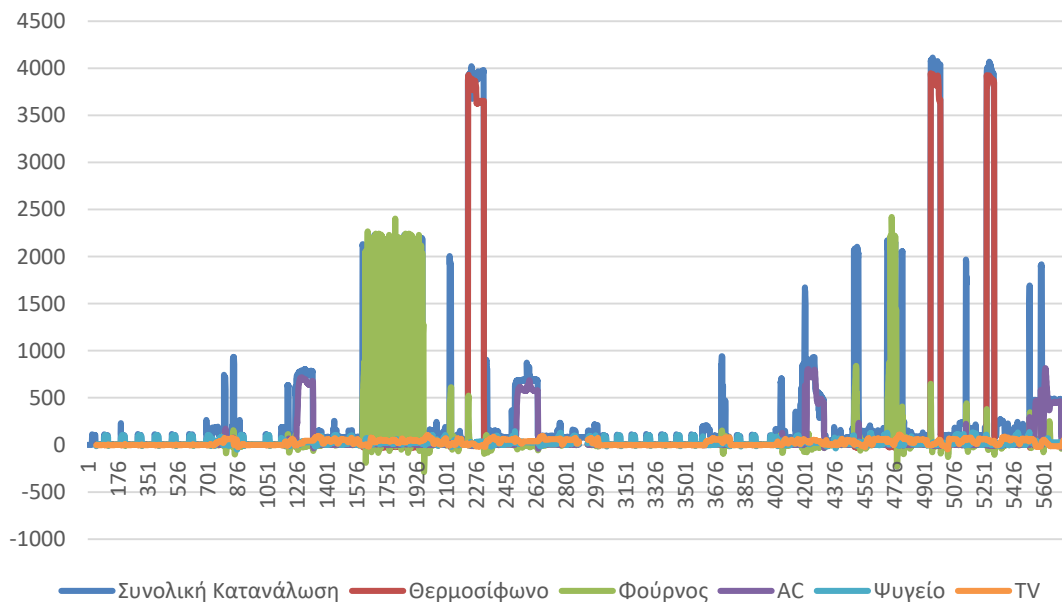
Σύμφωνα με την μη παρεμβατική παρακολούθηση φορτίου [14], είναι εφικτό να εξαχθεί από το ολικό σήμα κατανάλωσης μίας κατοικίας το μοτίβο κατανάλωσης κάθε μεμονωμένης συσκευής, χρησιμοποιώντας αποκλειστικά έναν μετρητή με βάση τον τύπο [15]:

$$X_t = \sum_{i=1}^N y_t^i + \sigma(t)$$

Οι αλγόριθμοι μη παρεμβατικής παρακολούθησης φορτίου (“Energy Disaggregation”) είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι στην υποστήριξη λειτουργιών παροχής συμβουλών για τη συμπεριφορική εξοικονόμηση ενέργειας καθώς παρέχουν στο χρήστη στοχευμένες πληροφορίες για τις επιμέρους καταναλώσεις του. Αυτό καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμη την αξία διασύνδεσης τους με την οντολογία αναφοράς που έχει αναπτυχθεί.

4.2 Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΚΗΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Αξιοποιώντας την οντολογία αναφοράς, αναπτύσσεται σενάριο εφαρμογής του υπό εξέταση συστήματος. Για τις ανάγκες υλοποίησης του σεναρίου αντλήθηκαν δεδομένα για μια τυπική ελληνική κατοικία από τον Δούμουρα (2022) [16] όπου από ανά 30 δευτερόλεπτα μετρήσεις ενός έξυπνου μετρητή τύπου Wattson εξάχθηκαν οι αντίστοιχες καταναλώσεις των επιμέρους συσκευών με χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης τύπου Αναδρομικών Νευρωνικών Δικτύων Μακράς Βραχύχρονης Μνήμης (RNN-LSTM) [17] [18]. Η οπτικοποίηση της συνολικής κατανάλωσης και των καταναλώσεων των επιμέρους συσκευών φαίνεται στην Εικόνα 17.



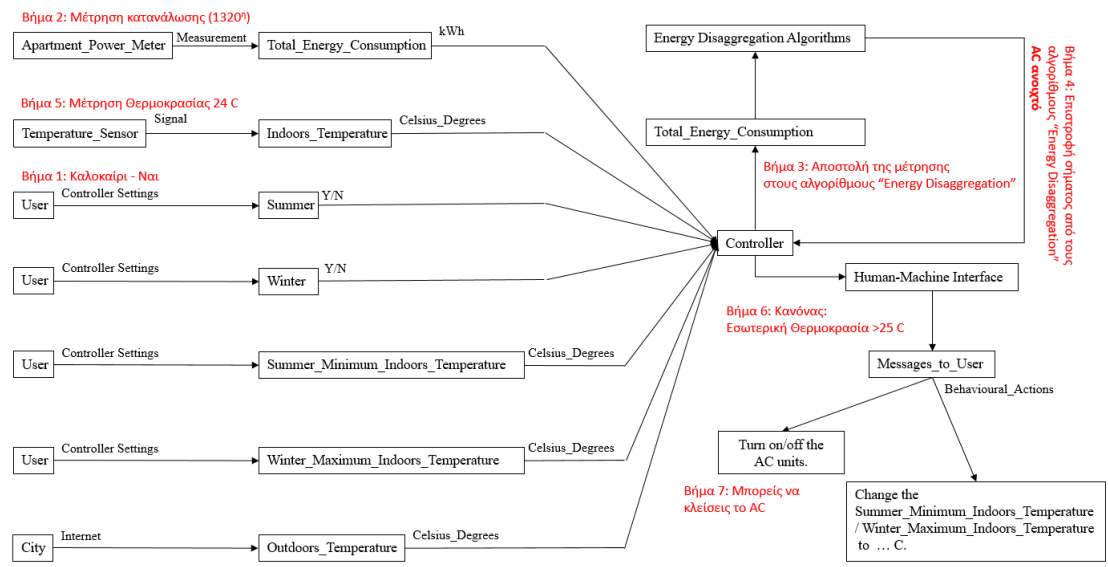
Εικόνα 17 Δεδομένα προβλήματος όπως συλλέχθηκαν από μετρητή για την συνολική κατανάλωση και την κατανάλωση των επιμέρους 5 βασικών συσκευών όπως υπολογίστηκαν από τον αλγόριθμο RNN-LSTM.

Πηγή Δεδομένων: [16]

Το σενάριο αφορά αποστολή μηνύματος προς το χρήστη για την απενεργοποίηση του κλιματιστικού όταν η εσωτερική θερμοκρασία φτάσει το επιθυμητό επίπεδο. Το σενάριο αποτελείται από τα εξής βήματα:

- Βήμα 1: Με βάση ένα ημερολόγιο ή/και με αντίστοιχη επιλογή του χρήστη καταγράφεται ότι η περίοδος αναφοράς είναι το «Καλοκαίρι» (“Summer” – “Y/N”=1).
- Βήμα 2: Από τον μετρητή πραγματοποιείται λήψη μέτρησης της συνολικής κατανάλωσης. Για τις ανάγκες ανάπτυξης του σεναρίου επιλέγεται η μέτρηση κατά τη χρονική στιγμή 1320 από το διάγραμμα της Εικόνας 4.2.
- Βήμα 3: Η μέτρηση αποστέλλεται στους αλγορίθμους “Energy Disaggregation”.
- Βήμα 4: Από τους αλγορίθμους “Energy Disaggregation” έπειτα από την ανάλυση επιστρέφει σήμα που εμφανίζει το κλιματιστικό ως εν λειτουργία.
- Βήμα 5: Από τον αντίστοιχο αισθητήρα θερμοκρασίας πραγματοποιείται λήψη μέτρησης ότι η θερμοκρασία την ίδια στιγμή με τη μέτρηση της συνολικής κατανάλωσης είναι 24 C.
- Βήμα 6: Η μέτρηση συγκρίνεται με την ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία κατά τη θερινή περίοδο έστω 25 C.
- Βήμα 7: Αποστέλλεται μήνυμα στο χρήστη να απενεργοποιήσει το κλιματιστικό.

Στην Εικόνα 18 αποτυπώνεται η ροή δεδομένων της Εικόνας 4.1 με ενσωματωμένα τα βήματα του σεναρίου. Ο χρήστης, εφόσον σε πραγματικές συνθήκες ακολουθήσει τη συμβουλή και απενεργοποιήσει το κλιματιστικό, συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας έχοντας ταυτόχρονα επιτύχει θερμική άνεση.



Εικόνα 18 Σενάριο αποστολής μηνύματος απενεργοποίησης του κλιματιστικού.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ V - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ
ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ**

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, προκύπτει ότι η ανάπτυξη οντολογιών μπορεί να επιλύσει το πρόβλημα της σημασιολογικής διαλειτουργικότητας των «έξυπνων» συσκευών, των μετρητών και των αισθητήρων που βρίσκονται σήμερα σε ένα «έξυπνο» διαμέρισμα. Η ανάπτυξη μίας οντολογίας αναφοράς επιτρέπει η κάθε συσκευή να αντιστοιχίζει τις έννοιες της με τις έννοιες της οντολογίας αντί να αντιστοιχίζει με τις έννοιες καθεμιάς συσκευής, δηλαδή καθιστά δυνατή τη διαλειτουργικότητα σε σημασιολογικό επίπεδο όλων των εμπλεκόμενων συσκευών χωρίς να πρέπει να εξασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα συσκευή προς συσκευή.

Με την εισαγωγή μίας οντολογίας αναφοράς μπορούν να προσδιοριστούν με σαφήνεια όλες οι έννοιες και οι σχέσεις που εμπλέκονται σε μία εφαρμογή εξοικονόμησης ενέργειας επιτρέποντας την περιγραφή και την αναπαράσταση των διαδικασιών και της ροής δεδομένων που συντελούνται στα πλαίσια της εφαρμογής.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, αναπτύχθηκε οντολογία αναφοράς για την υποστήριξη εφαρμογής συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας στο επίπεδο ενός διαμερίσματος, διερευνήθηκε ο τρόπος με τον οποίο η οντολογία αναφοράς μπορεί να συνδυαστεί με ένα σύνολο κανόνων και αλγορίθμων (software) επιτρέποντας την ανάπτυξη του αντίστοιχου ελεγκτή (hardware) για την υλοποίηση της εφαρμογής και τελικά αναδείχθηκαν τόσο η σημασία της ανάπτυξης οντολογιών αναφοράς όσο και ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να αξιοποιηθούν σε πραγματικό επίπεδο, ένα στοιχείο που αποτελεί σημαντικό σημείο για την επιτυχία των προτεινόμενων λύσεων.

Ο τρόπος με τον οποίο αναπτύχθηκε η οντολογία αναφοράς και οι δυνατότητες επεξεργασίας του λογισμικού PROTÉGÉ που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της επιτρέπουν τη δυνατότητα τροποποίησης τμημάτων ή και της οντολογίας συνολικά και τη δυνατότητα επέκτασής της, δηλαδή επιτρέπουν τη διαρκή προσαρμογή της οντολογίας αναφοράς ώστε να καλύπτει νέες έννοιες και σχέσεις που προκύπτουν διευρύνοντας το εύρος των εφαρμογών τις οποίες μπορεί να υποστηρίξει.

5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Συνέχεια της διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να αποτελέσει:

- Η υλοποίηση του συστήματος υποστήριξης της συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας που περιγράφεται στο Κεφάλαιο IV και η ποσοτικοποίηση της εξοικονόμησης που επιτυγχάνεται.
- Η επέκταση της οντολογίας αναφοράς με σκοπό την υποστήριξη ενός μεγαλύτερου εύρους εφαρμογών συμπεριφορικής εξοικονόμησης ενέργειας στο επίπεδο ενός διαμερίσματος. Ενδεικτικά, αναφέρονται:
 - Η καταγραφή των ωρών συνεχούς λειτουργίας της ηλεκτρικής κουζίνας με χρήση του αλγορίθμου “Energy Disaggregation”. Σε περίπτωση που η ηλεκτρική κουζίνα λειτουργεί για μεγάλο χρονικό διάστημα θα υπάρχει προτροπή προς το χρήστη για λήψη κατάλληλων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στοχεύοντας προοπτικά στη μείωση των ωρών συνεχούς λειτουργίας της ηλεκτρικής κουζίνας.
 - Η χρήση αισθητήρα θερμοκρασίας για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα. Σε περίπτωση που η θερμοκρασία στο εσωτερικό του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο θα υπάρχει προτροπή προς το χρήστη για την απενεργοποίηση του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα.
 - Η χρήση αισθητήρων φωτεινότητας για τη μέτρηση της φωτεινότητας σε δωμάτια του διαμερίσματος. Σε περίπτωση που κατά τις πρωινές ώρες η προερχόμενη από το εξωτερικό περιβάλλον φωτεινότητα φτάσει σε ένα επίπεδο χαμηλότερο του επιθυμητού θα υπάρχει προτροπή προς το χρήστη για την ενεργοποίηση του φωτισμού.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] IEA. (2020). Data & Statistics. Retrieved from: <https://www.iea.org/data-and-statistics>
- [2] Tranberg, B., Corradi, O., Lajoie, B., Gibon, T., Staffell, I., & Andresen, G. B. (2019). Real-time carbon accounting method for the European electricity markets. *Energy Strategy Reviews*, 26, 100367.
- [3] Mertens, R. (2013). Manual for statistics on energy consumption in households. *Publications Office of the European Union, Luxembourg*.
- [4] Marinakis, V., Doukas, H., Xidonas, P., & Zopounidis, C. (2017). Multicriteria decision support in local energy planning: An evaluation of alternative scenarios for the Sustainable Energy Action Plan. *Omega*, 69, 1-16.
- [5] Lopes, M. A., Antunes, C. H., & Martins, N. (2012). Energy behaviours as promoters of energy efficiency: A 21st century review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 4095-4104.
- [6] Lopes, M. A., Antunes, C. H., & Martins, N. (2015). Towards more effective behavioural energy policy: An integrative modelling approach to residential energy consumption in Europe. *Energy Research & Social Science*, 7, 84-98.
- [7] Koasidis, K., & Psarras, J. (2021, July). Innovative Personalized Applications to Motivate and Support Behavioural Energy Efficiency. In 2021 12th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA) (pp. 1-6). IEEE.
- [8] Marinakis, V., & Doukas, H. (2018). An advanced IoT-based system for intelligent energy management in buildings. *Sensors*, 18(2), 610.
- [9] Daniele, L., Hartog, F. D., & Roes, J. (2015, August). Created in close interaction with the industry: the smart appliances reference (SAREF) ontology. In *International Workshop Formal Ontologies Meet Industries* (pp. 100-112). Springer, Cham.
- [10] den Hartog, F. (2011). Consumer Networking Standardization: trends and research opportunities. *IEEE Webcast Tutorial*. IEEE, New York.

- [11] W3C. Semantic Web. Retrieved from: <https://www.w3.org/OWL/>
- [12] Brick Consortium (2021). Retrieved from: <https://docs.brickschema.org/intro.html>
- [13] PROTÉGÉ. Retrieved from: <https://protege.stanford.edu/>
- [14] Hart, G. W. (1992). Non-intrusive appliance load monitoring. *Proceedings of the IEEE*, 80(12), 1870-1891.
- [15] Faustine, A., Mvungi, N. H., Kaijage, S., & Michael, K. (2017). A survey on non-intrusive load monitoring methodologies and techniques for energy disaggregation problem. arXiv preprint arXiv:1703.00785.
- [16] Δούμουρας, Ν. (2022). Μη παρεμβατική παρακολούθηση ηλεκτρικού φορτίου οικιακών εγκαταστάσεων με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης.
- [17] Mauch, L., & Yang, B. (2015, December). A new approach for supervised power disaggregation by using a deep recurrent LSTM network. In *2015 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)* (pp. 63-67). IEEE.
- [18] He, W., & Chai, Y. (2016). An empirical study on energy disaggregation via deep learning. *Advances in Intelligent Systems Research*, 133, 338-342.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – Η ΟΝΤΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΕ XML

```
<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF xmlns="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-
ontology-12#"
  xml:base="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:xml="http://www.w3.org/XML/1998/namespace"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#">
  <owl:Ontology
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12"/>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isConsistedOf -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isConsistedOf">
      <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment"/>
      <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Room"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isInstalledIn -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isInstalledIn">
```

```

    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment_Power_Meter"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Panel"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isInstalledIn1 -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isInstalledIn1">
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isInstalledIn"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Temperature_Sensor"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Hall"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#City"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#State"/>
    </owl:ObjectProperty>

```

```

    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn1 -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn1">
        <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn"/>
        <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment"/>
        <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#City"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn2 -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn2">
        <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn"/>
        <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Stoves"/>
        <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Kitchen"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn3 -->

```

```

    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn3">
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Water_Heater"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#WC"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn4 -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn4">
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#AC_Unit"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Living_Room"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn5 -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isLocatedIn5">

```



```

    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-12#isLocatedIn"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-12#AC_Unit"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-12#Bedroom"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-12#isLocatedIn6 -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-12#isLocatedIn6">
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-12#isLocatedIn"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-12#Electrical_Panel"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-12#Hall"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-12#isMeasuredBy -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-12#isMeasuredBy">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-12#Total_Energy_Consumption"/>

```

```

    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment_Power_Meter"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isMeasuredBy1 -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isMeasuredBy1">
        <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isMeasuredBy1"/>
        <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Indoors_Temperature"/>
        <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Temperature_Sensor"/>
        </owl:ObjectProperty>
        <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isPartOf -->
        <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isPartOf">
            <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#State"/>
            <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Country"/>
            </owl:ObjectProperty>
            <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isPropertyOf -->

```

```

    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isPropertyOf">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Total_Energy_Consumption"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Equipment"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isPropertyOf1 -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isPropertyOf1">
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isPropertyOf"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Indoors_Temperature"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isPropertyOf2 -->
    <owl:ObjectProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isPropertyOf2">
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#isPropertyOf"/>

```

```

    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Outdoors_Temperature"/>
    <rdfs:range
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#City"/>
    </owl:ObjectProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Address -->
    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Address">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
    </owl:DatatypeProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Behavioural_Actions -->
    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Behavioural_Actions">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Messages_to_User"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
    </owl:DatatypeProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#CelsiusDegrees -->
    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#CelsiusDegrees">

```

```

    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Values"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Indoors_Temperature"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"/>
</owl:DatatypeProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#CelsiusDegrees1 -->
    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#CelsiusDegrees1">
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Values"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Outdoors_Temperature"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"/>
</owl:DatatypeProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#CelsiusDegrees2 -->
    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#CelsiusDegrees2">
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Values"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Summer_Minimum_Indoors_Temperature"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"/>
</owl:DatatypeProperty>

```

```

<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#CelsiusDegrees3 -->
  <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#CelsiusDegrees3">
  <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Values"/>
  <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Winter_Maximum_Indoors_Temperature"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"/>
</owl:DatatypeProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Floor -->
  <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Floor">
  <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer"/>
</owl:DatatypeProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Measurement -->
  <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Measurement">
  <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment_Power_Meter"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"/>
</owl:DatatypeProperty>

```

```

<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Name -->
  <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Name">
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
  </owl:DatatypeProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Name_of_City -->
  <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Name_of_City">
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Name"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#City"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
  </owl:DatatypeProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Name_of_Country -->
  <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Name_of_Country">
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Name"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Country"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
  </owl:DatatypeProperty>

```

```

<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Name_of_State -->
  <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Name_of_State">
    <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Name"/>
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#State"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
  </owl:DatatypeProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Number_of_Inhabitants -->
  <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Number_of_Inhabitants">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer"/>
  </owl:DatatypeProperty>
<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Power -->
  <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Power">
    <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Equipment"/>
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"/>
  </owl:DatatypeProperty>

```



```

    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Signal -->
    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Signal">
        <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Temperature_Sensor"/>
        <rdfs:range
rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#base64Binary"/>
    </owl:DatatypeProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Space -->
    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Space">
        <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"/>
    </owl:DatatypeProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Values -->
    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Values"/>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#kWh -->
    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#kWh">
        <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Values"/>
        <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Total_Energy_Consumption"/>

```

```

    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"/>
  </owl:DatatypeProperty>
  <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Y/N -->
  <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Y/N"/>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Y/N1 -->
    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Y/N1">
      <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Y/N"/>
      <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Summer"/>
      <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Y/N2 -->
    <owl:DatatypeProperty
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Y/N2">
      <rdfs:subPropertyOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Y/N"/>
      <rdfs:domain
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Winter"/>
      <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"/>
    </owl:DatatypeProperty>

```

```

<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#AC_Unit -->
  <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#AC_Unit">
    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Equipment"/>
  </owl:Class>
<!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment -->
  <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment"/>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment_Power_Meter -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Apartment_Power_Meter">
      <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Meter"/>
    </owl:Class>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Bedroom -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Bedroom">
      <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Room"/>
    </owl:Class>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Boundary_Conditions -->

```

```

<owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Boundary_Conditions"/>
  <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#City -->
  <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#City"/>
  <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Country -->
  <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Country"/>
  <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Equipment -->
  <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Equipment"/>
  <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Panel -->
  <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Panel">
    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Equipment"/>
  </owl:Class>
  <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Stoves -->
  <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Stoves">

```

```

    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Equipment"/>
    </owl:Class>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Hall -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Hall">
        <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Room"/>
        </owl:Class>
        <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Human_Machine_Interface_Functionalities -->
        <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Human_Machine_Interface_Functionalities"/>
            <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Indoors_Temperature -->
            <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Indoors_Temperature">
                <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Measurements"/>
                </owl:Class>
                <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Kitchen -->
                <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Kitchen">

```

```

    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Room"/>
    </owl:Class>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Living_Room -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Living_Room">
        <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Room"/>
        </owl:Class>
        <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Measurements -->
        <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Measurements"/>
            <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Messages_to_User -->
            <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Messages_to_User">
                <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Human_Machine_Interface_Functionalities"/>
                </owl:Class>
                <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Meter -->
                <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Meter"/>
                    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Outdoors_Temperature -->

```

```

    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Outdoors_Temperature">
    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Measurements"/>
    </owl:Class>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Room -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Room"/>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Season -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Season"/>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Sensor -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Sensor"/>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#State -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#State"/>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Summer -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Summer">

```

```

    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Season"/>
    </owl:Class>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Summer_Minimum_Indoors_Temperature -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Summer_Minimum_Indoors_Temperature">
        <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Boundary_Conditions"/>
        </owl:Class>
        <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Temperature_Sensor -->
        <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Temperature_Sensor">
            <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Sensor"/>
            </owl:Class>
            <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Total_Energy_Consumption -->
            <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Total_Energy_Consumption">
                <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Measurements"/>
                </owl:Class>
                <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-12#WC
-->

```



```

    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#WC">
    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Room"/>
    </owl:Class>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Water_Heater -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Water_Heater">
    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Electrical_Equipment"/>
    </owl:Class>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Winter -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Winter">
    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Season"/>
    </owl:Class>
    <!-- http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Winter_Maximum_Indoors_Temperature -->
    <owl:Class
rdf:about="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Winter_Maximum_Indoors_Temperature">
    <rdfs:subClassOf
rdf:resource="http://www.semanticweb.org/user/ontologies/2021/5/untitled-ontology-
12#Boundary_Conditions"/>
    </owl:Class>

```