



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΛΑΡΙΣΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

του Μπρουσοβάνα Αλέξανδρου

Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού Τ.Ε.

ΘΕΜΑ:

«ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΣΑΦΟΥΣ
ΓΝΩΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ»

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Παπαγεωργίου Ελπινίκη

Λάρισα 2021

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	ΕΞΗΓΗΣΗ
ΑΓΔ	Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα
ΑΕΠ	Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΥΕ	Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΖΝΧ	Ζεστό Νερό Χρήσης
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ΚΜΕΙ	Κτίριο Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου
ΟΕΑΚ	Οδηγία Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων
ΠΟΥ	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
ΣΔΕΚ	Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίου
ΣΗΕ	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΣΘΑΚ	Σύστημα Θέρμανσης Αερισμού και Κλιματισμού
ΤΝΔ	Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα
Φ/Β	Φωτοβολταϊκά
ΧΥΤΑ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής
ΑCH	Air Changes Per Hour
AI	Artificial Inteligence
ANN	Artificial Neural Network
ASRAE	The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BECCS	Bioenergy With Carbon Capture and Storage
BEMS	Building Energy Management Systems
CAD	Computer Assisted Design
CAV	Constant Air Volume
CCHP	Combine Cooling Heating and Power
CFC	Chloro Fluoro Carbons
COP	Coefficient Of Performance
DOC	Desired Output Concept
EIA	Energy Information Administration
EPBD	Energy Performance Building Directive
GMST	Global Mean Surface Temperature
HDD	Heating Degree Days
HOMER	Hybrid Optimization Model for Electric Renewable
HVAC	Heat Ventilation Air-Conditioning
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LED	Light Emitting Diode
MLP	Multilayer Perceptron

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

NHL	Nonlinear Hebbian Learning
NZEB	Net Zero Energy Building
nZEB	nearly Zero Energy Building
PCM	Phase Change Material
PM	Particulate Matter
ppm	Part Per Million
PV	Photovoltaics
Quad	a short-scale quadrillion
VAV	Variable Air Volume
VOC	Volatile Organic Compounds
VRF	Variable Air Volume
ZEB	Zero Energy Building

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία θα πραγματοποιήσει μια πλήρη τροχιά από το σημείο μηδέν, αναλύοντας εκφράσεις για το περιβάλλον ενώ, εν συνεχεία προσφέρεται, μια γενική άποψη της κατάστασης και της αναγκαιότητας που υπάρχει στον κτιριακό τομέα, όταν αυτός αποτελεί, έναν, από τους κύριους και βασικούς καταναλωτές ενέργειας, σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά και εγχώριο.

Στις επόμενες παραγράφους ο αναγνώστης είναι ικανός να διακρίνει μέσα από τα κεφάλαια της εργασίας πως διακυμάνθηκαν οι ενεργειακές οικονομίες μέσα στην τελευταία δεκαετία, καθώς, επίσης, πιο αναλυτικά θα έχει την δυνατότητα να αναγνώσει δεδομένα της τελευταίας τριετίας (2019-2021), με την παγκόσμια αγορά να βρίσκεται υπό καθεστώς πίεσης λόγω της υγειονομικής πανδημίας, όπου και παρουσιάζονται δεδομένα τα οποία αποτελούν επίπεδα ρεκόρ, ως προς τις μειώσεις καταναλώσεων και εκπεμπόμενων ρύπων, για την εποχή μας.

Εν συνεχεία, πραγματοποιείται μια εκτεταμένη αναφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Αναλύεται, η συνεισφορά των ΑΠΕ προς το ανθρωπογενές περιβάλλον και η ενεργειακή αποδέσμευση και αντικατάσταση των συμβατικών μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τις ανθρώπινες δραστηριότητες και ενώ με τη σειρά τους ευθύνονται σε μεγάλο ποσοστό, λόγω των αυξημένων παραγόμενων αέριων ρύπων όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο, για την κατάσταση που έχει έρθει το περιβάλλον στις μέρες μας (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Γίνεται επίσης, αναφορά στα είδη των ΑΠΕ που υπάρχουν, ενώ ταυτόχρονα, παρουσιάζεται η αναπτυξιακή τους πολιτική σε παγκόσμιο επίπεδο.

Και ενώ πραγματοποιείται, αναφορά ως προς τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, η εργασία μετέπειτα, εισέρχεται σε μια εκτενή ανάλυση για την ενεργειακή κατανάλωση που παρουσιάζουν οι κτιριακές υποδομές, τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και σε εγχώριο, τα είδη της τελικής χρήσης ενέργειας και τα είδη καυσίμου που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Επίσης, στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στα Κτίρια Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου, τα οποία αποτελούν καινοτόμες πρακτικές κατασκευής κτηρίων μέσω παθητικών συστημάτων (θέρμανσης-ψύξης, κατασκευαστικών τμημάτων κελύφους) και καινοτόμων ηλεκτρονικών έξυπνων συστημάτων με στόχο την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Ταυτόχρονα, αναλύεται η παραγωγή ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω μικρών εγκαταστάσεων στα επιμέρους

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

τμήματα της κτιριακής υποδομής και προτείνονται μέθοδοι που θα προσφέρουν στο κτίριο μερική ή ολική ενεργειακή ανεξαρτησίας.

Μέσα από το Κεφάλαιο 6, το οποίο ασχολείται με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής και την πορεία την οποία πρόκειται να ακολουθήσει το περιβάλλον, αναπτύσσονται επιμέρους οι πολιτικές προστασίας που θεσπίστηκαν από τους διεθνείς οργανισμούς. Ενώ, στη συνέχεια γίνονται αναφορές για την επίδραση του κελύφους ως προς την θέρμανση και ψύξη, ενώ παράλληλα γίνεται αναφορά περί αερισμού κτιριακών χώρων. Επίσης, γίνεται εισαγωγή στον βέλτιστο σχεδιασμό των ΚΜΕΙ σε συνάρτηση με την εφαρμογή των BEMS επί των κτιριακών υποδομών.

Τέλος, παρουσιάζονται οι τεχνικές Τεχνητής Νοημοσύνης μέσω της μηχανικής μάθησης, που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό για περιπτώσεις λήψης αποφάσεων, προβλέψεων κ.α. Αναπτύσσονται τέσσερις (Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα, Έμπειρα Συστήματα, Γενετικοί Αλγόριθμοι, Ασαφής Λογική) διαφορετικές τεχνικές, καθώς επίσης, αναλύονται τα επιμέρους στάδια δόμησης συστήματος και παραμέτρων που ακολουθούν. Κυρίως όμως, η εργασία ασχολείται με το κομμάτι της Ασαφούς Λογικής και το πεδίο του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, όπου αυτό το κομμάτι αποτελεί και το βασικό μέρος του συστήματος, για την επίλυση του προβλήματος που παρουσιάζεται και αντιμετωπίζει ενεργειακά το κτίριο το οποίο μελετάτε μέχρι το τέλος της εργασίας.

Περιεχόμενα

1.	Φυσικό Περιβάλλον	9
1.1	Ορισμός.....	9
1.2	Περιβάλλον και Μόλυνση	10
1.2.1	Μεγαλύτερες Κατηγορίες Μόλυνσης	11
1.3	Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, Μόλυνση του Περιβάλλοντος και Ενέργειες Καταπολέμησης	13
1.3.1	Παγκόσμια Ενεργειακή Προοπτική	16
2.	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	24
2.1	Ηλιακή Ενέργεια.....	26
2.2	Αιολική ενέργεια.....	27
2.3	Υδροηλεκτρική Ενέργεια	28
2.4	Παγκόσμια Ανάπτυξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	28
2.5	Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Πρωτοπόρος στον Τομέα της Παγκόσμιας Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	29
3.	Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε)	30
3.1	Κατάσταση Ελληνικού Συστήματος Παραγωγής Ενέργειας	32
4.	Ενεργειακή Κατανάλωση Κτηριακών Εγκαταστάσεων	35
4.1	Η Τελική Χρήση της Ενέργειας στις Κτιριακές Υποδομές.....	39
4.2	Η Κατανάλωση Ενέργειας Σύμφωνα με την Χρήση κάθε Τύπου Καυσίμου	43
5.	Κτήρια Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου	48
5.1	Τι Αντιπροσωπεύουν τα Κτίρια Μηδενικού ενεργειακού Ισοζυγίου	55
5.2	Υπερσύγχρονες Τεχνολογίες για τα Κτίρια Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου (ΚΜΕΙ).....	58
5.2.1	Παθητικές Στρατηγικές Κτιρίων	58

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

5.2.2 Παθητικά Ενεργειακά Κτίρια με Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας	59
5.3 Ενεργειακά Αποδοτικά Συστήματα Εξυπηρέτησης Κτιριακών Εγκαταστάσεων	85
5.3.1 Συστήματα Θερμικής Άνεσης HVAC	85
5.4 Άλλα Κτιριακά Συστήματα Υποστήριξης	89
5.4.1 Ηλιακοί Συλλέκτες (Ηλιακοί Θερμοσίφωνες)	89
5.4.2 Συστήματα Φωτισμού	92
5.4.3 Ηλεκτρικές Συσκευές	93
5.5 Παραγωγή Ενέργειας από Α.Π.Ε.	93
5.5.1 Ηλιακή Ενέργεια	96
5.5.2 Αιολική Ενέργεια	97
5.5.3 Γεωθερμική Ενέργεια	99
5.5.4 Βιοενέργεια	102
6. Προκλήσεις των Κτιριακών Υποδομών σε Ενεργειακό Επίπεδο	103
6.1 Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή και η Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στις Κτιριακές Εγκαταστάσεις	103
6.1.1 Σενάριο Βιώσιμης Ανάπτυξης	107
6.1.2 Σενάριο Καθορισμένων Πολιτικών	107
6.2 Η Επίδραση του Κελύφους του Κτιρίου και η Ποιότητα του Εσωτερικού Αέρα στη Θέρμανση και Ψύξη της Εγκατάστασης	108
6.3 Βέλτιστο Σχεδιαστικό Κόστος ΚΜΕΙ	110
6.4 Έξυπνη Διαχείριση των Ενεργειακών Αναγκών στα Κτίρια (BEMS)	111
7. Τεχνικές Τεχνητής Νοημοσύνης	114
7.1 Τεχνητή Νοημοσύνη	114
7.2 Υπολογιστική Νοημοσύνη	117
7.3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks)	118
7.3.1 Τεχνητός Νευρώνας (Neuron)	120
7.3.2 Τύπος Σύνδεσης (Connection Formula)	120

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

7.3.3	Κανόνες Εκμάθησης.....	122
7.3.4	Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα και Εποπτείες Εκπαίδευσης	123
7.4	Έμπειρα Συστήματα (Expert Systems).....	129
7.5	Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms).....	134
7.6	Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic).....	137
7.6.1	Μεθοδολογίες Ασαφών Συστημάτων	138
7.6.2	Ασαφής Επαγωγικός Λογισμός (Fuzzy Inductive Reasoning, FIR)	139
7.6.3	Προσαρμοστικό Νευρο-Ασαφές Σύστημα Συμπερασμάτων (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS)	144
7.7	Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο (Fuzzy Cognitive Map).....	148
7.7.1	Γενική Μεθοδολογία και Ανάπτυξη Ασαφών Γνωστικών Χαρτών	150
7.7.2	Μη Εποπτευόμενη Εκμάθηση Αλγόριθμων για τα Ασαφών Γνωστικών Χαρτών (Unsupervised Learning)	155
7.7.3	Μη Γραμμικός Αλγόριθμος Hebbian Εκπαίδευσης Ασαφών Γνωστικών Χαρτών (Non-Hebbian Learning Algorithm).....	157
7.7.4	Η Ανάγκη για Εκπαίδευση με τον Non-linear Hebbian Learning αλγόριθμο	160
7.7.5	Εκθετικοί Ασαφείς Γνωστικοί Χάρτες (State Fuzzy Cognitive Maps)	163
8.	Αυτοματοποίηση Κτιρίου και Μοντελοποίηση Κατανάλωσης.....	166
8.1	Μοντέλο Κτιρίου	166
8.2	Δόμηση Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη (FCM).....	167
8.2.1	Ορισμός Εννοιών (Concept definition).....	168
8.2.2	Προδιαγραφές Διασυνδέσεων (Interconnections specification)	168
8.3	Αποτελέσματα	170
8.3.1	Αποτελέσματα από Υπάρχων Μοντέλο Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη	172
8.3.2	Αποτελέσματα Νέας Προσέγγισης.....	173

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

9. Επίλογος.....	176
10. Παράρτημα.....	180
11. Βιβλιογραφία.....	183

1. Φυσικό Περιβάλλον

1.1 Ορισμός

Το «Φυσικό Περιβάλλον» υπό το φως της κοινωνικό εταιρικής ευθύνης ορίζεται ως φυσικό ή φυσικό περιβάλλον μέσα στο οποίο η ανθρώπινη ζωή λαμβάνει χώρα. Κάποιοι αποκαλούν το «Φυσικό Περιβάλλον», φύση, ο δικός μας ζωντανός πλανήτης, ζωή επί Γης ή γεωφυσικός κόσμος. Σε αυτό το σημείο όμως, είναι σημαντικό να γίνει μια διάκριση μεταξύ των δυο λέξεων του όρου «φυσικό» και «περιβάλλον».

«Φυσικό» χαρακτηρίζεται, αυτό που μπορεί να συμβαίνει στον κόσμο μας μακριά και ανεξάρτητα από την ανθρώπινη επαφή. Το ανθρώπινο είδος επίσης, μπορεί να ονομαστεί «φυσικό», ωστόσο, όταν κατανοούμε την λέξη, αυτομάτως παράγεται η σκέψη για το ουσιαστικό του επιρρήματος, δηλαδή «φύση». Η φύση και αυτό που αποκαλείται «φυσικό», εμπεριέχει διαφορετικά είδη ζωντανών οργανισμών, όπως, ο άνθρωπος, τα ζώα, τα φυτά και τα βακτήρια, καθώς και των γεωφυσικών σωματιδίων τα οποία βρίσκουμε σε όλες τις επιφάνειες, τις οποίες και ζουν, μέσα και έξω από αυτές, όπως το νερό, το έδαφος και ο αέρας. Τα συγκεκριμένα γεωφυσικά σωματίδια βρίσκονται σε τεράστιες παραλλαγές παντού, από τα ψηλότερα βουνά, ως και τα πιο βαθιά σημεία των ωκεανών ανέκαθεν. Επιπρόσθετα, οφείλουμε να διαχωρίσουμε πώς ότι δεν παράγεται από την φύση αλλά από τον άνθρωπο δεν μπορεί να θεωρηθεί «φυσικό» ασχέτως αν έχει κατασκευαστεί από συστατικά τα οποία βρίσκονται στην φύση, όπως για παράδειγμα τα διάφορα πολυμερή (πλαστικό, παράγωγο του πετρελαίου) τα οποία συναντώνται συχνά στην καθημερινότητα μας.

«Περιβάλλον» χαρακτηρίζεται από τους ανθρώπους, οτιδήποτε μπορεί να περιβάλλει το ανθρώπινο είδος, με ότι αυτό μπορεί να περιλαμβάνει μέσα του. Δεδομένου ότι το «Περιβάλλον» μπορεί να οριστεί ως, κάτι το οποίο έχει δομηθεί-κατασκευαστεί από τον άνθρωπο και μπορεί να αποτελεί, είτε κτηριακές υποδομές, είτε κατασκευαστικές υποδομές παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας. Ωστόσο, οφείλουμε να επικεντρωθούμε σε αυτό το σημείο στο «Φυσικό Περιβάλλον» το οποίο περιβάλλει τον άνθρωπο.

Σύμφωνα με του προαναφερθέντες χαρακτηρισμούς-ορισμούς, «Φυσικό Περιβάλλον» σημαίνει, ότι δημιουργείται από την φύση και περιβάλλει τον άνθρωπο εκεί όπου ζει και ασκεί τις καθημερινές του ανάγκες (καθημερινή ζωή,

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

επαγγελματική ζωή, δραστηριότητες), χρησιμοποιώντας διάφορα στοιχεία και πόρους από την φύση, με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί η ανθρώπινη ζωή και δραστηριότητα παρέχοντας εξασφάλιση των αναγκών του και ευημερία στην περιοχή του πλανήτη μας, όπου ζούμε (Leblanc, 2013).

1.2 Περιβάλλον και Μόλυνση

Σχεδόν κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα που έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση ή την υποτίμηση της ποιότητας του φυσικού περιβάλλοντος θεωρείται ως ρύπανση. Η περιβαλλοντική ρύπανση δεν αποτελεί ένα νέο φαινόμενο, αλλά παραμένει το μεγαλύτερο πρόβλημα στον κόσμο με το οποίο βρίσκεται αντιμέτωπη η ανθρωπότητα. Ταυτόχρονα με τις κυρίαρχες περιβαλλοντικές αιτίες, προκαλεί, τη νοσηρότητα του ανθρώπινου είδους καθώς και τη θνησιμότητα του. Όσο απίθανο και αν φαίνεται, η εσκεμμένη άγνοια προς τις διάφορες μορφές ρύπανσης έχει ως αποτέλεσμα οι άνθρωποι να εκτελούν δραστηριότητες που αποδίδουν επιβλαβή υποπροϊόντα σε μορφές και ποσότητες όπου το περιβάλλον πλέον δεν έχει την δυνατότητα να αντισταθμίσει χωρίς άμεση παραμόρφωση του συστήματος του (Ukaogo et al., 2020).

Η αλλαγή του κλίματος και του περιβάλλοντος, δεν προκύπτουν από μεμονωμένα αίτια, αλλά και από την συμμετοχή άλλων παγκόσμιων αλλαγών, όπως, η εξάντληση του στρατοσφαιρικού όζοντος, η απώλεια βιοποικιλότητας, οι αλλαγές στο πρότυπα χρήσης γης, καθώς και από την εξάντληση των υδροφορέων, δεδομένα καταστάσεων εκμετάλλευσης από την πλευρά του ανθρώπου, όπου με ορατό αποτέλεσμα, προκύπτουν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και την κοινωνία, όπως προαναφέρθηκε. Επίσης, παρατηρείται μια συσχέτιση μεταξύ της αλλαγής του κλίματος και αυτών των φαινομένων. Για παράδειγμα, η άνοδος της θερμοκρασίας της χαμηλότερης ατμόσφαιρας μπορεί να αυξήσει την εξάντληση του στρατοσφαιρικού όζοντος, επίσης η αποξήλωση των δασών οδηγεί σε απώλεια της βιοποικιλότητας, ιδίως στην περίπτωση όπου περιλαμβάνονται τροπικά δάση, ενώ έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Μία ακόμη πτυχή του προβλήματος, αποτελεί η συνεχιζόμενη αύξηση των πληθυσμών και ταυτόχρονα η μαζική αστικοποίηση τους, κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς και τα μη βιώσιμα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας στα βιομηχανοποιημένα έθνη. Τα παραπάνω, τείνουν να καταπονούν τα κύρια στελέχη (ατμόσφαιρα, βιοποικιλότητα κτλ.) που είναι υπεύθυνα για την υποστήριξη και διατήρηση της ζωής στη γη, με ολοένα την αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας για κάλυψη των αναγκών του ανθρώπου (Ebi, 2011). Ωστόσο, οι επιπτώσεις που επηρεάζουν τον άνθρωπο, ταυτόχρονα, προσβάλλουν την υδρόβια και χερσαία ζωή,

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

συμπεριλαμβανομένων των μικροοργανισμών, οι οποίοι λόγω της αφθονίας και της ποικιλομορφίας τους τείνουν να διατηρούν τη βιογεωχημική τους λειτουργία η οποία είναι απαραίτητη για την διατήρηση του εκάστοτε οικοσυστήματος (Ukaogo et al., 2020).

Επιπλέον, χρειάζεται να αναφερθεί, ότι οι αιτίες της περιβαλλοντικής ρύπανσης δεν περιορίζονται μόνο σε συγκεκριμένες ομάδες, όπως: η βιομηχανοποίηση, η αστικοποίηση και η αύξηση πληθυσμού. Ένας ακόμη παράγοντας είναι η ονομαζόμενη «διασυνοριακή μετακίνηση ρύπων» από τις ανεπτυγμένες προς τις αναπτυσσόμενες χώρες ή και το αντίθετο. Δηλαδή, μέσω διαφορετικών οδών, κυρίως αέρος και υδάτων, η ρύπανση που προκύπτει σε μια χώρα μπορεί να προκαλέσει τεράστιο πρόβλημα σε μία άλλη, γεγονός το οποίο δεν μπορεί να γνωρίσει αδιαφορία. Η διασυνοριακή ρύπανση, βρίσκεται να είναι ένα μέρος του προβλήματος της ρύπανσης του περιβάλλοντος η οποία αποτελεί παγκόσμια πρόκληση.

1.2.1 Μεγαλύτερες Κατηγορίες Μόλυνσης

1.2.1.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να οριστεί ως η εμφάνιση χημικών ενώσεων στον ατμοσφαιρικό αέρα, οι οποίες αποτελούνται από τοξικές χημικές ενώσεις, καθώς και εμφανίζουν συγκεντρώσεις οποίες βρίσκεται να είναι επιβλαβής για την πανίδα, τη χλωρίδα, τον άνθρωπο, ακόμη και για τα ίδια τα κτίρια. Η παρουσία αυτών των χημικών ενώσεων που προαναφέρθηκε, τείνει να προκαλεί υποβάθμιση στην ποιότητα του αέρα και στο περιβάλλον, με όποιες επιπτώσεις αυτό συνεπάγεται (νοσηρότητα, θνησιμότητα). Κατ' επέκταση, σαν γινόμενο προκύπτουν δυσμενείς αλλαγές στην ποιότητα ζωής στη πλανήτη. Μία τέτοια σημαντική αλλαγή, είναι η υπερθέρμανσης του πλανήτη (φαινόμενο του θερμοκηπίου), η οποία οφείλεται στην σημαντική μείωση της οζονικής στιβάδας στην περίμετρο της Γης (Στρατόσφαιρα).

Η δημιουργία των αέριων ρύπων διαθέτει άμεση εξάρτηση, από την πηγή την οποία προέρχεται, την μορφή που παίρνουν κατά την δημιουργία τους και την κατάσταση στην οποία εντοπίζονται (στερεά ή τέλεια διασκορπισμένα υγρά αερολύματα) όπου βάσει αυτού μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι υπάρχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά για την ομάδα των ρύπων, των οποίων η διάδοση και οι παρενέργειες διαφέρουν μεταξύ τους και λόγω της σύνθεσης τους και του τρόπου στον οποίο εισβάλλουν στο φυσικό περιβάλλον, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο αρνητικές συνέπειες.

Οι συνηθέστεροι αέριοι ρύποι ομαδοποιούνται σε δυο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αέριων ρύπων είναι αυτοί οι οποίοι, είτε παράγονται ή προξενούνται από το ίδιο το φυσικό περιβάλλον (φυτά, κεραυνοί, ηφαίστεια κ.λπ.). Η δεύτερη

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

κατηγορία αέριων ρύπων προέρχεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Σε αυτή την κατηγορία, κατά κύριο λόγο, οι αέριοι ρύποι που σχηματίζονται προέρχονται από διάφορες εργασίες ή διεργασίες του ανθρώπου, όπως χαρακτηριστικά αυτές είναι, οι μεταφορές, η θέρμανση των κτιριακών εγκαταστάσεων, οι βιομηχανικές διεργασίες και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Συνηθέστεροι παραγόμενοι τέτοιοι αέριοι ρύποι είναι τα οξείδια του θείου (SO_2), τα οξείδια του αζώτου (συμπεριλαμβανομένων των NO και NO_2), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

1.2.1.2 Ρύπανση Των Υδάτων

Η ρύπανση των υδάτων μπορεί να προέρχεται από δυο κατευθύνσεις τις τεχνητές πηγές μόλυνσης και τις φυσικές πηγές μόλυνσης. Οι υπόγειες πηγές νερού μπορεί να διαθέτουν φυσικά μεταλλεύματα τα οποία σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να είναι πλούσια σε τοξικά μέταλλα τα οποία μπορεί να καταλήγουν στους υδάτινους υπόγειους πόρους, προκαλώντας ρύπανση των υπογείων υδάτων καθώς και εν 'συνεχεία την εκάστοτε περιοχή όπου μπορεί να εκβάλλουν ή να αποταμιεύονται φυσικά. Χαρακτηριστικά, όταν εντοπίζονται περιπτώσεις υψηλής περιεκτικότητας μόλυβδου καθώς και αρσενικού τότε αυτομάτως μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι αυτά νερά έχουν διέλθει από τέτοιου είδους μεταλλεύματα, όπου μπορούν να ονομαστούν φυσικές πηγές μόλυνσης των υδάτων.

Οι ανθρωπογενείς ή τεχνητές πηγές περιλαμβάνουν μόλυνση λόγω των παραγόμενων εγχώριων αποβλήτων, όπως η χρήση εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων, απορριμμάτων (των οποίων η προέλευση προέρχεται από την επεξεργασία των τροφίμων), ρύπων από την κτηνοτροφική δραστηριότητα, τις διάφορες πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), την επεξεργασία μετάλλου στη βιομηχανία, όπως επίσης την απόρριψη βαρέων μετάλλων από απόβλητα ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και τέλος από διάφορα χημικά και ιατρικά απόβλητα.

Επιπρόσθετα, οι παραγόμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι, όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια (PM), έχουν την ικανότητα να εισαγάγουν οργανικούς ρύπους στα επιμέρους επιφανειακά ύδατα. Αυτού του είδους οι ρύποι, μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλο βαθμό σε πιθανή νοσηρότητα των ανθρώπινων πληθυσμών καθώς και της επιμέρους πανίδα της εκάστοτε περιοχής. Μερικά προβλήματα υγείας που μπορούν να παρουσιαστούν στους ανθρώπους είναι: πόνοι του στομάχου, έμετος και διάρροια. Αντίστοιχα, μολυσμένα ύδατα από χημικές ουσίες όπως φυτοφάρμακα, υδρογονάνθρακες και βαρέα μέταλλα μπορούν να προκαλέσουν επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία όπως ο καρκίνος, ορμονική ανισορροπία, αναπαραγωγική βλάβη και σοβαρή βλάβη στο ήπαρ και τα νεφρά. Αντίθετα, στην περίπτωση όπου τα απόβλητα τα οποία μπορούν να καταφτάσουν σε ένα υδροφόρο ορίζοντα

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

αποτελούν θρεπτικά συστατικά για το νερό τότε η περιοχή αυτή θα εμφανίσει δείγματα ευτροφισμού καθώς και σημαντική ανάπτυξη των φυτών και ορισμένες φορές ανάπτυξη των φυκιών, με συνέπεια να δεσμεύουν περισσότερο οξυγόνο (O_2) και να αποδεσμεύουν διοξείδιο (CO_2), οδηγώντας το περιβάλλον σε περεταίρω ρύπανση του.

1.2.1.3 Ρύπανση Του Εδάφους

Η ρύπανση του εδάφους κατά κύριο λόγο οφείλεται από την μόλυνση βιομηχανικών και οικιακών ρύπων. Παράλληλα, κάποιο ποσοστό οφείλεται επίσης στους σεισμούς και τη διάβρωση του εδάφους καθώς και άλλες φυσικές καταστροφές οι οποίες τείνουν να βλάπτουν το έδαφος. Μερικοί κοινοί ρύποι που προσβάλλουν το έδαφος αποτελούν οι υδρογονάνθρακες, οι διαλύτες και τα βαρέα μέταλλα. Τα ορυκτά καύσιμα συμβάλλουν σημαντικά στη ρύπανση του εδάφους. Συνήθεις εστίες μόλυνσης από τα ορυκτά καύσιμα αποτελούν, οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, διυλιστήρια πετρελαίου, πετροχημικές μονάδες, μονάδες παραγωγής και διανομής ορυκτών καυσίμων, οδικές μεταφορές (μηχανοκίνητα οχήματα) όπως επίσης, η ναυτιλία και οι αερομεταφορές. Επίσης, σημαντικοί παράγοντες ρύπανσης του εδάφους αποτελούν η απόρριψη των απορριμμάτων σε ανοιχτή γη, η καύση αποβλήτων και οι ανεπαρκείς χώροι υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ).

Ακόμη, οφείλει να προστεθεί πως ο οικιακός τομέας όπως είπαμε αρχικά αποτελεί με την σειρά του σημαντικό πηγή ρύπανσης, ο οποίος παράγει μεγάλες ποσότητες αστικών αποβλήτων, τα οποία με την σειρά τους καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ) ή αποτεφρωτήρες, μεθόδων μέσω των οποίων βοηθούν στην ρύπανση του εδάφους και την ρύπανση της ατμόσφαιρας αντίστοιχα. Τελειώνοντας, χρειάζεται να επισημάνουμε πως η συνεχόμενη και παρατεταμένη μόλυνση του εδάφους δημιουργεί τις προϋποθέσεις, καθώς και την πιθανότητα μεταβολής του μεταβολισμού των φυτών και πιθανή μείωση της αποδόσεις των καλλιεργειών, ενώ τα δέντρα και τα φυτά έχουν την δυνατότητα απορρόφησης των ρύπων του εδάφους και παράλληλα να τα εισάγουν στην διατροφική αλυσίδα.

1.3 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, Μόλυνση του Περιβάλλοντος και Ενέργειες Καταπολέμησης

Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα κτίρια ευθύνονται για περίπου το 40% της συνολικής παγκόσμιας ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της καταναλισκόμενης ενέργειας συνήθως προορίζεται ως ένα μεγάλο μέρος της για να καλύψει ανάγκες παροχής φωτισμού, θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού. Ωστόσο, υπήρξε μία αυξανόμενη ευαισθητοποίηση για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορούν να προκαλούν οι ολοένα αυξανόμενες εκπομπές του CO_2

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

και NOx και των χλωροφθορανθράκων (CFCs), εκφράζοντας το ενδιαφέρον για ολόένα και πιο φιλικές για το περιβάλλον τεχνολογίες.

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Montreal (1997), οι κυβερνήσεις συμφώνησαν να καταργήσουν σταδιακά τις εκπεμπόμενες χημικές ουσίες οι οποίες βρίσκεται να είναι, οι κύριες υπαίτιες για την καταστροφή του ατμοσφαιρικού όζον (O₃). Ως εκ τούτου, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μία προσπάθεια για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με ταυτόχρονη μείωση του ποσοστού εξάντλησης των παγκόσμιων αποθεμάτων ενέργεια, από ορυκτά καύσιμα, για την προστασία του περιβάλλοντος από την ρύπανση αυτών.

Μία κατεύθυνση για να επιτευχθεί ο στόχος της μείωσης κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων ήταν (ισχύει μέχρι σήμερα), ο σχεδιασμός κτιρίων που βρίσκεται να είναι οικονομικότερα στη χρήση ενέργειας για την θέρμανση, τον φωτισμό, την ψύξη, τον εξαερισμό και την παροχή ζεστού νερού χρήσης. Αυτά τα παθητικά μέτρα, και ιδιαιτέρως ο φυσικός ή υβριδικός εξαερισμός των κτιρίων και χωρίς να συμπεριλαμβάνεται σε μεγάλο βαθμό ο κλιματισμός, έχουν την ικανότητα να μειώσουν δραματικά την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Ακόμη, οφείλεται να αναφερθεί πώς, μέσω της εκμετάλλευσης της ανανεώσιμης ενέργειας προς τα κτίρια και τα γεωργικά θερμοκήπια δίνει την δυνατότητα να υπάρξει σημαντική μείωση της εξάρτησης τους από τα ορυκτά καύσιμα, όπου συνεπάγεται με τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων στο περιβάλλον.

Επομένως, η συνεχόμενη προώθηση καινοτόμων ανανεώσιμων εφαρμογών και η ενίσχυση της αγοράς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) θα έχει την ικανότητα να συμβάλει στην διατήρηση του οικοσυστήματος μειώνοντας τις εκπομπές σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο. Αυτό, με την σειρά του, θα συμβάλει ταυτόχρονα στη βελτίωση, των περιβαλλοντικών συνθηκών, αντικαθιστώντας τα συμβατικά καύσιμα, με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που δεν θα παράγουν ατμοσφαιρικούς ρύπους ή αέρια του θερμοκηπίου όπως προαναφέρθηκε.

Ο Omer (2009), αναφέρει στην εργασία του πως, έχουν αναπτυχθεί και αποδοθεί πολλοί και διαφορετικοί ορισμοί για την αειφόρο ανάπτυξη συμπεριλαμβανομένου και του ακόλουθου: *“Η ανάπτυξη του σήμερα που εξυπηρετεί και ικανοποιεί τις ανάγκες μας επί του παρόντος, δεν θα πρέπει για κανένα λόγο να διακυβεύει την ικανότητα, των μελλοντικών γενιών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες”*. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό πως η ηλεκτρική ενέργεια βρίσκεται να είναι ζωτικής σημασίας για τις σύγχρονες οικονομίες και κοινωνίες, καθώς παρέχει ένα αυξανόμενο μερίδιο ενεργειακών υπηρεσιών.

Αναφορές στην επιστημονική κοινότητα, αναφέρουν πως η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί στα αμέσως επόμενα χρόνια

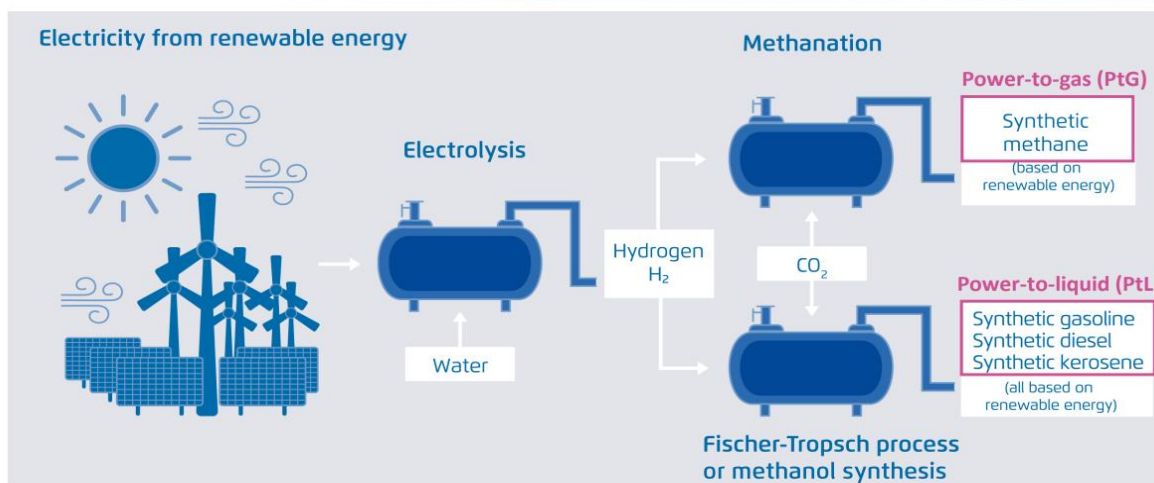
Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

περαιτέρω, ως φυσικό επακόλουθο που προκύπτει λόγω της ταυτόχρονης αύξησης των εισοδημάτων των νοικοκυριών, την ολοένα αυξανόμενη ηλεκτροδότηση των μεταφορών και της θέρμανσης. Καθώς και λόγω της ολοένα αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για τις ψηφιακά συνδεδεμένες συσκευές, όπως επίσης και λόγω του κλιματισμού (θέρμανση-ψύξη).

Επίσης, η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας από τους κύριους λόγους, όπου οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε παγκόσμιο επίπεδο άγγιξαν από το 2018 υψηλά επίπεδα ($\approx 33.1 \times 10^9$ Gt). Ενώ, η ικανότητα για εμπορική διαθεσιμότητα μιας διαφορετικής ακολουθίας τεχνολογιών με στόχο την παραγωγή χαμηλών εκπομπών, θέτει επίσης, την ηλεκτρική ενέργεια στην πρωτοπορία των προσπαθειών για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Σε αντίθεση, η απαλλαγμένη από άνθρακα πλέον ηλεκτρική ενέργεια θα έχει την ικανότητα να μπορεί να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε άλλους τομείς, μέσω καυσίμων που παράγονται κατάβασή από τον ηλεκτρισμό (IEA, 2019). Ωστόσο, σε πρόσφατες έρευνες που ανακοινώθηκαν, οι επιστήμονες δεν επικεντρώνουν το ενδιαφέρον του μόνο προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), αλλά και στο μεγάλο ποσοστό εκπεμπόμενων ρύπων μεθανίου προς το περιβάλλον, κλίνοντας προς την κατεύθυνση ότι αποτελεί τον κύριο υπαίτιο για τα προβλήματα της κλιματικής αλλαγής. Στο συμπέρασμα αυτό οδηγήθηκαν, λόγω ότι η σύσταση του μεθανίου δεν δύναται να διασπαστεί από άλλες χημικές ουσίες οι οποίες βρίσκονται στο φυσικό περιβάλλον, ελεύθερες.

Τέλος, στο παράδειγμα του ο Tremel, (2018) από το σύγγραμμα του, «Electricity-based Fuels» δηλαδή καύσιμα που παράγονται με βάση τον ηλεκτρισμό, αναφέρει ότι οι μονάδες Power-to-fuel αποτελούνται από διαφορετικά επιμέρους μέρη, τα οποία όλα μαζί ενσωματώνονται με μία πολύπλοκη διαδικασία μετατροπής της ενέργειας σε καύσιμο. Τα κύρια μέρη αυτής της διαδικασίας είναι η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, η ηλεκτρόλυση, η αποθήκευση υδρογόνου και η χημική σύνθεση συμπεριλαμβανομένης της αναβάθμισης των προϊόντων (Εικόνα 1.2.2.1) κατά την έξοδο τους μετά την διαδικασίας. Μέσω αυτής της πρότασης, ξεπροβάλλει μια οπτική εκμετάλλευσης κάθε διαθέσιμου πόρου, ώστε να μπορεί να παραχθεί ενέργεια με όσο το δυνατό λιγότερες εκπομπές αέριων ρύπων, δίνοντας θετικά σημάδια για την μελλοντική ανάπτυξη και παραγωγή της ενέργειας.

Electricity-based synthetic fuels: Power-to-gas and power-to-liquid



Εικόνα 1.2.2.1: Διάγραμμα Παραγωγής Καυσίμων Μέσω της Χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Πηγή: Deutsch & Energiewende, 2018).

1.3.1 Παγκόσμια Ενεργειακή Προοπτική Έτος 2019

Για το έτος 2019, η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση αυξήθηκε κατά λιγότερο από το μισό του ρυθμού ανάπτυξης από ότι το έτος 2018. Αυτή η επιβράδυνση οφείλεται κυρίως στην βραδύτερη παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη και στις επιπτώσεις του ηπιότερου καιρού, προς τη θέρμανση και τη ψύξη. Ωστόσο, υπήρξαν σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ των πηγών που βρίσκονται προς διάθεση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Προσκείμενα, με την υφιστάμενη διακύμανση των πηγών, ο άνθρακας παρουσίασε απόλυτη πτώση και ταυτόχρονα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ραγδαία αύξηση. Επίσης, μετά το πέρας της οικονομικής κρίσης, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε με βραδύ ρυθμό, ενώ, η ενεργειακή απόδοση συνέχισε να έχει βελτιωτικές τάσεις, αλλά σε επίπεδα χαμηλότερα από τα απαραίτητα που προαπαιτούνται για την επίτευξη των στόχων της αειφόρου ανάπτυξης σε παγκόσμιο επίπεδο. Όσον αφορά, τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), οι οποίες παράχθηκαν λόγω της συσχέτισης τους με την ενέργεια για το 2019 παρέμειναν σε σταθερά επίπεδα, καθώς οι εκπομπές ρύπων που αφορούσαν την παραγωγή ενέργειας, στις προηγμένες οικονομίες της υψηλίου, μειώθηκαν αισθητά.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Βάσει της έκθεσης του Διεθνούς Ενεργειακού Οργανισμού (IEA), με θέμα Παγκόσμιες Ενεργειακές Προοπτικές για το έτος 2019 (World Energy Outlook 2019), ανακοινώθηκε, πως η παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είχε μια αυξητική πορεία της τάξεως του 2,1% ετησίως, η οποία μοιάζει να μπορεί να ακολουθεί αυτή την πορεία μέχρι και το 2040, ποσοστό το οποίο αποτελεί σχεδόν το διπλάσιο μέγεθος από τη ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας. Αυτό το γεγονός αυτομάτως δημιουργεί μία αυξητική τάση στο μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας ως προς τη συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας η οποία κλιμακώνεται από το 19% για το 2018 και υπολογίζεται να αγγίξει το 24% μέχρι και το 2040. Ωστόσο, μιλώντας πιο συγκεκριμένα για την παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρεται χαρακτηριστικά πως για το 2019 υπήρξε μια ασθενή αύξηση της τάξεως του 0,9%, το οποίο αντιστοιχεί σε 120 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Mtoe).

Η παγκόσμια αύξηση του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος (ΑΕΠ) πραγματοποίησε μείωση. Από το 3,6% για το έτος 2018, στο 2,9% για το έτος 2019, περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο την αύξηση ζήτησης ενέργειας. Η οικονομική επιβράδυνση που σημειώθηκε το 2019, έγινε αισθητή σχεδόν σε όλες τις οικονομίες. Επίσης, στις προηγμένες οικονομίες (Αμερική, Κίνα, Ευρώπη), η μέση οικονομική ανάπτυξη είχε μια μείωση της τάξεως του 25% μεταξύ του έτους 2018 και 2019. Επίσης, είχε σαν αποτέλεσμα να περιορίσει την αύξηση της ζήτησης ενέργειας για το 2019, ενώ στην παγκόσμια αγορά, επικράτησαν ήπιες κλιματικές συνθήκες συγκριτικά με το προηγούμενο έτος.

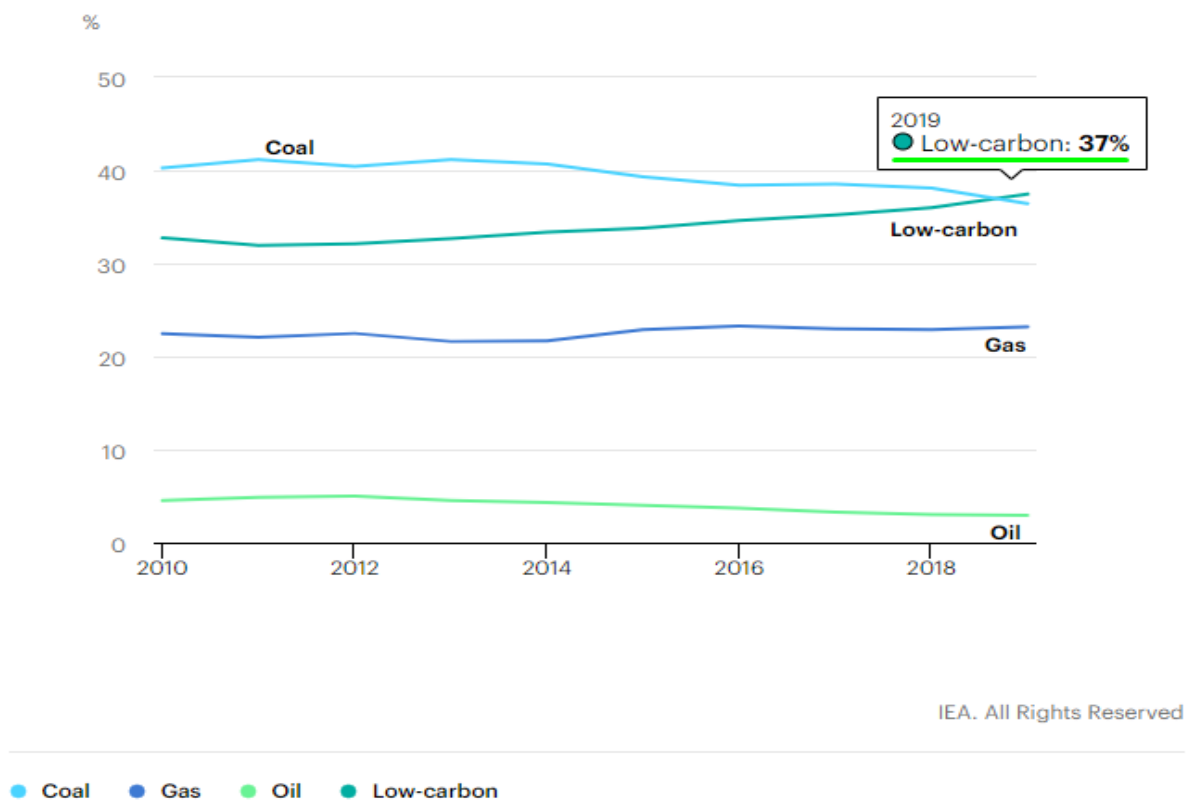
Με τις ήπιες κλιματικές συνθήκες, συνεπάγεται, ότι όταν παρουσιάζεται μειωμένη ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση και ψύξη των χώρων, ταυτόχρονα, υποδηλώνεται μείωση και της ζήτησης προς όλα τα καύσιμα, τα οποία προορίζονται για την παραγωγή ενέργειας γενικότερα (μεταφορών, ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης/ψύξης). Αποτέλεσμα αυτών των καιρικών αλλαγών, αποτέλεσε γεγονός, ώστε να μειωθεί κατά 0,8 ποσοστιαίες μονάδες βάσης, η ανάπτυξη της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας μεταξύ 2018 και 2019. Η συγκεκριμένη μείωση έγινε ιδιαίτερα αισθητή, κυρίως, στο τομέα των γαιανθράκων και του πετρελαίου. Αντίθετα, παρουσιάστηκε αύξηση και ενδιαφέρον προς άλλες πηγές ενέργειας, όπως οι ανανεώσιμες πηγές και το φυσικό αέριο, τα οποία κέρδισαν ένα κοινό μερίδιο στην αγορά με ποσοστά της τάξεως του 23% και 14% αντίστοιχα.

Ειδικότερα, η παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσίασε, για το 2019, αύξηση της τάξεως του 1,4%, εμφανώς μειωμένη από την ετήσια αύξηση, που παρουσιάστηκε την προηγούμενη χρονιά η οποία άγγιξε το 3,9%. Η αργή αύξηση της ζήτησης συνδυάστηκε με την ισχυρή ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της πυρηνικής ενέργειας, οι οποίες οδήγησα σε πτώση τα ορυκτά

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

καύσιμα σε παγκόσμιο επίπεδο, γεγονός το οποίο σημειώθηκε πρώτη φορά μέσα σε τέσσερις δεκαετίες εν καιρώ επεκτατικής οικονομίας. Επίσης, η αύξηση των πηγών παραγωγής χαμηλών εκπομπών άνθρακα ξεπέρασε (Low Carbon 37% έναντι Coal 36%) την ολική αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και πιο συγκεκριμένα του καθαρού άνθρακα, αναδιαμορφώνοντας την ενεργειακή σκακιέρα για το 2019 όπως χαρακτηριστικά παρουσιάζεται στο παρακάτω γράφημα της εικόνας 1.3.1.1.

Global power mix over time, 2010-2019



Εικόνα 1.3.1.1: Διάγραμμα Παραγωγής Παγκόσμιας Ισχύος Ορυκτών Καυσίμων για την Περίοδο 2010 έως 2019 (Πηγή: IEA).

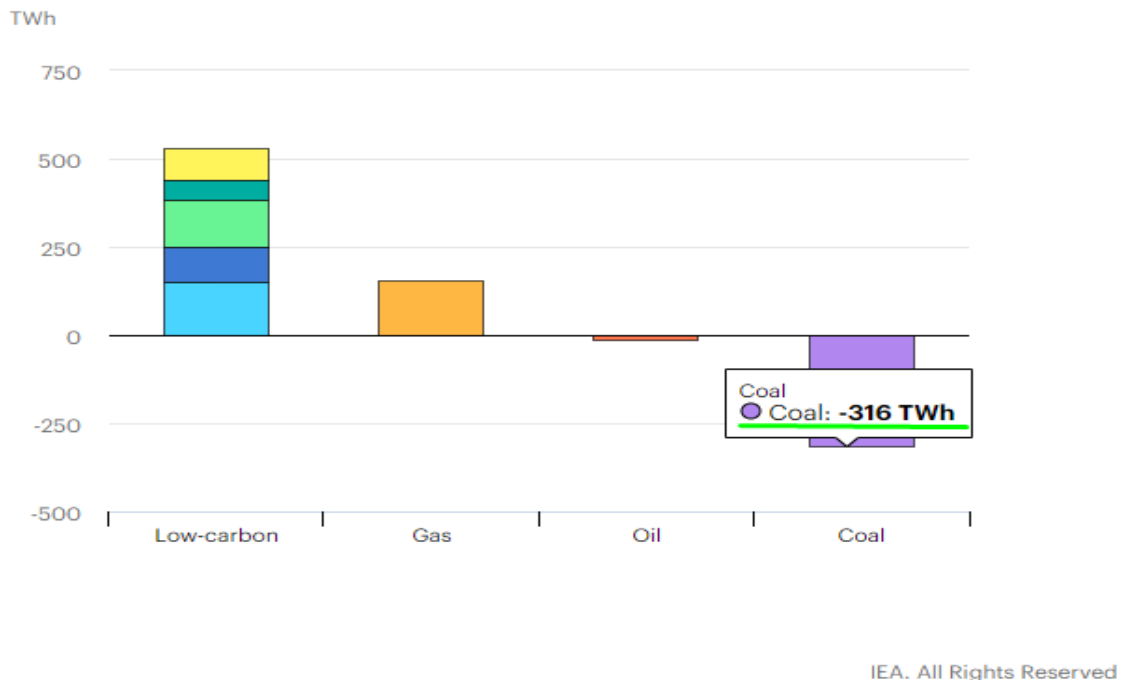
Ταυτόχρονα, με την άνοδο (Εικόνα 1.3.1.2) των διάφορων τομέων παραγωγής ενέργειας με χαμηλές εκπομπές άνθρακα, όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που παρουσίασαν ισχυρή ανάπτυξη, παρείχαν περίπου 440 TWh, στην παγκόσμια σκηνή, όπως επίσης και η πυρηνική ενέργεια παρουσίασε αύξηση παραγωγής, η οποία αγγίζει τις 95 TWh.

Αναλυτικότερα, η ανάπτυξη των ΑΠΕ οφείλεται στην ισχυρή ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, των φωτοβολταϊκών και της υδροηλεκτρικής ενέργειας, με

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

150TWh, 140TWh και 100TWh αντίστοιχα. Ενώ, ο τομέας της πυρηνικής ενέργειας έδειξε, επίσης, αυξητικές τάσεις εξαιτίας της πλήρους λειτουργίας (365 ημέρες) των αντιδραστήρων της Κίνας (+54TWh), της Ιαπωνίας (+22TWh) και της Κορέας (+15TWh).

Year-on-year change in electricity generation by source, 2019



Εικόνα 1.3.1.2: Διαβάθμιση Ετήσιας Διαφοράς Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας για το Έτος 2019 (Πηγή: IEA).

Έτος 2021

Καθώς η ανθρωπότητα ήδη βρίσκεται στο πρώτο μισό του 2021, διανύοντας ταυτόχρονα το δεύτερο έτος πανδημίας Covid-19. Μέσω της Παγκόσμιας Επισκόπησης Ενέργειας για το έτος 2021 (IEA), προκύπτει, μία αξιολόγηση για τις κατευθύνσεις της ενεργειακής ζήτησης, καθώς και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) για το ίδιο έτος.

Λόγω της επιτάχυνσης των εμβολισμών Covid-19, πολλές μεγάλες οικονομίες (Ηνωμένες Πολιτείες, Κίνα, Ευρώπη) κατάφεραν μέσω των εκτεταμένων δημοσιονομικών αντιδράσεων για την οικονομική κρίση, είχαν ως αποτέλεσμα να ενισχύσουν τις προοπτικές οικονομικής ανάπτυξης των μεγάλων

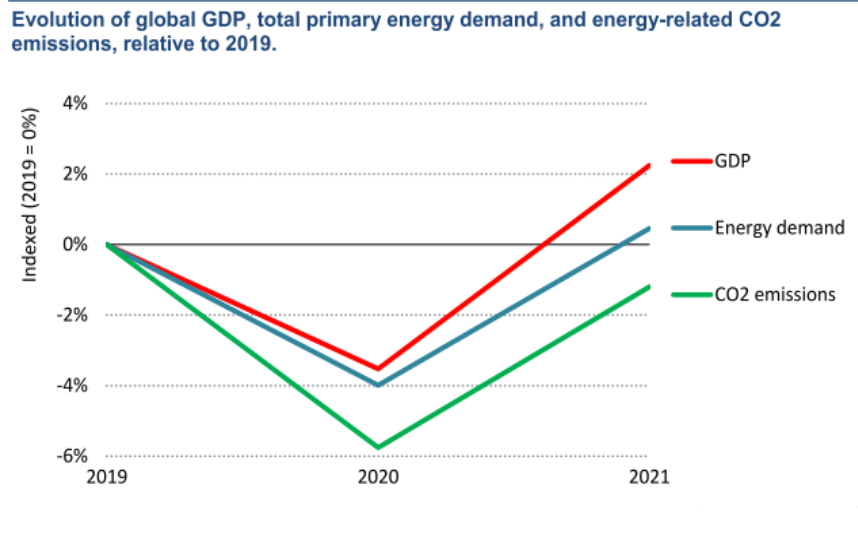
Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

οικονομιών τους και να δημιουργήσουν προοπτικές ανάκαμψης της ζήτησης ενέργειας για το 2021. Ωστόσο, η πανδημία καθώς μένετε και εξακολουθεί να επηρεάζει μεγάλο μέρος της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας τείνει να βρει τις οικονομίες ένα τρίτο κύμα πανδημίας, μέσω του οποίου πρόκειται να παρατηρηθεί μια περαιτέρω παράταση των περιορισμών στην κυκλοφορία και ταυτόχρονα μία συγκρατημένη ζήτηση της παγκόσμιας ενέργειας. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) προέβλεψε για το 2021, ότι η παγκόσμια οικονομία στον τομέα της παραγωγής, θα ανακάμψει κατά 6%, ωθώντας το παγκόσμιο ΑΕΠ σε υψηλότερα ποσοστά από τα επίπεδα του 2019, με αυτό το ποσοστό να αγγίζει την τάξη του 2%.

Ωστόσο, η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας για το 2020, υπέστη μία μείωση της τάξεως του 4%, όπως χαρακτηρίστηκε έχει αναφέρει ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας. Ήταν η πρώτη μεγαλύτερη μείωση μετά τον ΄Β Παγκόσμιο Πόλεμο και αποτέλεσε την μεγαλύτερη απόλυτη πτώση. Βάση των τελευταίων στατιστικών στοιχείων, για τη ζήτηση της ενέργειας, το πρώτο τρίμηνο του 2021 οι παγκόσμια χρήση ενέργειας σε σχέση με την πανδημία είναι από τα σημαντικότερα σημεία αναφοράς, διότι με την άρση των περιορισμών της πανδημίας και την ταυτόχρονη ανάκαμψη των οικονομιών, η ενεργειακή ανακάμψη αναμένεται να αγγίξει το ποσοστό των 4,6% μονάδων, ωθώντας την παγκόσμια χρήση ενέργειας για το 2021 σε ένα ποσοστό της τάξεως του 0,5% (Εικόνα 1.3.1.3). Πάνω, δηλαδή, από τα επίπεδα που παρουσιάστηκαν κατά την περίοδο πριν τον Covid-19.

Πιο συγκεκριμένα, οι τρέχουσες οικονομικές προοπτικές (2021) προβλέπουν, πώς το παγκόσμιο ΑΕΠ θα παρουσιάσει φαινόμενα ανόδου μεγαλύτερα από τα επίπεδα του 2019 λόγω ότι βγαίνοντας από την κρίση της πανδημίας, η ζήτηση για αγαθά, υπηρεσίες και ενέργεια αυτομάτως θα αυξηθούν. Ένα δεδομένο στο οποίο ίσως δεν προκύψει κάποια σημαντική μεταβολή είναι, η δραστηριότητα των μεταφορών (π.χ. ταξίδια, μετακινήσεις) η οποία παραμένει σοβαρά καταπιεσμένη.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 1.3.1.3: Διάγραμμα Παράλληλης Εξέλιξης Παγκόσμιου ΑΕΠ (GDP), Ζήτηση Πρωτογενούς Ενέργειας (Energy Demand) και Εκπομπές CO₂(CO₂ Emissions) 2019~2021 (Πηγή: IEA).

Σε ιδανικές συνθήκες άμεσης εξομάλυνσης της πανδημίας, και δίνοντας τη δυνατότητα στους πληθυσμούς για μεταφορά, χωρίς να υπόκεινται αυξήσεις των μεταφορών, αλλά να παραμείνουν στα ίδια ποσοστά με το 2019, αξιολογείται πώς σε εκείνο το σημείο η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση θα παρουσιάσει αυξητική τάση υψηλότερων επιπέδων από τα αναμενόμενα, σχεδόν αγγίζοντας το 2%. Δηλαδή, ποσοστό μεγαλύτερο από του τελευταίου έτους (2019) όπου η ανθρωπότητα λειτουργούσε υπό κανονικές συνθήκες και όχι υπό καθεστώς περιορισμού.

Ειδικότερα, η παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσίασε μείωση της τάξεως του 1%, περίπου για το πρώτο εξάμηνο του έτους, λόγω των περιορισμών κατά της πανδημίας. Ορισμένες φορές, η ζήτηση παρουσίασε φθίνουσα συμπεριφορά της τάξεως του 20% έως 30% χαμηλότερα από την περίοδο του 2019. Οι τομείς δραστηριοποίησης που επηρέασαν κυρίως αυτή την φθίνουσα μεταβολή της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, ήταν οι εμπορικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Ωστόσο, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2021, βάση της αναφοράς (Global Energy Review 2021), αναμένεται να αυξηθεί κατά 4,5% σε παγκόσμιο επίπεδο. Το ποσοστό αυτό προκύπτει, από την ανάκαμψη της οικονομικής δραστηριότητας και της ταχείας ανάπτυξης σε μεγάλες αναδυόμενες οικονομίες όπως η Κίνα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η ζήτηση αναμένεται να αυξηθεί κατά περίπου 2%, ενισχυμένη από την οικονομική τόνωση και τις ψυχρότερες θερμοκρασίες, ζήτηση ενέργειας για θέρμανση, κατά τους πρώτους μήνες του 2021. Οι μεγαλύτεροι καταναλωτές στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία,

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

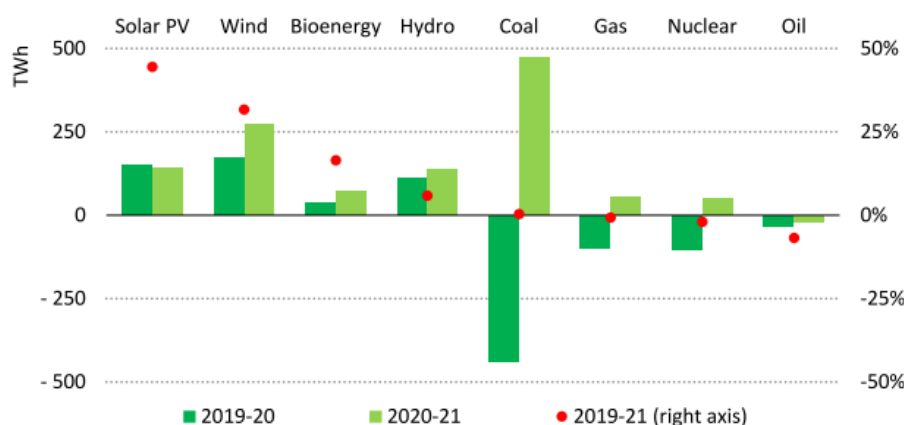
Ισπανία), αναμένεται να παραμείνουν κάτω από τα επίπεδα του 2019, με αύξηση της τάξεως του 3% για το 2021, χωρίς αυτό να μπορεί να αντισταθμίσει τις μειώσεις που παρουσιάστηκαν για το 2020 οι οποίες υπολογίζονται στο 4% έως 6%.

Οφείλεται να αναφερθεί ότι εν μέσω ύφεσης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, σημειώθηκε παράλληλα, ρεκόρ αύξησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επικεφαλής αυτής της αύξησης αποτελεί η αιολική ενέργεια και η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια, οι οποίες για το 2020 παρουσίασαν αύξηση της τάξεως του 12% και 23% αντίστοιχα. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσίασαν αυξητική πορεία, κι ενώ η παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ήταν σε πτώση, κατάφερε να εκτοπίσει ελαφρώς από το προσκήνιο τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από στερεά καύσιμα καθώς και τα πυρηνικά εργοστάσια.

Η ζήτηση από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μειώθηκε περισσότερο από 3%. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ισχυρό πλήγμα που δέχθηκε μεταξύ όλων των πηγών ηλεκτρικής ενέργειας, ο άνθρακας παρουσιάζοντας μείωση κάτω από 440 TWh, ποσοστό της τάξεως του 4,4%. Με αυτό το γεγονός να αποτελεί την μεγαλύτερη απόλυτη πτώση που είχε ποτέ ο άνθρακας τα τελευταία πενήντα χρόνια.

Επίσης, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικά, αναμένεται να γνωρίσει αύξηση της τάξεως του 2%, ενώ, ότι μπορεί να υπολείπεται ώστε να επιτευχθεί ο στόχος για την εναπομένουσα αύξηση της ζήτησης, θα γίνει μέσω κάλυψης από μονάδες παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα και φυσικού αερίου (η παραγωγή τους αναμένεται να αυξηθεί κατά 480 TWh) Εικόνα 1.3.1.4.

Change in electricity generation in 2020 and 2021

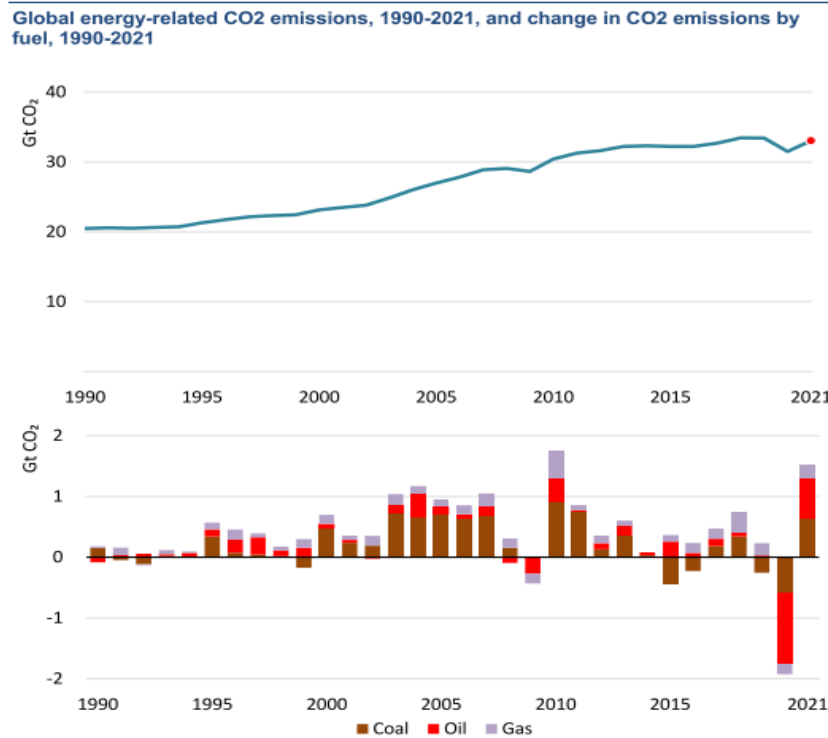


Εικόνα 1.3.1.4: Διάγραμμα Μεταβολής Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας για το Έτος 2020~2021 (Πηγή: IEA).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Ωστόσο, ένα σημείο το οποίο πρέπει να γίνει περεταίρω εστίαση, αποτελούν τα επίπεδα εκπεμπόμενων ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Σε προηγούμενες παραγράφους αναφέρθηκε ότι οι εκπομπές ρύπων που παράγονται στο σύνολο τους με κύριο σκοπό την παραγωγή ενέργειας προς όφελος των καταναλωτών (μετακίνηση, θέρμανση κτλ.) προσφέρουν αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον. Δια μέσου αυτού του λόγου, μετά την συνθήκη του Μόντρεαλ μέχρι και σήμερα, σε παγκόσμιο επίπεδο, οι κυβερνήσεις προσπαθούν να περιορίσουν όσο το δυνατόν περισσότερο τις εκπομπές τους προσπαθώντας ανατροπή της εφιστάμενης κατάστασης.

Με το παραπάνω πρόσχημα, οφείλεται να αναφερθεί, πώς σε παγκόσμιο επίπεδο οι εκπεμπόμενοι ρύποι διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) για το έτος 2020 παρουσίασαν (Εικόνα 1.3.1.5) μείωση της τάξεως του 5,8% (ποσοστό το οποίο αναλογεί σε σχεδόν 2Gt CO₂), με αυτό το ποσοστό να αποτελεί τη μεγαλύτερη πτώση που σημειώθηκε ποτέ και σχεδόν πέντε φορές μεγαλύτερη από την μείωση του 2009 η οποία συνοδεύτηκε από την παγκόσμια οικονομική κρίση.



Εικόνα 1.3.1.5: Διαγράμματα Παγκόσμιας Ζήτησης Ενέργειας σε Σύγκριση με τις Παγκόσμιες Εκπομπές CO₂ Στερεών Καυσίμων για τα Έτη 1990~2021 (Πηγή: ΙΕΑ).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Ιδιαίτερη αίσθηση παρουσιάζεται ότι παρά το γεγονός πτώσης της ενεργειακής ζήτησης για το έτος 2020, οι παγκόσμιες εκπομπές CO₂ οι οποίες άμεσα σχετίζονται με την ενέργεια παρέμειναν υψηλά περίπου στους 31,5Gt, γεγονός που συνέβαλε στο να φτάσει το CO₂ στην υψηλότερη μέση ετήσια συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα 412,5 ppm για το 2020 το οποίο παρουσιάζεται περίπου 50% υψηλότερο από όταν ξεκίνησε η βιομηχανική επανάσταση (τέλη του 18^{ου} αιώνα).

Τέλος, για το 2021, οι παγκόσμιες εκπομπές CO₂ που σχετίζονται με την ενέργεια τείνουν να ανακάμψουν, παρουσιάζοντας μία αναμενόμενη αύξηση της τάξεως του 4,8% καθώς η ζήτηση για στερεά καύσιμα ανακάμπτει μαζί με την ανάκαμψη της οικονομίας. Η αναμενόμενη αύξηση για ενέργεια πρόκειται να προσδώσει επίσης μία αύξηση στις εκπομπές CO₂ αγγίζοντας τους 1.500 Mt, η οποία θα είναι και η μεγαλύτερη μεμονωμένη οικονομική ανάκαμψη εντάσεως του άνθρακα, μετά την παγκόσμια χρηματοπιστωτική κρίση πριν από μία δεκαετία. Οι παγκόσμιες εκπομπές που αναμένονται μετά από αυτό το γεγονός πρόκειται να κυμανθούν για το έτος 2021 περίπου στους 400Mt CO₂ ή διαφορετικά το 1,2%, δηλαδή λίγο πιο κάτω από πάνω όριο που σημειώθηκε για το 2019.

2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η Κλιματική Αλλαγή αποτελεί ίσως έναν από τους σημαντικότερους κινδύνους που καλείται να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα. Στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή η οποία πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι (12 Δεκεμβρίου 2015), όπου συμμετείχαν 196 χώρες, συμφωνήθηκε από κοινού να οδεύσουν σε ένα σχέδιο μείωσης των εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂) και των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου, με στόχο τον περιορισμό της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας κατά 1,5°C έως 2°C, θερμοκρασία η οποία σχετίζεται με το κλίμα πριν την εκβιομηχάνευση (που σημαίνει μελλοντική θέρμανση του περιβάλλοντος, μικρότερη από 1,5°C μέχρι τα τέλη του εικοστού αιώνα).

Βάση των ευρημάτων του AR5 (IPCC Fifth Assessment Report) και αξιολογώντας τα δεδομένα των επιστημονικών μελετών που έχουν διεξαχθεί, υπάρχουν πολλές αποδείξεις ότι οι αλλαγές που έχουν επέλθει λόγω της κλιματικής αλλαγής στην υφήλιο, έχουν ως άμεσο αντίκτυπο επιπτώσεων, στους οργανισμούς και τα οικοσυστήματα, καθώς και στα ανθρώπινα συστήματα και την ευημερία αυτών. Η αύξηση της Παγκόσμιας Μέσης Θερμοκρασίας Επιφανείας (Global Mean Surface Temperature, GMST), για την δεκαετία 2006-2015 άγγιξε την τιμή των 0,87°C. Ενισχύοντας τα στοιχεία για το πώς μία επικείμενη αύξηση της παγκόσμια μέσης θερμοκρασίας επιφανείας κατά 1,5°C ή και ακόμη περισσότερο θα επηρεάσει

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

σημαντικά τόσο το φυσικό περιβάλλον όσο και τα ανθρώπινα συστήματα (Hoegh-Guldberg et al., 2018).

Το παγκόσμιο φαινόμενο της υπέρ θέρμανσης του περιβάλλοντος καθώς και οι επακόλουθες κλιματικές αλλαγές οι οποίες προκαλούνται από τον άνθρωπο εξαναγκάζονται κυρίως από τις συνεχώς αυξανόμενες εκπομπές αέριων ρύπων (κυρίως CO₂ και CH₄), οι οποίοι βρίσκονται υπεύθυνοι για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ τείνει να καθιερωθεί, ως μία από τις κύριες πηγές του προβλήματος η παραγωγή ενέργειας λόγω της καύσης ορυκτών καυσίμων (γαιάνθρακα, πετρέλαιο κτλ.)

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (όπως έχει προαναφερθεί), πλέον αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο στην επίτευξη των στόχων για την προσπάθεια μείωσης των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων του θερμοκηπίου καθώς και τον μετριασμό των κλιματικών αλλαγών στο παγκόσμιο κλιματολογικό στερέωμα. Ειδικότερα, βάση των στατιστικών που κοινοποιήθηκαν από την Eurostat, το μερίδιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για το έτος 2018 στην Ευρώπη άγγιξε σχεδόν το 18% ή και ακόμη περισσότερο για την πλειοψηφία των χωρών μέσα στις οποίες συγκαταλέγεται και η Ελλάδα (18%). Πιστεύετε, πώς η αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι απαραίτητη για την επίτευξη στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το κλίμα και την ενέργεια.

Με αυτό τον τρόπο, με πρότυπο την επιτυχημένη πρόοδο των κρατών μελών της Ευρώπης κατακτώντας το 20% για το 2020 θέτονται στόχοι για το 2030, όπου στόχος είναι να καταφέρει η Ευρώπη να παράγει ηλεκτρική ενέργεια σε ένα ποσοστό 32%, ανεξαρτητοποιημένη από τα ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, από όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα για την επίτευξη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η αιολική ενέργεια αποτελεί έναν από τους ηγέτες όσων αναφορά την εγκατεστημένη παραγωγική ικανότητα, την ταχύτερη ανάπτυξη και τεχνολογική ωριμότητα, καθώς αποτελεί την δεύτερη κορυφαία πηγή ανανεώσιμης ενέργειας παγκοσμίως που ξεπέρασε σε εγκατεστημένη ισχύ τις δυνατότητες της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Στο πλαίσιο αυτό κατανοούμε ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή όπως διαφορετικά αποκαλούνται «ήπιες μορφές ενέργειας», είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας η οποίες και προέρχονται από διαφορετικές φυσικές αέναες (κατά κύριο λόγο) διαδικασίες. Όμως, η πλειονότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σήμερα, διανέμεται και καταναλώνεται μέσα από τα ίδια ενεργειακά συστήματα. Επίσης, για την παραγωγή αυτής της ενέργειας χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον ορυκτά καύσιμα (γαιάνθρακες, πετρέλαιο,

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

φυσικό αέριο) μέσω ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών, αυτή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μη ανανεώσιμες πηγές. Η ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές (γαιάνθρακας κ.λπ.) θεωρείται, η αιολική, ηλιακή, αερόθερμη, γεωθερμική, υδροθερμική ή ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, βιομάζα, από τα εκλυόμενα αέρια των χώρων υγειονομικής ταφής, καθώς και από αέρια τα οποία παράγονται κατά την επεξεργασία των λυμάτων όπως και βιοαέρια.

Ο όρος ήπιες μορφές ενέργειας μπορεί να προσδώσει στην έννοια δύο βασικά χαρακτηριστικά, καταρχάς, είναι ο λόγος και ο τρόπος εκμετάλλευσης τους, δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση προς το φυσικό περιβάλλον, όπως η εξόρυξη, η άντληση από το υπέδαφος και η καύση, όπως γίνονταν επί χρόνια με τις παραδοσιακές πηγές παραγωγής ενέργειας, παρά μόνο γίνεται μία απλή εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ενέργειας που βρίσκεται στο φυσικό περιβάλλον. Παράλληλα, πρόκειται για καθαρές μορφές ενέργειας οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί «φιλικές για το περιβάλλον» (οι περισσότερες από αυτές να προσδίδουν μηδενικό ενεργειακό αποτύπωμα στο περιβάλλον), χωρίς να παράγουν ή να εκπέμπουν προς το περιβάλλον επιβλαβείς χημικές ουσίες (CO₂, NO, NO₂, VOCs), τόσο για το ίδιο, όσο και για τον ίδιο τον άνθρωπο. Οι σημαντικότερες εξ αυτών ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες και στις μέρες μας χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό είναι η ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά), η αιολική ενέργεια (ανεμογεννήτριες) και η εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας (υδροηλεκτρικά εργοστάσια) από ποτάμια και λίμνες.

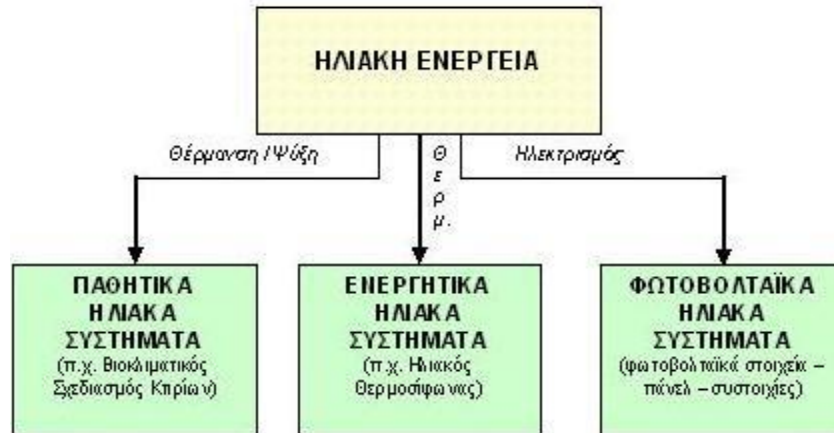
2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας οι οποίες προέρχονται από τον ήλιο. Τέτοιες μορφές ενέργειας είναι το ηλιακό φως, η θερμότητα που εκπέμπεται από τον ήλιο καθώς και διάφορες ακτινοβολίες (υπέρυθρη κ.λπ.) όπως και η ενέργεια ακτινοβολίας η οποία εμπεριέχεται στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα των οποίων η προέλευση είναι από την πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, δηλαδή κατά κύριο λόγο από τον ήλιο.

Η ηλιακή ενέργεια πρακτικά θεωρείται άενη, για τον λόγο ότι προέρχεται από τον ήλιο και θεωρητικά δεν υπάρχει περιορισμός χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευση της. Ως προς το γεγονός της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας μπορεί αν ειπωθεί ότι κατατάσσεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών. Μία κατηγορία είναι τα παθητικά ηλιακά συστήματα, δεύτερη τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή Ηλιοθερμικά συστήματα και τέλος τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Ωστόσο, οι κατηγορίες εφαρμογών εκμετάλλευσης διαθέτουν κάποια χαρακτηριστικά γνωρίσματα τα οποία δημιουργούν δυο υποκατηγορίες. Τα παθητικά και τα ενεργητικά συστήματα, εκμεταλλεύονται τη θερμότητα η οποία προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ τα φωτοβολταϊκά, συστήματα εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία για την μετατροπή της σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Διάγραμμα Κατηγοριών Εφαρμογών Εκμετάλλευσης της Ηλιακής Ακτινοβολίας (**Πηγή:** Ιστός).

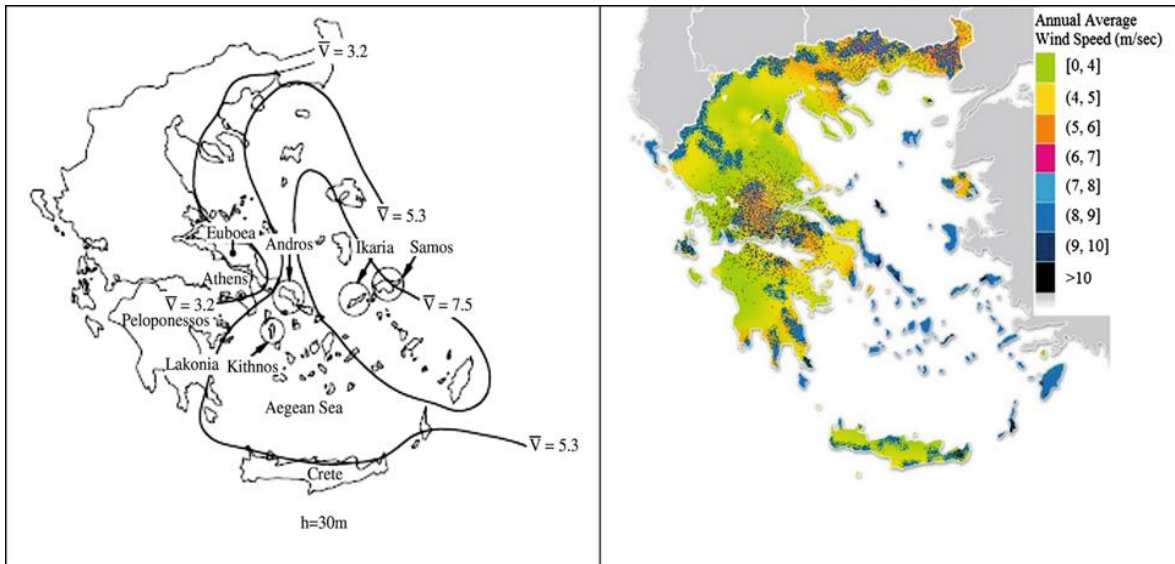
2.2 Αιολική ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η ενέργεια χαρακτηρίζεται, όπως προ ειπώθηκε, ως ήπια μορφή ενέργειας και περιλαμβάνεται στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως ονομάζονται οι πηγές που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους στο περιβάλλον και κατ' επέκταση αρνητικές συνέπειες για τον άνθρωπο.

Η προέλευση του ανέμου, δηλαδή οι μάζες αέρα που μετακινούνται με ταχύτητα από μια περιοχή σε κάποια άλλη, είναι γινόμενο της ανομοιόμορφης θέρμανσης της επιφάνειας της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία. Με αυτό τον τρόπο, η κινητική ενέργεια των ανέμων (Αιολική Ενέργεια) αποτελεί με την σειρά της, την ενέργεια που βασιζόμενη στην τεχνολογία έχει την δυνατότητα να υπερκαλύψει τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και ταυτόχρονα η εκμετάλλευση του εκάστοτε υπάρχοντος αιολικού δυναμικού (Εικόνα 2.2.1) που διαθέτει η εκάστοτε περιοχή, μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο μέσω των ανεμογεννητριών οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 2.2.1: Αιολικό Δυναμικό Ελλάδος.

2.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

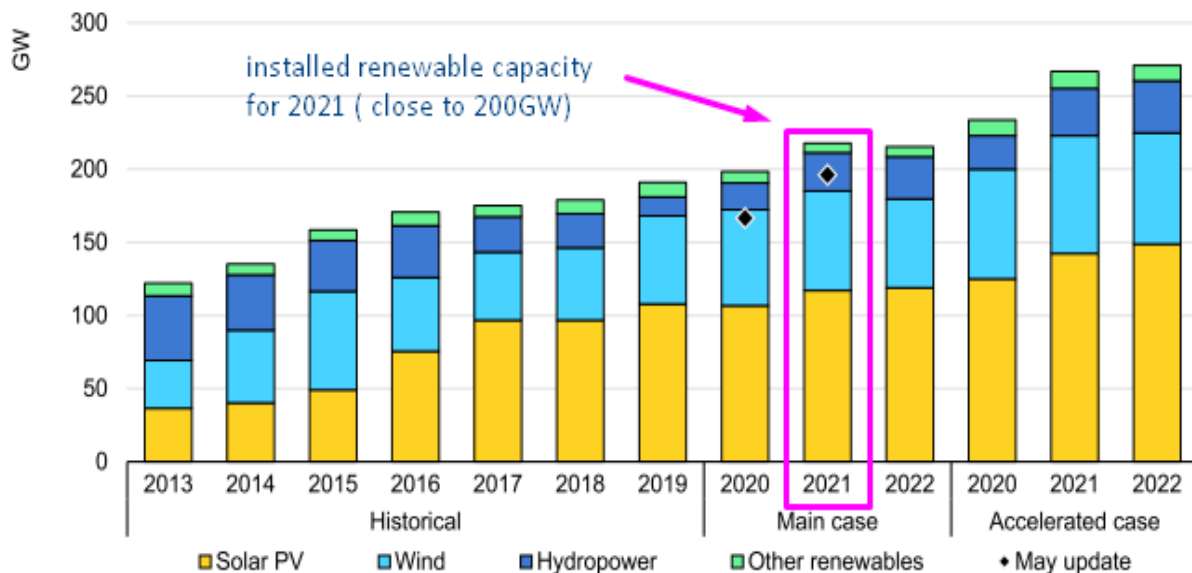
Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από τη μετακίνηση του γλυκού νερού από τους ποταμούς και τις λίμνες ή από υδροαδρευτικά έργα συλλογής όμβριων υδάτων. Η δυναμική (λόγω βαρύτητας) ενέργεια που συνδέεται με αυτό το νερό το αναγκάζει να διατηρεί καθοδική ροή. Αυτή η προς τα κάτω κίνηση του περιέχει την κινητική ενέργεια, η οποία μπορεί να μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια και έπειτα από μηχανική σε ηλεκτρική στους σταθμούς υδροηλεκτρικής παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

2.4 Παγκόσμια Ανάπτυξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σε αντίθεση με όλα τα υπόλοιπα καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατάφερα να παρουσιάσουν για το έτος 2020 μία αύξηση της τάξεως του 7%. Ενώ η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας μειώθηκε κατά 5%. Όμως, παρά το γεγονός ότι οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις κατοχυρώνουν την προτεραιότητα πρόσβασης στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάζεται συνεχής εγκατάσταση νέων εγκαταστάσεων η οποία ερμηνεύεται ως ισχυρή ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας. Η αντιστάθμιση, για να μπορέσει να ερμηνευτεί η παραπάνω μείωση (5%) ζήτησης της ενέργειας λόγω της έλλειψης ενδιαφέροντος (οικονομικής δραστηριότητας) για την βιομηχανία της βιοενέργειας. Με αποτέλεσμα, να προκύπτει μία συνολική αύξηση της ζήτησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της τάξεως του 1% για το 2020. Παρά τις επικείμενες οικονομικές αβεβαιότητες στις αγορές, υπάρχει η επενδυτική διάθεση προς τις Α.Π.Ε., η οποία παρουσιάζεται ισχυρή. Χαρακτηριστικά, από τον Ιανουάριο έως τον Οκτώβριο 2020 η πλειοδοτήση για ανανεώσιμη ισχύ, άγγιξε το 15%.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Η καθαρή εγκατεστημένη ανανεώσιμη ισχύς, αυξήθηκε για το 2020 σχεδόν 4%, ποσοστό το οποίο μεταφράζεται σε σχεδόν 200 GW ανανεώσιμης ισχύς για το 2021 (Εικόνα 2.3.1), με την αιολική και την υδροηλεκτρική ενέργεια να αντιπροσωπεύουν κατά κύριο λόγο το 90% των νέων προσθηκών ανανεώσιμων πηγών συνολικής ενεργειακής ισχύος σε παγκόσμιο επίπεδο. Αντίστοιχα, η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας παρέμεινε σε σταθερή πορεία λόγω έλλειψης ενδιαφέροντος από τις αγορές σε επενδύσεις σε αυτό τον τομέα, ενώ οι αιολικές προσθήκες αναμένετε να βρίσκονται υψηλότερα περίπου στο +8%, ενώ για την υδροηλεκτρική ενέργεια στο +43% για το 2020 (Kent, 2018).



Εικόνα 2.3.1: Διάγραμμα Εγκατεστημένης Ανανεώσιμης Ηλεκτρικής Ισχύς ανά Κατηγορία από το 2013 έως 2022, Καθώς και Υποθετικά Σενάρια της Τελευταίας Τριετίας (Ηλιακή Ενέργεια, Αιολική Ενέργεια, Υδροηλεκτρική Ενέργεια, Λοιπά) (Πηγή: IEA Kent, 2018).

2.5 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Πρωτόπορος στον Τομέα της Παγκόσμιας Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Η μείωση του κόστους καθώς και η συνεχιζόμενη υποστήριξη από πολιτικής άποψης, αναμένεται να οδηγήσουν σε ισχυρή ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μετά το 2022. Παρά τις προκλήσεις που προκύπτουν από την υγειονομική κρίση (Covid), οι θεμελιώδεις αρχές της επεκτατικής πολιτικής των Α.Π.Ε. δεν έχουν παρεκκλίνει. Η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια καθώς και η αιολική ενέργεια, οι οποίες είναι εγκατεστημένες στην ξηρά, βρίσκεται να είναι οι φθηνότεροι τρόποι προσθήκης νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο μεγαλύτερο ποσοστό των χωρών σήμερα. Στις χώρες οι οποίες

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

διαθέτουν καλοί ανανεώσιμοι πόροι, όπως επίσης φθηνή χρηματοδότηση, οι αιολικές και ηλιακές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις θα προκαλέσουν μερική εξάλειψη των ορυκτών καυσίμων, μίας και τα ηλιακά έργα τη δεδομένη περίοδο προσφέρουν το χαμηλότερο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην ιστορία τους. Υπολογίζεται, ότι συνολικά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα αντιπροσωπεύουν το 95% της καθαρής αύξησης της παγκόσμιας ισχύος έως το 2025.

Πιο συγκεκριμένα, η συνολική αιολική και ηλιακή ισχύ πρόκειται να ξεπεράσει του φυσικού αερίου το 2023 και του άνθρακα το 2024. Χρειάζεται να αναφέρουμε πώς, μόνο η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια αντιπροσωπεύει το 60% όλης της επιμέρους ανανεώσιμης ισχύος έως το 2025 και με την αιολική να αποτελεί, το άλλο 30%, ποσοστό το οποίο αναμένεται να αυξηθεί λόγω της αύξησης των εγκαταστάσεων υπεράκτιων αιολικών πάρκων σε παγκόσμιο επίπεδο. Ενώ, η υδροηλεκτρική ενέργεια θα συνεχίσει να παρέχει σχεδόν το ήμισυ της παγκόσμιας ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας, διότι αποτελεί την μεγαλύτερη πηγή Α.Π.Ε. σε παγκόσμιο επίπεδο.

3. Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε)

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.) καλείται το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που απαιτείται να χρησιμοποιηθούν για να μπορεί να εκτελεστεί η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας προς τους σταθμούς κατανάλωσης (Εικόνα 3.1).

Χαρακτηριστικά, τα βασικά μέρη ενός Σ.Η.Ε. αναλύονται παρακάτω:

- Η παραγωγική διαδικασία της ηλεκτρικής ενέργειας κατά κύριο λόγο γίνεται σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Οι σταθμοί χρησιμοποιούν ως επί το πλείστον ορυκτά καύσιμα, εκ των οποίων, η χημική ενέργεια που ελευθερώνεται μετασχηματίζεται στις μονάδες παραγωγής ως θερμική και εν συνεχεία σε μηχανική ενέργεια η οποία περιστρέφει τις ηλεκτρογεννήτριες.
- Η μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελείται από γραμμές αγωγών υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης μέσω των οποίων βρίσκεται η σύνδεση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τον καταναλωτή.

Μερικές από τις απαιτήσεις που πρέπει ένα σύστημα ηλεκτρισμού να εκπληρώνει, είναι να έχει την δυνατότητα να λειτουργεί σωστά και να βρίσκεται σε θέση, ώστε να μπορεί να αντιμετωπίζει ενιαία τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό, την

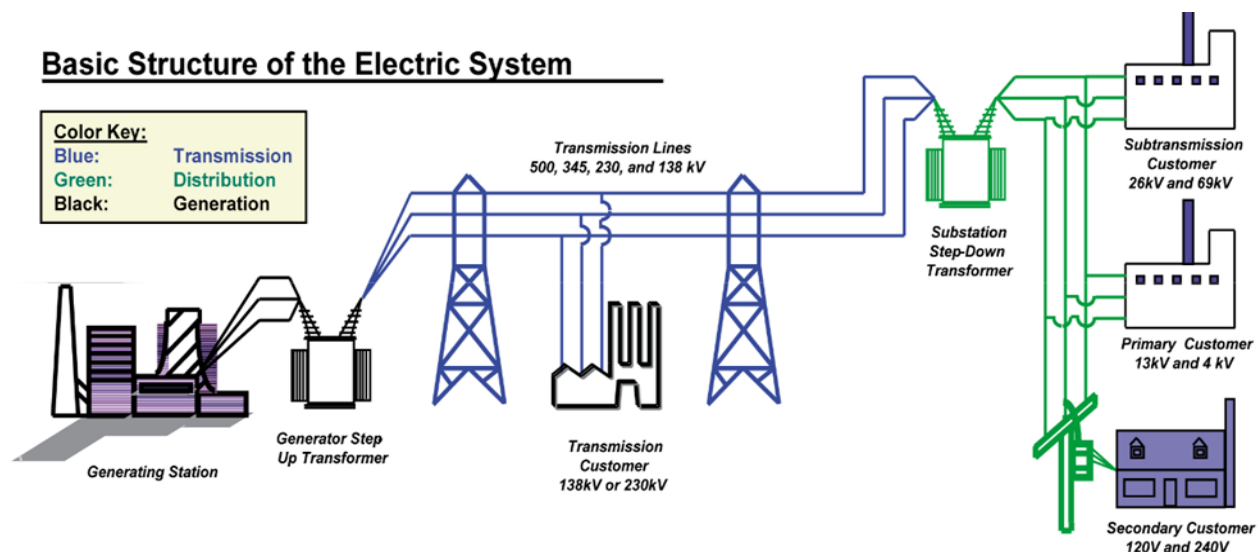
Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

απόδοση και την ποιότητα του προϊόντος παρέχοντας ταυτόχρονα οικονομία για την επιχείρηση και τον καταναλωτή όπως επίσης και αξιοπιστία.

Η αξιοπιστία λειτουργίας ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να περιλαμβάνει:

- Επάρκεια, η οποία μπορεί να αποτυπωθεί ως, η ικανότητα του συστήματος να μπορεί να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του καταναλωτή-πελάτη σε ισχύ και ενέργεια, ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τις εξαναγκασμένες (τυχαίες) βλάβες ή τις προγραμματισμένες για συντήρηση, του εξοπλισμού μεταφοράς και διανομής, διακοπές.
- Επίσης, η ασφάλεια, η οποία μεταφράζεται και ως η ικανότητα του συστήματος να παραμένει σε λειτουργία μετά από ξαφνικές διαταραχές που μπορεί να συμβούν όπως βραχυκυκλώματα, ή διαταραχές που μπορεί να προκληθούν από αίτια ανθρώπινης φύσης ή καιρικών φαινομένων.

Οφείλουμε να προσθέσουμε, πως η ηλεκτρική ενέργεια από την στιγμή παραγωγής της μέχρι και την στιγμή που θα είναι προς κατανάλωση βρίσκεται σε συνεχή ροή. Και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές και παρά το γεγονός ανάπτυξης της τεχνολογίας δεν έχει επιτευχθεί ακόμη, καμία οικονομική και αποδοτική αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας, για αυτό το λόγο και η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται τη στιγμή που υπάρχει ζήτηση για κατανάλωση.



Εικόνα 3.1: Βασική Δομή Ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Πηγή: Σημειώσεις, Κ. Βουρνά, Καθηγητής Ε.Μ.Π.).

3.1 Κατάσταση Ελληνικού Συστήματος Παραγωγής Ενέργειας

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα κατά κύριο λόγο παρέχεται από την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.). Το Δίκτυο Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της Δ.Ε.Η. είναι εγκατεστημένο στην Ελληνική Επικράτεια και στο σύνολο του αποτελείται από γραμμές μέσης τάσης (ΜΤ) και χαμηλής τάσης (ΧΤ), καθώς αποτελείται και από εγκαταστάσεις διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, γραμμές και εγκαταστάσεις υψηλής τάσης (ΥΤ) οι οποίες έχουν ενταχθεί στο δίκτυο. Για το έτος 2009 η Δ.Ε.Η. παρείχε προς το καταναλωτικό κοινό του ελλαδικού χώρου το 85,6% του συνόλου της ζήτησης ενέργειας, ένας αριθμός ο οποίος για το έτος 2010 μειώθηκε στο 77,3%, μια μείωση της τάξεως του 8,3% μέσα σε ένα μόλις χρόνο. Η κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τον οργανισμό, γίνεται από θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που ως μέσο τροφοδοσίας για την παραγωγή έχουν τα ορυκτά καύσιμα και πιο συγκεκριμένα το Λιγνίτη. Το ποσοστό ενέργειας που παράγεται από αυτούς τους σταθμούς είναι λίγο παραπάνω από το μισό του συνολικού ποσοστού περίπου 48%. Ωστόσο, κατά την περίοδο του έτους 2019 σημειώθηκε σημαντική πρόοδος στα έργα βασικής ενεργειακής υποδομής και στο περίπλοκο έργο του σχεδιασμού ενεργειακής πολιτικής της χώρας.

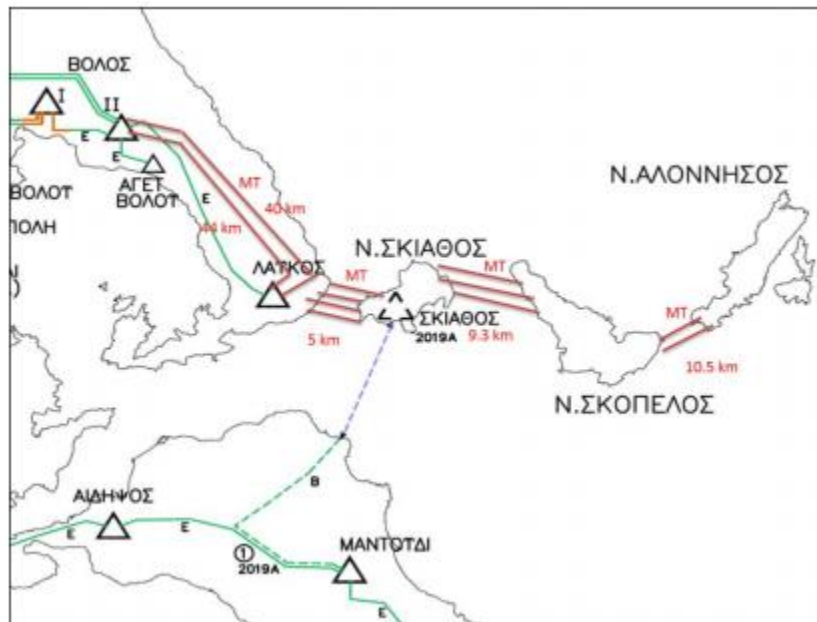
Επιπρόσθετα, χρειάζεται να αναφερθεί πως για το έτος 2019 σημειώθηκε σημαντική πρόοδος στα έργα βασικής ενεργειακής υποδομής και στο περίπλοκο έργο του σχεδιασμού ενεργειακής πολιτικής της χώρας. Ενώ για το 2018 σημειώθηκαν σημαντικές εξελίξεις για τον ενεργειακό τομέα της Ελλάδος, οι οποίες είχαν σαν απώτερο σκοπό την ουσιαστική θεσμοθέτηση παρεμβάσεων για την τόνωση και την ενίσχυση του ανταγωνισμού στη χώρα σε όλα τα επίπεδα. Στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας μία σημαντική εξέλιξη για το 2020 ήταν η εξάλειψη του επιχειρησιακού μοντέλου, για την πρόβλεψη της ηλεκτρικής ενέργειας που θα χρειάζονταν να καταναλώσει η χώρα, day-ahead (επόμενη μέρα). Η Ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω των συνεχιζόμενων προσπαθειών για αναδιάρθρωση της Δ.Ε.Η., έχει σαν στόχο την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στοχεύοντα ταυτόχρονα, σε μία προσπάθεια απαλλαγής της, από τα ορυκτά καύσιμα (Λιγνίτης κατά κύριο λόγο), προσανατολισμένη ταυτόχρονα στην αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.)

Σημαντικό είναι να αναφερθεί, ότι το 12% της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προέρχεται από τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, ενώ ένα 20% από την καύση φυσικού αερίου. Κατά την διετία 2009-2010 παρατηρήθηκε αύξηση παραγωγής ενέργειας από ανεξάρτητες εταιρίες των οποίων η αύξηση άγγιξε το 56%, με τελικό σύνολο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

2009 τα 2,7GW, ενώ για το 2010 και μετά την αύξηση των ανεξάρτητων εταιριών να αγγίζει τα 4,2GW. Για το 2019, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων στο διασυνδεδεμένο σύστημα της Ελλάδας ανήλθαν στα 18,3 GW, σημειώνοντας μια άνοδο της τάξεως του 5,2% από τα επίπεδα του 2018 (17,4 GW). Οι ΑΠΕ βρέθηκαν να είναι η μόνη πηγή ηλεκτροπαραγωγής που σημείωσε αύξηση στην εγχώρια εγκατεστημένη ισχύ του διασυνδεδεμένου συστήματος για το 2019, σε σύγκριση με το 2018, καταγράφοντας νέα εγκατεστημένη ισχύ της τάξεως των 886 MW και συνολικής εγκατεστημένης ισχύς 6,3 GW (IENE, 2020).

Επιπρόσθετα, το ελληνικό ενεργειακό σύστημα αποτελείται και μικρότερα ανεξάρτητα Σ.Η.Ε., τα αυτόνομα συστήματα παραγωγής τα οποία βρίσκονται εγκατεστημένα στα νησιά της χώρας, τα οποία δεν δύναται να είναι διασυνδεδεμένα με το σύστημα της ηπειρωτικής Ελλάδος (Μη Διασυνδεδεμένοι Νήσοι). Στο σύνολο τους, αποτελούν μικρές μονάδες μικρού μεγέθους και βασικό χαρακτηριστικό τους είναι το υψηλό κόστος παραγωγής ενέργειας. Με αφορμή τα παραπάνω, οφείλεται να αναφερθεί πως έχει θεσπιστεί ένα δεκαετές πλάνο (2021-2030), το οποίο σχετίζεται με την εξελίξεις σχετικά με τις διασυνδέσεις των νησιών με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στην ηπειρωτική Ελλάδα. Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) έχει ήδη ανακοινώσει τη συμπερίληψη της ηλεκτρικής διασύνδεσης των νήσων του Βορείου Αιγαίου (Σποράδες 2017-2026, Εικόνα 3.1.1), όπου ταυτόχρονα θα λειτουργήσει και στο μέλλον ο μέσο ηλεκτρικής διασύνδεσης των Δωδεκανήσων.



Εικόνα 3.1.1: Υφιστάμενη και Μελλοντική Τροφοδότηση των Β. Σποράδων 2017-2026 (Πηγή: Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε, 2019).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

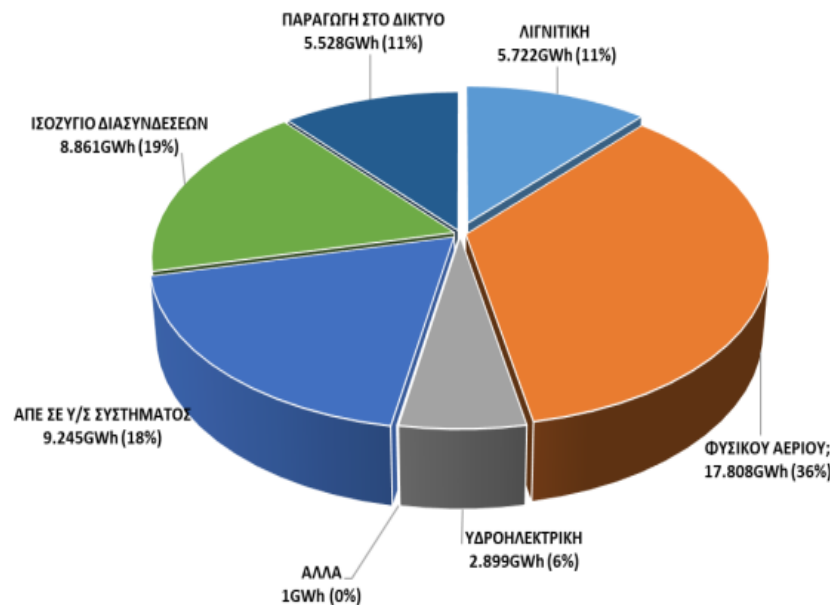
Επίσης, ένα από τα σημαντικότερα και σε εξέλιξη έργα για ηλεκτρική διασύνδεση με το δίκτυο της ηπειρωτικής Ελλάδας είναι η «μικρή διασύνδεση» (Κρήτης-Πελοπόννησος) η οποία ήταν προγραμματισμένη να παραδοθεί μέσα στο 2020, αλλά λόγω της υγειονομικής πανδημίας πήρε παράταση, ενώ η «μεγάλη διασύνδεση» (Κρήτη-Αττική) αναμένονταν να έχει παραδοθεί ολοκληρωμένη το 2023, για του ίδιους λόγους, που αναφέρθηκαν παραπάνω, δόθηκε παράταση υλοποίησης του έργου πιθανότατα για το 2024 (Εικόνα 3.1.2).



Εικόνα 3.1.2: Μικρή και Μεγάλη Διασύνδεση Ηπειρωτικής Ελλάδος με την Κρήτη (Πηγή: Α.Δ.Μ.Η.Ε., 2021)

Επίσης, πρέπει να προστεθεί πως για το έτος 2008 οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για το Ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούσε το 8% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της χώρας, σημειώνοντας μια μικρή αύξηση της τάξεως 0,8% αντίστοιχα με τα ποσοστά για το έτος 2006 (7,2%). Ωστόσο, εξακολουθούσε να υπολείπεται του μέσου όρου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (10%) για το 2008. Ακόμη, πρέπει να ειπωθεί ότι το 10% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της Ελλάδος προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια, ενώ ένα άλλο μεγάλο κομμάτι προέρχεται από την βιομάζα και την ανακύκλωση των αποβλήτων, όπως καθορίζει η Ε.Ε. Η Ελλάδα βρισκόταν σε μια προσπάθεια να μπορεί να παράγει ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές ως το τέλος του 2020 της τάξεως το 18% έως και 20% (Εικόνα 3.1.3), όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, στόχος ο οποίος είχε επιτευχθεί (2018) και πλέον το ποσοστό των Α.Π.Ε αγγίζει το 42%, προσθέτοντας την υδροηλεκτρική ενέργεια (6%) και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ιδιώτες παραγωγούς.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 3.1.3: Διάγραμμα Κατανομής της Συνολικής Παραχθείσας Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά Είδος Πηγής Παραγωγής με Βάση το Καύσιμο κατά το Έτος 2020 (Πηγή: Α.Δ.Μ.Η.Ε., 2020).

Τέλος, η Ελλάδα σήμερα δεν έχει πυρηνικά εργοστάσια σε λειτουργία, ωστόσο το 2009 η Ακαδημία Αθηνών πρότεινε ότι η έρευνα για την δυνατότητα δημιουργίας ελληνικών πυρηνικών εργοστασίων έχει αρχίσει.

4. Ενεργειακή Κατανάλωση Κτηριακών Εγκαταστάσεων

Οι κτηριακές εγκαταστάσεις είναι το κλειδί για ένα βιώσιμο μέλλον, ο λόγος διότι, ο σχεδιασμός, η κατασκευή, η λειτουργία και οι δραστηριότητες των κτιρίων συμβάλλουν σημαντικά στις προκλήσεις βιωσιμότητας που σχετίζονται με την ενέργεια. Η μείωση της ενεργειακής ζήτησης στις κτηριακές υποδομές αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους ρόλους στην επίλυση αυτών των προκλήσεων.

Πιο συγκεκριμένα:

- ✓ Ο τομέας των κτιρίων και οι ανθρώπινες δραστηριότητες μέσα σε αυτά ευθύνονται για περίπου το 31% της παγκόσμιας τελικής ζήτησης ενέργειας, αναλογικά αντιπροσωπεύει περίπου το ένα τρίτο (1/3) των εκπεμπόμενων ρύπων CO₂ που σχετίζεται με την ενέργεια, τα δυο τρίτα (2/3) στον αλογονάνθρακα και ένα υπόλοιπο της τάξεως 25% με 33% στις εκπομπές μαύρου άνθρακα.
- ✓ Αρκετά προβλήματα που σχετίζονται με την ενέργεια και σαν αποτέλεσμα έχουν να επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία και

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

ταυτόχρονα την παραγωγικότητα παρουσιάζονται λόγω των κτιρίων, εκτός των παραπάνω προβλημάτων οφείλεται να συμπεριληφθεί η θνησιμότητα και η νοσηρότητα λόγω κακών και μη ποιοτικών χαρακτηριστικών των κτιριακών χώρων.

- ✓ Η αποτελεσματικότερη χρήση της ενέργειας και των υλικών που χρησιμοποιούνται στις υποδομές, όπως, επίσης και ο βιώσιμος ενεργειακός εφοδιασμός των κτιρίων, αποτελεί καίριας σημασίας για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με την βιωσιμότητα. Πρόσφατες σημαντικές εξελίξεις στο σχεδιασμό κτιρίων, της τεχνογνωσίας, της τεχνολογίας και των τακτικών διαχείρισης κατέστησαν δυνατή, την σημαντική μείωση της παγκόσμιας χρήση ενέργειας των κτιρίων. Στόχος, είναι να μπορούν τόσο τα ανακατασκευασμένα όσο και τα νεόκτιστα κτίρια, να αποτελούν εστίες χαμηλής και παθητικής κατανάλωσης ενέργειας.

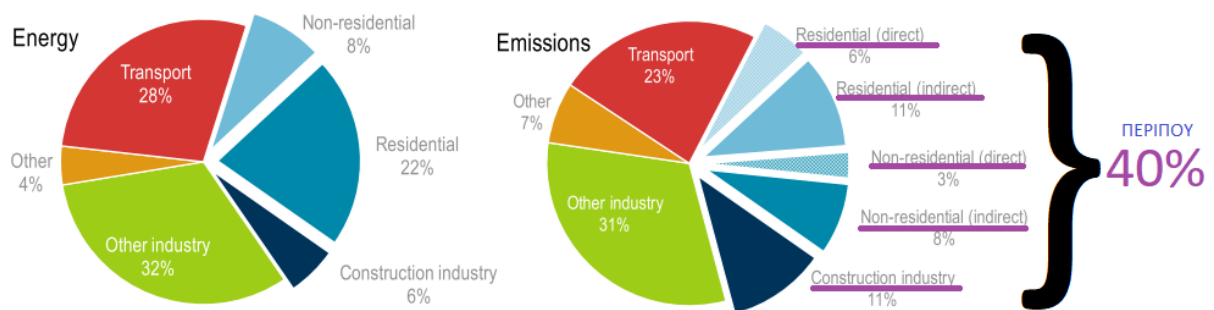
Σχεδόν το 60% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνεται σε οικιστικά και εμπορικά κτίρια. Σε εθνικό επίπεδο, η χρήση ενέργειας στα κτίρια αντιπροσωπεύει τυπικά το 20-40% της συνολικής τελικής χρήσης ενέργειας κάθε χώρας, με παγκόσμιο μέσο όρο να είναι περίπου 30%. Η κατά κεφαλή τελική χρήση της ενέργειας σε κτίρια όπου επικρατεί ψυχρό είτε εύκρατο κλίμα σε μια εύπορη χώρα (π.χ. Η.Π.Α) μπορεί να είναι πενταπλάσια έως και δεκαπλάσια υψηλότερη από ότι σε περιοχές χαμηλού εισοδήματος όπου το κλίμα που επικρατεί είναι θερμό (π.χ. Αφρική).

Οι ενεργειακές υπηρεσίες στα κτίρια, όπως η παροχή θερμικής άνεσης, ψύξης, φωτισμού, επικοινωνίας και ψυχαγωγίας, υγιεινής και υγιεινής διατροφής, καθώς και πολλών άλλων παροχών βρίσκονται να είναι υπεύθυνες για ένα σημαντικό μερίδιο χρήσης ενέργειας παγκοσμίως. Η παγκόσμια άμεση συνολική τελική χρήση ενέργειας στα κτίρια ήταν 108EJ για το έτος 2007 και είχε ως αποτέλεσμα την εκπομπή 8,6 Gt CO₂ αποτελώντας ένα ποσοστό της τάξεως του 33% των παγκόσμιων εκπεμπόμενων ρύπων CO₂ που έχουν άμεση σχέση με την ενέργεια. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι στην παγκόσμια αγορά ο σημαντικότερος διανομέας ενέργειας για τις τελικές χρήσεις ενέργειας, είναι η βιομάζα, ενώ ακολουθούν η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, το φυσικό αέριο και τα προϊόντα από πετρέλαιο ή παράγωγα του (Rge-Vorsatz et al., 2013).

Η απαλλαγή του άνθρακα από τις κτιριακές υποδομές ωστόσο, καθώς, και του κατασκευαστικού τομέα βρίσκεται να είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη της δέσμευσης της Συμφωνίας του Παρισιού και των Στόχων για την Αειφόρο Ανάπτυξη των Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε). Ο κτιριακός και ο κατασκευαστικός τομέας βρίσκεται ως ο μεγαλύτερος υπαίτιος για το σχεδόν 40% των εκπεμπόμενων

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

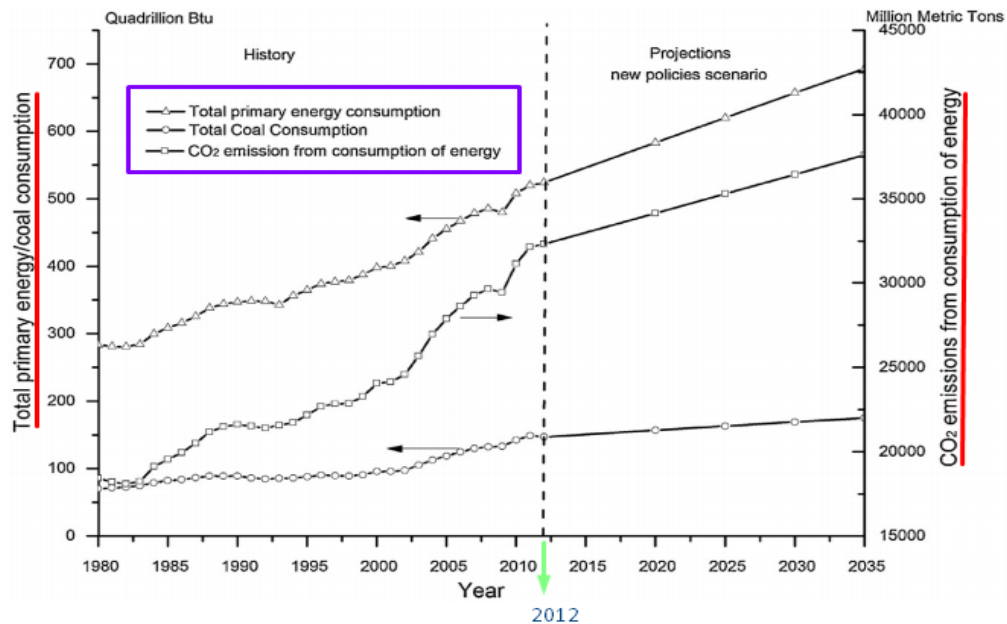
ρύπων άνθρακα (Εικόνα 4.1), οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με την ενέργεια και τις διαδικασίες που σχετίζονται με τα κτήρια και τις κατασκευές, έμμεσα ή άμεσα, μέσω των οποίων λαμβάνεται δράση για την προστασία του κλίματος από το φαινόμενο. Ωστόσο, βάση της Παγκόσμιας Έκθεσης Κατάστασης (Global Status Report 2019) αναφέρεται πως τα κτήρια και οι κατασκευές για το 2019 δεν βρίσκεται σε τροχιά ώστε να καλύψει σε επιθυμητό επίπεδο τις απαραίτητες απαιτήσεις των δεσμεύσεων στο απαιτούμενο επίπεδο, για την δράση του κλίματος. Αντίθετα, αναφέρεται ότι η τελική ενεργειακή ζήτηση των κτηρίων για το 2018 αυξήθηκε 1% από το προηγούμενο έτος (2017) και σχεδόν 7%, συνολικά, από το 2010.



Εικόνα 4.1: Διάγραμμα Παγκόσμιου Μερισματος Κτηριακού και Κατασκευαστικού Τομέα Κατανάλωσης Ενέργειας και Παραγωγής Ρύπων για το Έτος 2018 (Πηγή προσαρμοσμένο από: IEA and UNEP, 2019).

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον οργανισμό Διαχείρισης Ενεργειακών Πληροφοριών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (US Energy Information Administration), τα παγκόσμια αποτελέσματα τα οποία σχετίζονται με την κατανάλωση πρωτογενής ηλεκτρικής ενέργειας και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σημείωσαν αυξητική τάση της τάξεως του 85% και 75% από το 1980 έως το 2012, με μέσω ετήσιο ρυθμό αύξησης της τάξεως του 2% και 1,7%, αντίστοιχα όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα: 4.2).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 4.2: Διάγραμμα Παγκόσμιας Κατανάλωσης Πρωτογενής Ενέργειας, Κατανάλωσης Άνθρακα και Εκπομπών του Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂) που Προκλήθηκαν από την Ενεργειακή Κατανάλωση κατά τα Έτη 1980~2012 (Πηγή: Προσαρμοσμένο από Cao et al., 2016).

Στο ενεργειακό ισοζύγιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο άνθρακας αποτελεί μία από τις κυριότερες πηγές παραγωγής ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας ποσοστιαία σχεδόν το 25% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας για τα περισσότερα από αυτά τα χρόνια (1980~2012), προκαλώντας σημαντικές εκπομπές αέριων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Η συνολική κατανάλωση ενέργειας, η κατανάλωση άνθρακα όπως επίσης και οι εκπομπές αέριων ρύπων CO₂ προβλέπεται να αυξηθούν αγγίζοντας, το 32%, 19% και 16%, αντίστοιχα, από το 2012 έως και το 2035 (Cao et al., 2016). Ωστόσο, εκτιμάται πώς η αυξανόμενη κατανάλωση άνθρακα αναμένεται να επιβραδυνθεί στα επόμενα έτη μετά το 2012 λόγω μεταρρυθμίσεων στις ενεργειακές δομές των κρατών-χωρών, ιδίως στους δυο μεγαλύτερους καταναλωτές όπως είναι οι Η.Π.Α. και η Κίνα.

Το μεγαλύτερο μέρος της ολοένα και αυξανόμενης ενεργειακής κατανάλωσης και ταυτόχρονα παραγωγή αέριων ρύπων CO₂ πιστεύεται ότι οφείλεται στη συνεισφορά των αναπτυσσόμενων χωρών. Μέχρι το 2010, η Κίνα είχε καταφέρει να προσπεράσει της Η.Π.Α. ως ο μεγαλύτερο καταναλωτής ενέργειας στον κόσμο, με μερίδιο της τάξεως του 20% της συνολικής παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης. Ωστόσο, οι Η.Π.Α. παρουσίασε μία εικόνα μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας της τάξεως του 2% δηλαδή $97,8 \times 10^{15}$ Btu (Quads) μεταξύ της διετίας 2008~2010, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση της Κίνας παρουσίασε

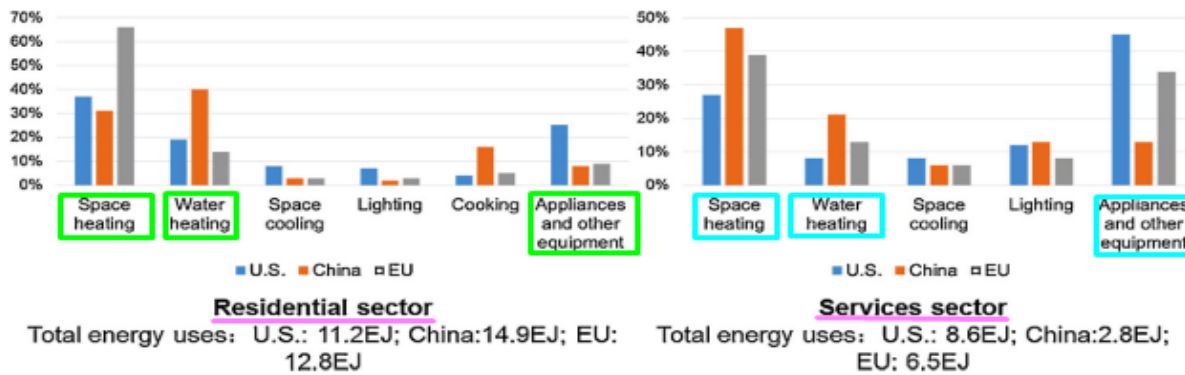
αύξηση της τάξεως του 22,9% δηλαδή $104,6 \times 10^{15}$ Btu (U.S. Department of Energy, 2012).

4.1 Η Τελική Χρήση της Ενέργειας στις Κτιριακές Υποδομές

Στην εποχή μας το μεγαλύτερο ποσοστό των ανθρώπων καταναλώνει το μεγαλύτερο μέρος της καθημερινότητας του (περίπου 90%) σε εσωτερικούς χώρους οι οποίοι βρίσκονται να αλληλεξαρτώνται από μηχανική στήριξη, για την θέρμανση καθώς και τον κλιματισμό, συνεπώς οδεύουν τις κτηριακές εγκαταστάσεις να αποτελούν τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας παγκοσμίως. Το ποσοστό της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων αυξήθηκε από το 33,7% στο 41,1% μέσα σε τριάντα (30) χρόνια (1980 έως 2010) στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Ωστόσο, η κτηριακή κατανάλωση ενέργειας στην Κίνα παρουσίασε αυξητικές τάσεις της τάξεως του 40% για σχεδόν είκοσι (20) χρόνια από το 1990 έως και το 2009, γεγονός το οποίο τοποθετεί την Κίνα ως τον δεύτερο μεγαλύτερο καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας για κτηριακές εγκαταστάσεις στον κόσμο μετά τις Ηνωμένες Πολιτείες (Cao et al., 2016).

Πιο συγκεκριμένα, στην παρακάτω εικόνα (4.1.1) απεικονίζονται αναλυτικά η τελική χρήση της ενέργειας (Building Energy End-Uses) των κτηριακών εγκαταστάσεως για τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Κίνα και την Ευρώπη για το 2010 όπως τα κατέγραψε ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA). Όπου, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν εμφανείς δομικές διαφορές ανάμεσα στις χώρες (Κίνα, Η.Π.Α., Ευρώπη) για το πώς διανέμεται η ενέργεια στην τελική της χρήση, αποδίδεται εμφανέστατα μέσω του παρακάτω διαγράμματος, όπου η διεργασία της θέρμανσης (θέρμανση χώρων και η θέρμανση νερού χρήσης) αποτελεί ξεκάθαρα το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ανάμεσα στις τρεις περιοχές. Για τον τομέα όπου τα κτήρια αποτελούν τις κατοικίες (Residential Sector), παρατηρείται, ότι η θέρμανση των χώρων και η θέρμανση ζεστού νερού χρήσης, αποτελούν τους κυριότερους καταναλωτές ενέργειας, με την κατηγορία της χρήσης οικιακών συσκευών, μαγειρέματος και φωτισμού να ακολουθούν. Ενώ, η ψύξη των χώρων να παρουσιάζεται ως αμελητέα στο τελικό σύνολο της κατανάλωσης ενέργειας. Παράλληλα, στον τομέα της παροχής υπηρεσιών σε κτηριακές εγκαταστάσεις (Service Sector), παρατηρείται, ότι η θέρμανση χώρων καθώς και η ψύξη τους αποτελούν τις κυρίαρχες περιπτώσεις κατανάλωσης ενέργειας, με τις υπόλοιπες κατηγορίες να ακολουθούν.

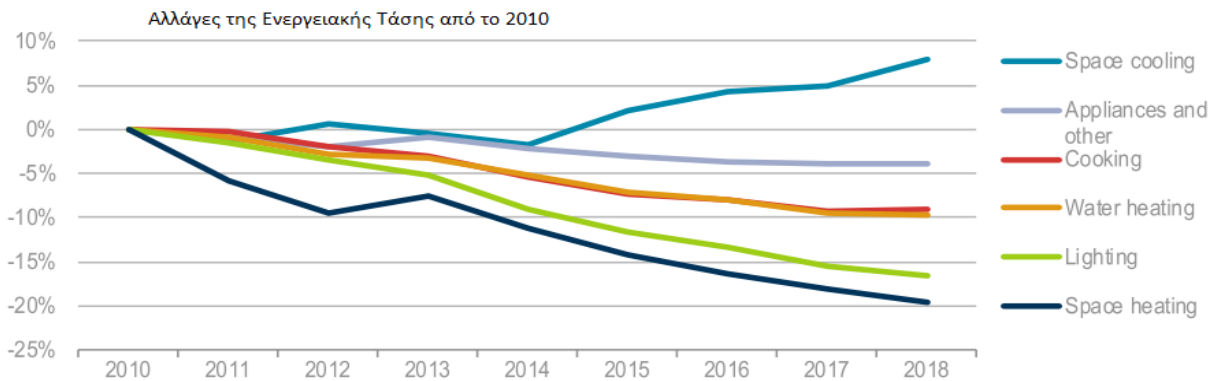
Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 4.1.1: Διαγράμματα Ανάλυσης της Τελικής Χρήσης της Ενέργειας στις Κτιριακές Υποδομές για Η.Π.Α, Κίνα και Ευρώπη για το Έτος 2010 (Πηγή: Προσαρμοσμένο από ΙΕΑ,2013).

Ακολούθως, από το 2010 μέχρι το 2018, η παγκόσμια χρήση ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε πάνω από 6,5EJ (19%). Οι εκπομπές, οι οποίες προκύπτουν από τις πηγές καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εξακολουθούν να περιλαμβάνουν υψηλά επίπεδα άνθρακα. Ιδιαίτερα, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση των εκπεμπόμενων ρύπων, στις αναδυόμενες οικονομίες μέσα στο 2018. Όπως αναφέραμε παραπάνω, και φαίνεται ενδεικτικά στα διαγράμματα η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας τελικής χρήσης λόγω σημαντικής υψηλότερης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για το 2010, έγινε για την απαραίτητη ψύξη χώρων, για ηλεκτρικές συσκευές και ζεστό νερό χρήσης τα οποία πρόσδωσαν αυξημένες εκπομπές ρύπων. Ωστόσο, η ζήτηση για ψύξη χώρων αυξήθηκε περισσότερο από 33% κατά την διάρκεια της οχταετίας 2010-2018 στο σύνολο (Εικόνα 4.1.2) και κατά 5% το τελευταίο έτος (2017-2018). Επίσης, η ζήτηση ενέργειας για ηλεκτρικές συσκευές αυξήθηκε για το 2018 κατά 18% από το 2010 και ακολουθεί η θέρμανση νερού με 11%, για την ίδια χρονική περίοδο. Ταυτόχρονα, η ζήτηση ενέργειας για την θέρμανση χώρων μειώθηκε κατά 1% από το 2010, και παρέμεινε σταθερή τα τελευταία πέντε χρόνια δηλαδή στο 1/3 της συνολικής παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας για τα κτίρια.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 4.1.2 : Διάγραμμα Διακύμανσης της Ενεργειακής Τάσης από το 2010 έως το 2018 (Πηγή: Προσαρμοσμένο από IEA and UNEP, 2019)

Δεν υπάρχει αμφιβολία, πώς οι τελικές χρήσεις ενέργειας στις κτιριακές υποδομές προβλέπεται να αυξηθούν μελλοντικά, παράλληλα με την αύξηση του πληθυσμού, την ανάπτυξη της οικονομίας και της κλιματικής αλλαγής. Σε αυτό το σημείο οφείλουμε να αναφέρουμε, πως τα τελευταία χρόνια (2019~2020), λόγω της παγκόσμιας υγειονομικής κρίσης (*Covid 19*), όπου η αρχή της προκύπτει από το δεύτερο (B) εξάμηνο του 2019 έως και σήμερα, πρόσδωσε μία πολυπλοκότητα αλληλοεπιδρώντων παραγόντων οι οποίοι διαθέτουν την ικανότητα να καθορίζουν την τάση της ενέργειας στον τομέα των κτιριακών εγκαταστάσεων για τα επόμενα χρόνια.

Βάσει του Διεθνή Οργανισμού Ενέργειας (IEA), βραχυπρόθεσμα φαίνεται να υπάρχουν τρεις κύριες τάσεις η οποίες θα επηρεάσουν τον τομέα της ενέργειας ως προς την ζήτηση της από τον τομέα των κτιρίων, και αυτές χαρακτηριστικά είναι:

- Μια μερική μετατόπιση της ενεργειακής ζήτησης από τα εμπορικά κτίρια στα οικιστικά, το φαινόμενο παρουσιάστηκε κυρίως από το πρώτο (A) εξάμηνο του 2020 και μετέπειτα, καθώς τα μέτρα κοινωνικής απόστασης και τηλεργασία οδήγησαν στην μείωση της χρήσης των εμπορικών κτιρίων για την διεκπεραίωση των εργασιών από τους ανθρώπους, ενώ ταυτόχρονα το βάρος αυτών των εργασιών μετατοπίστηκε με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι δραστηριότητες κατανάλωσης ενέργειας στις οικίες, όπου σε μετρήσεις που διενεργήθηκαν αυτή η εναλλαγή αύξησε την συνολική ενεργειακή ζήτηση του τομέα των οικιακών κτιρίων (residential sector).
- Μία αύξηση του μεριδίου της ενεργειακής κατανάλωσης από πολλούς διαφορετικούς υπό-κλάδους ενεργειακής χρήσης, με τελικό αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα δραστηριότητας στον τομέα των εμπορικών κτιρίων (commercial sector).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

- Λόγω των περιορισμών και των απαγορεύσεων που εφαρμόστηκαν, για την εξασφάλιση της παγκόσμιας υγείας δεν δύναται η δυνατότητα των επαγγελματιών εργολάβων πρόσβαση σε οικιακές ιδιοκτησίες με αποτέλεσμα την επιβράδυνση των τεχνικών εργασιών, οι οποίες είχαν σαν σκοπό την αναβάθμιση της τεχνητής απόδοσης των κτιρίων (ωστόσο, τα αυξημένα ποσοστά ανακαίνισης do-it-yourself (φτιάχνω μόνος μου) κατάφεραν να ενισχύσουν την τεχνητή αποδοτικότητα των κτιριακών εγκαταστάσεων).

Πιο συγκεκριμένα, κατά το μέσο όρο των ανθρώπων, κυρίως στις ανεπτυγμένες οικονομίες, μείωσαν την επισκεψιμότητα στους χώρους εργασίας περίπου πάνω από το 60% κατά τον μήνα Απρίλιο (Β εξάμηνο 2020), με την μείωση να αγγίζει ποσοστιαία το 20% έως 30% κατά την περίοδο Ιουνίου-Σεπτεμβρίου λόγω της επιβεβλημένης εφαρμογής τηλεργασίας. Με αυτή την μέθοδο εργασίας, ο χρόνος που αφιερώθηκε, για εργασία στο σπίτι, παρουσίασε αύξηση της τάξεως του 30% κατά την διάρκεια των αυστηρών μέτρων που πάρθηκαν για την εξυγίανση της πανδημίας, καθώς αυξήθηκε επιπρόσθετα περίπου 5% με 10% κατά την περίοδο Ιουνίου-Οκτωβρίου, προκαλώντας μεγάλα φαινόμενα κατανάλωσης ενέργειας όπως σημαντικές και περίπλοκες μεταβολές στη ζήτηση ενέργειας.

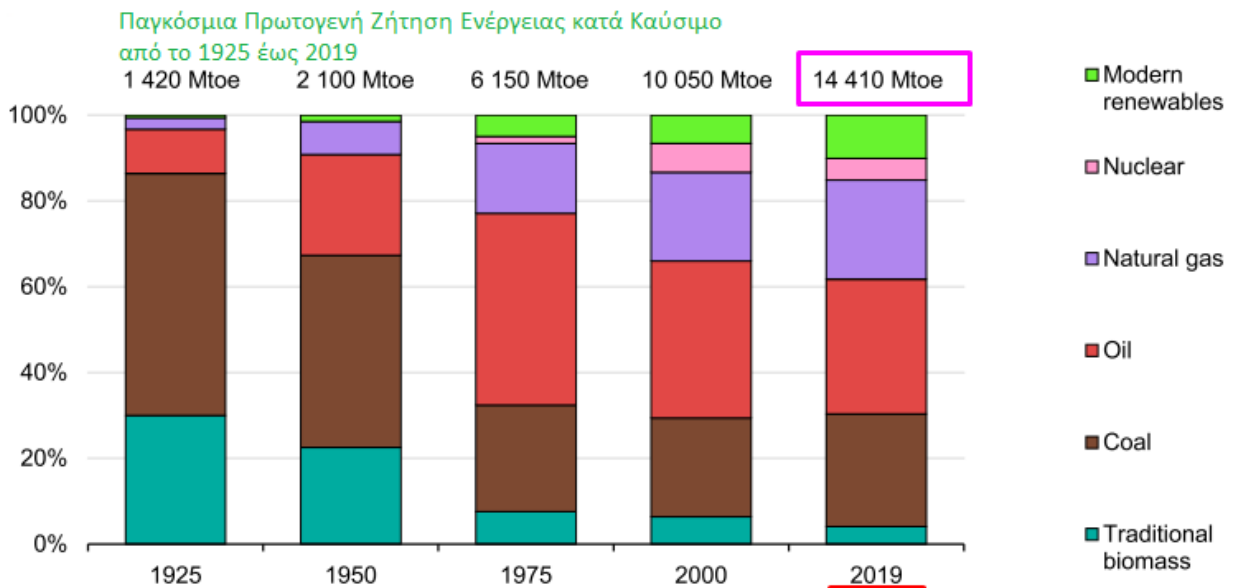
Αναλυτικότερα, σε ορισμένα μέρη των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, η μέση οικιακή χρήση ηλεκτρικής ενέργειας τις καθημερινές μέρες αυξήθηκε κατά 20% μέχρι και 30% στα τέλη του Μαρτίου, ιδίως για την ψύξη των κατοικιών που βρίσκονταν σε θερμότερα κλίματα. Στην Ινδία, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε επίσης καθώς τα φορτία ψύξης αυξήθηκαν, ενώ στην Ευρώπη η χρήση ενέργειας για θέρμανση συνέβαλε σε 40% υψηλότερο ποσοστό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από έτος σε έτος.

Αντίθετα, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στους εργασιακούς χώρους και παροχής υπηρεσιών παρουσίασε αισθητή μείωση, όπου για την Κίνα αυτή η μείωση για τους δυο πρώτους μήνες του έτους αντιστοιχούσαν στο 3% μείωσης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και για την Η.Π.Α. στο 8% κάτω από τα κατώτερα όρια των τελευταίων ετών. Ωστόσο, τα παραπάνω ποσοστά δεν βρίσκεται να είναι μεγάλα διότι το μεγαλύτερο μέρος των επιχειρήσεων, παρά το γεγονός ότι ήταν κλειστά, τα υπάρχοντα κτίρια διέθετα συστήματα αυτοσυντήρησης (θέρμανση, ψύξη, αερισμός) όπως επίσης και υπολογιστικά συστήματα.

Τέλος, για τις χώρες, όμως, οι οποίες διαθέτουν διαφορετικούς πόρους διάθεσης ενέργειας (φυσικό αέριο) παρουσιάστηκαν μειώσεις και στον τομέα των οικιακών κτιρίων, όπου για την Αυστραλία αυτό το ποσοστό αγγίζει το 2% και την Ευρώπη το 13% κάτω από τον πενταετή μέσο όρο για τους χειμερινούς μήνες (IEA,2020).

4.2 Η Κατανάλωση Ενέργειας Σύμφωνα με την Χρήση κάθε Τύπου Καυσίμου

Τα καύσιμα και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την κάλυψη της αύξησης της ενεργειακής ζήτησης τον περασμένο αιώνα έχουν πλέον υποστεί σημαντικές αλλαγές καθώς τα διαδοχικά κύματα της τεχνολογικής καινοτομίας έχουν σημαντικά επηρεάσει τον τομέα της ενέργειας. Ένα πρώιμο κύμα καινοτομίας για τον 20^ο αιώνα έδωσε την δυνατότητα στο πετρέλαιο να επεκταθεί στο θέμα χρήσης, ενώ τα επόμενα κύματα ευνόησαν την αύξηση και επέκταση του φυσικού αερίου, καθώς και της πυρηνικής ενέργειας και στο πιο πρόσφατο παρελθόν τις τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Εικόνα 4.2.1). Κάθε μία από τις περιπτώσεις, παραπάνω, κατάφερε να προωθήσει ένα βήμα μπροστά τις ενεργειακές τεχνολογίες και να προσδώσει χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα από αυτά που είχαν παρέλθει. Ωστόσο, από τις απαρχές του του 21^{ου} αιώνα, το μερίδιο του άνθρακα ως προς την παγκόσμια τροφοδοσία ηλεκτρικής μικτής ενέργειας προσέφερε στην Κίνα οικονομική άνθηση. Όπου, το μερίδιο της παραδοσιακής βιομάζας, που σχεδόν κατέστη να είναι η μοναδική πηγή ενέργειας σε πολλά μέρη του κόσμου για τον προηγούμενο αιώνα, έχει μειωθεί σταθερά καθώς η διαθεσιμότητα άλλων καυσίμων έχει επεκταθεί.



Εικόνα 4.2.1: Διάγραμμα Παγκόσμιας Πρωτογενούς Ζήτησης Ενέργειας κατά Καύσιμο ανά 25ετία από το 1925 έως το 2019 (Πηγή: Προσαρμοσμένο από ΙΕΑ, 2020).

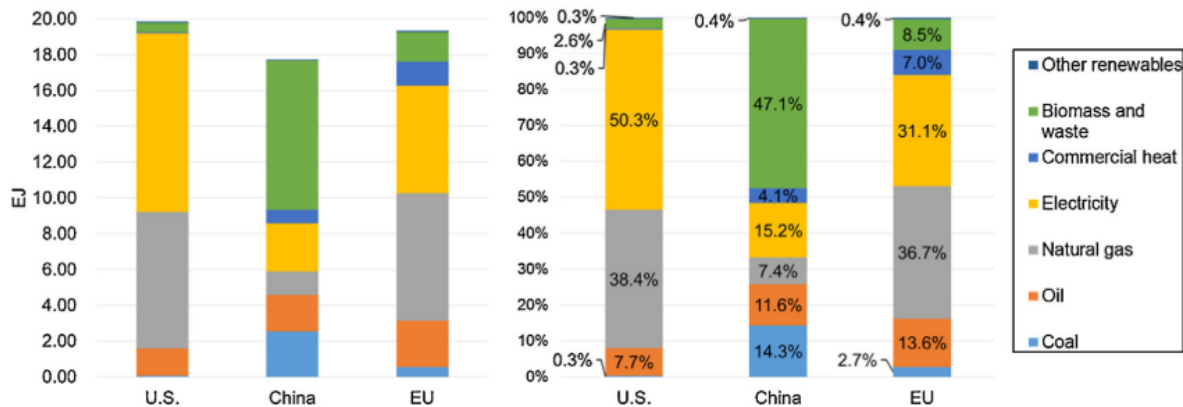
Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Με το πετρέλαιο πλέον να βρίσκεται σε σχετική πτώση, ωστόσο, το μερίδιο του στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα κορυφώθηκε στα μέσα της δεκαετίας του '70 μόλις λίγο κάτω από το 50% του συνόλου. Η ευρύτερη ενεργειακή διαφοροποίηση με στοιχεία πραγματοποιήθηκε στο τελευταίο τέταρτο του 20^{ου} αιώνα, με την όλο και μεγαλύτερη αυξανόμενη χρήση του φυσικού αερίου και την ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας υπό την ηγεσία των Η.Π.Α., της Ρωσίας, της Ιαπωνίας και ορισμένων χωρών της Ευρώπης. Το 2000, υπήρξαν δυο σημαντικά ενεργειακά γεγονότα. Πρώτη, η Κίνα αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα με την ανοδική της πορεία ως οικονομική δύναμη και σπουδαίο ενεργειακό καταναλωτή. Δεύτερο, είναι η αυξητική τάση των επενδύσεων στις σύγχρονες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά στην Ευρώπη, τις Η.Π.Α., την Κίνα καθώς και την Ινδία. Οφείλεται, να επισημανθεί ότι το αυξημένο μερίδιο των Α.Π.Ε. στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα αντιστάθμισε το μειωμένο μερίσμα στην αγορά ενέργειας, την πυρηνική ενέργεια, για εκείνη την περίοδο.

Η διαρκή τάση της ηλεκτρικής ενέργειας να αποκτά ολοένα αυξανόμενο μερίδιο στον τομέα της τελικής χρήσης ενέργειας, παρουσιάστηκε αρχικά στην βιομηχανία και στα κτίρια και πιο πρόσφατα στον τομέα των μεταφορών. Η ηλεκτρική ενέργεια, πλέον αντιπροσωπεύει περίπου το 1/5 της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο σε σύγκριση με το 1/10 που αντιπροσώπευε το 1970 και για το 2000 το 1/6. Πιο συγκεκριμένα, το μερίδιο της πρωτογενούς ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσίασε αύξηση της τάξεως, περίπου, του 22% το 1970, το 37% για το 2000 και το 38% για το 2019.

Χαρακτηριστικά, η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων αποτελεί έναν από τους πιο καθοριστικούς ρόλους στις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις. Για να καταφέρει η παγκόσμια κοινότητα την απομάκρυνση του άνθρακα από το σύστημα ενεργειακού ανεφοδιασμού, δημιουργήθηκε η αναγκαιότητα μετάβασης του ενεργειακού ανεφοδιασμού προς την καθαρή ενέργεια, με χαμηλές εκπομπές ρύπων του άνθρακα. Ο Cao et al., στην έρευνα του αναφέρει ότι σε παγκόσμιο επίπεδο παρατηρείται, πως τον κυρίαρχο ρόλο για την τελική κατανάλωση ενέργειας από όλους τους τύπους καυσίμων που χρησιμοποιούνται, αυτοί που κάνουν αισθητή διαφορά είναι η ηλεκτρική ενέργεια, το φυσικό αέριο και σε ορισμένες περιπτώσεις η βιομάζα. Χαρακτηρίστηκα, από στοιχεία που πάρθηκαν, από αναφορές του Παγκόσμιου Οργανισμού Ενέργειας (IEA) για το έτος 2013, στο παρακάτω γράφημα Εικόνα 4.2.2 απεικονίζεται αναλυτικά η τάση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας ανά τύπο καυσίμου για τις περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, της Κίνας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως παρουσιάστηκαν για το έτος 2010.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 4.2.2: Γράφημα Ποσοστιαίων Αναλογιών Τελικής Κατανάλωσης Ενέργειας ανά Καύσιμο κατά Περιοχή ΗΠΑ, Κίνα, ΕΕ (Πηγή: ΙΕΑ,2013).

Πιο συγκεκριμένα, μέσω της παραπάνω εικόνας μπορεί να παρατηρηθεί πώς η ηλεκτρική ενέργεια, καθώς και το φυσικό αέριο για την περιοχή των Η.Π.Α. αποτελούν τις κύριες πηγές καυσίμων για την κτιριακή ενεργειακή χρήση, με μερίδια που αγγίζουν περίπου το 50% και 40% της τελικής χρήσης ενέργειας, αντίστοιχα. Η ηλεκτρική ενέργεια, αποτελεί το μεγαλύτερο μερίδιο από το σύνολο των πηγών ενέργειας για την περιοχή των Η.Π.Α., με ποσοστό 50,3% το οποίο κατά κύριο λόγο δαπανάτε σχεδόν αποκλειστικά για χρήση στον κτιριακό τομέα όπου χρησιμοποιείται πρωτίστως για την θέρμανση, την ψύξη, τον φωτισμό και τις ηλεκτρικές συσκευές των χώρων. Ωστόσο, όταν ληφθήκαν υπόψη οι κατατόπους απώλειες, η ηλεκτρική ενέργεια άγγιξε το 72,9% της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε το 2010 για τον κτιριακό τομέα. Παράλληλα, το μεγαλύτερο ποσοστό που χρησιμοποιείται για την θέρμανση και ψύξη των χώρων, είναι συμβατικοί εξοπλισμοί όπως, αναφέρεται, οι οποίοι χρησιμοποιούν ως κύριο καύσιμο το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Ενώ ο άνθρακας, όπως και οι Α.Π.Ε φτάνουν να αποτελούν μόλις το 3,2% της συνολικής τελική χρήση ενέργειας για τις Η.Π.Α..

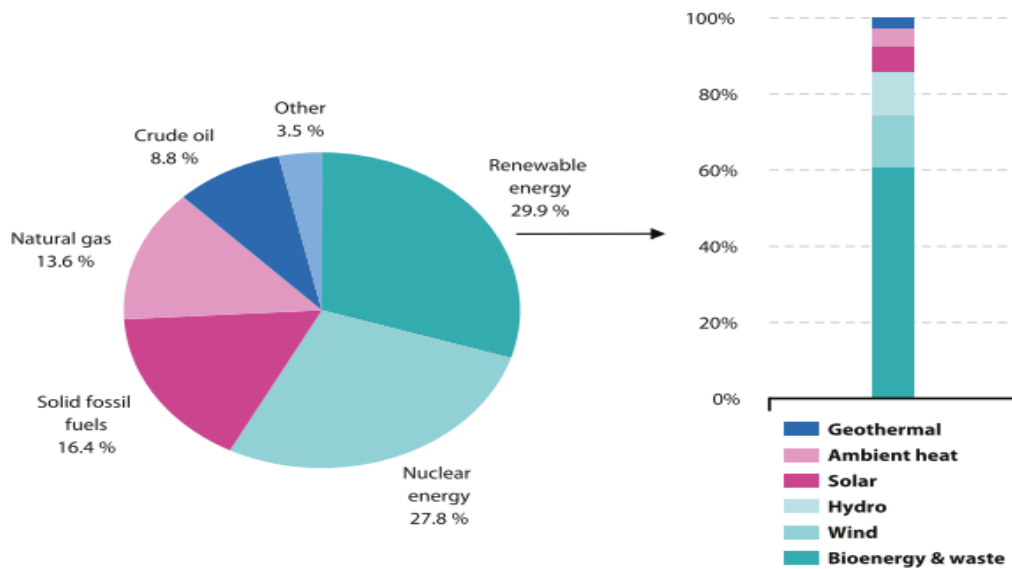
Αντιστρόφως, στην περίπτωση της Κίνας, παρατηρείται, ότι κυρίαρχη πηγή ενέργειας για τον τομέα των κτηριακών εγκαταστάσεων αποτελούν η βιομάζα και τα απόβλητα, όπου μέσω αυτών εξασφαλίζεται το μεγαλύτερο μέρος της θέρμανσης και των διάφορων οικιακών δραστηριοτήτων (π.χ. μαγείρεμα). Επίσης, παρατηρείται ότι ο οικιακός τομέας τη χώρας, καταναλώνει πέντε (5) φορές περισσότερο από την ενέργεια που καταναλώνει ο τομέας των υπηρεσιών. Για αυτό τον λόγο χρίζεται ζωτικής σημασίας, η εναλλαγή των πηγών καυσίμου από τη παραδοσιακή βιομάζα προς τις σύγχρονες επιλογές καυσίμου, κυρίως για την μείωση της συνολικής χρήσης ενέργειας, καθώς και εκπεμπόμενων ρύπων στο

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

περιβάλλον, που χρησιμοποιείται στις αγροτικές περιοχές της Κίνας. Ωστόσο, παρουσιάζεται ότι ο άνθρακας αντιπροσωπεύει το 14,3%, ποσοστό πολύ υψηλότερο από αυτά που επικρατούν στις περιοχές των Η.Π.Α. και της Ευρώπης. Ενώ, η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στον τομέα του εμπορίου παρουσίασε μια απότομη ανοδική αύξηση την τελευταία δεκαετία, όπου για το 2013 το ποσοστό άγγιξε το 57% της συνολικής ενεργειακής κτιριακής κατανάλωσης στη Κίνα.

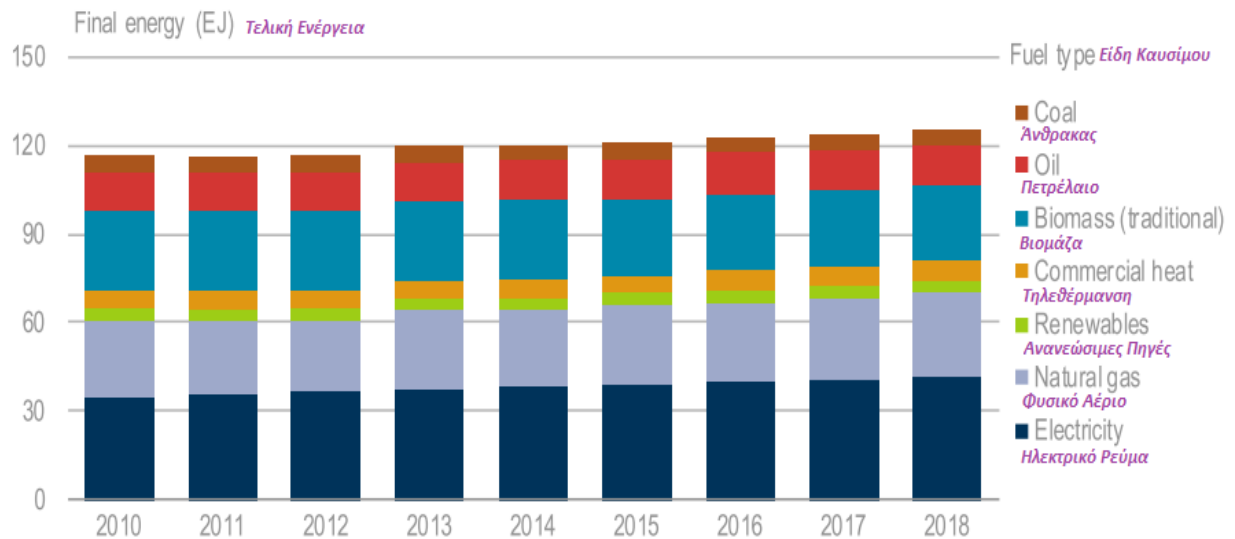
Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η τελική χρήση ενέργειας κυριαρχείται από την ηλεκτρική ενέργεια και το φυσικό αέριο στο μεγαλύτερο μέρος της. Όμως, στην περίπτωση της Ε.Ε. παρουσιάζονται παρόμοια φαινόμενα, όσων αναφορά τις τάσεις της βιομάζας και των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με τις Η.Π.Α., οι οποίες συνυπολογίζονται περίπου στο 9% της συνολικής κτιριακής τελικής ενεργειακής χρήσης και καταναλώνεται κυρίως για να ικανοποιήσει σκοπούς θέρμανσης. Η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (των 28 μελών) το 2017 επεκτάθηκε σε μια σειρά διαφορετικών πηγών ενέργειας, με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να είναι οι πιο σημαντικές, αντιπροσωπεύοντας περισσότερο από το ένα τέταρτο (29,9%) της συνολικής παραγωγής (Εικόνα 4.2.3). Αναλυτικότερα, η πυρηνική ενέργεια έρχεται δεύτερη, αντιπροσωπεύοντας το 27,8% της συνολικής πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας (79% Γαλλία, 62,6% Βέλγιο και Σλοβακία). Παράλληλα, σε 11 άλλα κράτη μέλη το μερίδιο της πυρηνικής ενέργειας στην πρωτογενή παραγωγή ήταν μικρότερο από το μισό του συνόλου, καθώς επίσης, δεν υπήρχε τέτοιου είδους παραγωγή σε 14 κράτη μέλη της Ε.Ε.. Ωστόσο, το μερίδιο των στερεών ορυκτών καυσίμων αντιστοιχούσε στο 16,4% με κυρίαρχο τον άνθρακα (μειωμένο ποσοστό), ενώ το μερίδιο του φυσικού αερίου παρουσιάστηκε ελαφρώς μειωμένο αγγίζοντας το 13,6%, ενώ το αργό πετρέλαιο άγγιξε το 8,8%, αποτελώντας την μόνη άλλη λύση για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Eurostat, 2019).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 4.2.3: Γράφημα Ποσόστωσης Παραγόμενης Πρωτογενούς Ενέργειας στην Ε.Ε. των 27 Κρατών Μελών για το 2017 (Πηγή: Eurostat, 2019).

Κατά την διάρκεια του 2010-18, η ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έγιναν η ταχύτερα αναπτυσσόμενη πηγή ενέργειας για τον τομέα των κτιρίων, με την χρήση τους να αυξάνεται κατά 21% (πάνω του 3% μόνο για το 2017-2018). Η χρήση φυσικού αερίου αυξήθηκε κατά 8% κατά την ίδια περίοδο, ικανοποιώντας ταυτόχρονα την νέα ζήτηση ενέργειας, εκτοπίζοντας την χρήση άνθρακα, η οποία και μειώθηκε κατά σχεδόν 10 ποσοστιαίες μονάδες σε παγκόσμιο επίπεδο (Εικόνα 4.2.4) κατά την περίοδο 2010-2018, δηλαδή -2% μόνο για το 2017-2018.



Εικόνα 4.2.4: Γράφημα Κατανάλωσης Ενέργειας Χρήσης Παγκόσμιου Κτιριακού Τομέα ανά Καύσιμο (Πηγή: Προσαρμοσμένο από IEA, 2020).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό από το παραπάνω γράφημα, η παγκόσμια αναπτυξιακή τάση για τον κτιριακό τομέα ως προς τον τύπου καυσίμου που χρησιμοποιείται, επικεντρώνεται κυρίως στον τομέα του ηλεκτρικού ρεύματος, του φυσικού αερίου και της βιομάζας από το 2010 και μετά. Ωστόσο, η όλο και αυξανόμενη χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος τα τελευταία χρόνια έχει παρουσιάσει εκτενέστερη αύξηση των αέριων ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα CO₂.

5. Κτήρια Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου

Η βιώσιμη και προσιτή παροχή ενέργειας αποτελεί απαραίτητο αγαθό για την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη μιας χώρας. Σε περίπτωση, όμως, σοβαρής έλλειψης της ενέργειας, φαινόμενο που παρουσιάζεται στις μέρες μας σε παγκόσμιο επίπεδο, οδηγεί σε οικονομική αστάθεια των χωρών. Λόγω της συγκεκριμένη κατάστασης η οποία συνεχίζει να επιδεινώνεται σταδιακά, παρουσιάζεται ένα χάσμα μεταξύ της παροχής ενέργειας και της ζήτησης ενέργειας, το οποίο τείνει συνεχόμενα να διευρύνεται.

Η τεράστια αύξηση της παγκόσμια ζήτησης ενέργειας που παρουσιάστηκε τα τελευταία χρόνια, προήλθε σαν αποτέλεσμα της βιομηχανικής ανάπτυξης και της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού. Καθώς η ενεργειακή ζήτηση, παρουσιάζει μια τεράστια αύξηση, αντίθετα, ο τομέας της παραγωγής ενέργειας δεν δύναται να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις. Το φαινόμενο της αυθόρμητα αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζεται λόγω της ραγδαίας αύξησης των πληθυσμών, σε συνάρτηση με την ηλεκτρική ενέργεια η οποία αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση για την βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του εκάστοτε ανθρώπου, της βιομηχανικής ανάπτυξης και της επέκτασης των κτιριακών εγκαταστάσεων.

Η παγκοσμιοποίηση, είχε την δυνατότητα να καταφέρει να προσδώσει, μία βέλτιστη κατάσταση, στον τομέα των συνθηκών διαβίωσης, στις αναδυόμενες περιοχές του πλανήτη όπως επίσης, στην ανάπτυξη των δικτύων τηλεπικοινωνίας των χωρών και την προώθηση του τρόπου ζωής των ανεπτυγμένων χωρών, δεδομένα τα οποία στο σύνολο τους θα οδηγήσουν στην μεγαλύτερη αύξηση των ενεργειακών αναγκών και θα δημιουργήσουν καταναλωτικά πρότυπα προϊόντων, ικανά να προκαλέσουν απολίθωση των ορυκτών καυσίμων, στο περιβάλλον. Όπως έχει ξανά αναφερθεί, η όλο και μεγαλύτερη αυξητική τάση κατανάλωσης ενέργειας σε όλο τον κόσμο, βρίσκεται να συμμετέχει δυνατά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η όλο και μεγαλύτερη αύξηση του πληθυσμού, ταυτόχρονα, με την βελτίωση των κτιριακών παροχών και την αναβάθμιση του επιπέδου τους, σε συνάρτηση με την αύξηση του χρόνου, που αφιερώνει ο άνθρωπος εντός του κτιρίου, έχει σαν συνέπεια, την αυξητική τάση της ενεργειακής ζήτησης στον κτιριακό τομέα (Khaliq & Mansoor, 2015).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Σε μια τέτοια περίπτωση, όπου η κτιριακή ενεργειακή κατανάλωση διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις, υπάρχει η δυνατότητα να επιτευχθούν σημαντικές ενεργειακές εξοικονομήσεις ενέργειας στις κτιριακές υποδομές, αν οι ίδιες μπορούν να διαθέτουν σωστό σχεδιασμό, κατασκευή και λειτουργικότητα. Για αυτό τον λόγο, η ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων μεταφράζεται σήμερα ως η βασικότερη λύση για την αντιμετώπιση των ελλειμάτων ενέργειας που δημιουργούνται, των εκπομπών άνθρακα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και της απειλής τους από το οικιστικό περιβάλλον. Σημαντικές προσπάθειες έχουν πραγματοποιηθεί για την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών εξοικονόμησης της ενέργειας καθώς και του σχηματισμού πολιτικών για τα πράσινα κτίρια.

Πιο συγκεκριμένα, η τρέχουσα έννοια περί πράσινων κτιρίων μεταφράζεται ως κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (Zero-energy Building ή ΚΜΕΙ), η οποία έλαβε αυξημένο ενδιαφέρον κατά την διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Ωστόσο, η πρώτη αναφορά, με την έννοια να βρίσκεται σε ισχύ και να εδραιώνεται, έγινε το 2000 και υλοποιήθηκε σαν ιδέα το 2006. Ωστόσο, δεν έχουν αναπτυχθεί κώδικες ανά έθνος όπως επίσης και διεθνή πρότυπα για τα ΚΜΕΙ (ZEB), ο λόγος γίνεται διότι έχουν προταθεί πολλές προσεγγίσεις οι οποίες επισημαίνουν διαφορετικές πτυχές του ΚΜΕΙ. Η μέτρηση που εφαρμόζεται για να επέλθει η "μηδενική" ισορροπία στις κτιριακές εγκαταστάσεις αποτελεί ένα δεδομένο ζήτημα ζωτικής σημασίας, καθώς είναι δυνατό να επηρεαστεί σε σημαντικό βαθμό το αποτέλεσμα βάση του οποίου θα γίνει η επιλογή του συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου. Ο Torcellini et al. εισήγαγε τέσσερις διαφορετικούς ορισμούς για τα ΚΜΕΙ, συμπεριλαμβανομένου των αυτόνομων ΚΜΕΙ, τη πηγές ενέργειας διαθέτουν, τη εκπομπές αερίων αποδεσμεύουν και το κόστους τους, όπως ορίζονται παρακάτω:

- Εγκατάσταση ΚΜΕΙ: μια εγκατάσταση ΚΜΕΙ οφείλει τουλάχιστον να παράγει όσο περισσότερη ενέργεια από την οποία μπορεί να χρησιμοποιεί ολόκληρο το χρόνο, ανάλογα την εγκατάσταση.
- Πηγή ενός ΚΜΕΙ: μια πηγή ΚΜΕΙ παράγει τουλάχιστον τόση ενέργεια όσο καταναλώνει σε ένα χρόνο αναλόγως το είδος της πηγής. Η πηγή ενέργειας, υπάγεται στην πρωτογενή ενέργεια αναλόγως το είδος της παραγωγής και της διανομής της ενέργειας όπως ορίζεται από την εγκατάσταση.
- Εκπομπές αερίων ρύπων ΚΜΕΙ: ένα κτίριο εκπομπών καθαρών μηδενικών ρύπων οφείλει να παράγει τουλάχιστον τόση ανανεώσιμη ενέργεια όση χρειάζεται για να χρησιμοποιεί το ίδιο κτίριο από άλλες πηγές ενέργειας οι οποίες απελευθερώνουν αέριους ρύπους στο περιβάλλον.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

- **Κόστος ΚΜΕΙ:** Στο συνολικό κόστος ενός ΚΜΕΙ, το χρηματικό ποσό που χρειάζεται να πληρώνει ο ιδιοκτήτης του κτιρίου σε λογαριασμούς κοινής ωφέλειας για την παραγόμενη ενέργεια που εξάγει το κτίριο στο δίκτυο, οφείλει να είναι τουλάχιστον ίσο με το ποσό που πληρώνει ο ιδιοκτήτης για την χρήση των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας στις υπηρεσίες ενέργειας για την ενέργεια την οποία χρησιμοποιεί το κτίριο κατά την διάρκεια όλου του χρόνου.

Ευρωπαϊκή Ένωση

Τα κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (ΚΜΕΙ) θεωρείται ότι θα πρέπει να αποτελέσουν την λύση για την μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της μελλοντικής κτιριακή ενεργειακής κατανάλωσης ενέργειας. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η αναδιατυπωμένη Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (ΟΕΑΚ), ήταν η αφορμή για να θέσει τα ΚΜΕΙ ως βασικό στόχο για όλα τα νέα κτίρια έως το 2020 και προσπάθεια αναβάθμισης των παλαιότερων κοντά στις απαιτήσεις της οδηγίας, καθώς, ο κτιριακός κατασκευαστικό τομέας είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη των ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων της Ε.Ε.. Ταυτόχρονα, τα καλύτερα και τα πιο ενεργειακά αποδοτικά κτίρια έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν βελτίωση στην ποιότητα ζωής των πολιτών προσφέροντας επιπλέον οφέλη στην οικονομία και την κοινωνία ευρύτερα.

Έτσι, για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, η Ε.Ε. έχει θεσπίσει, για όλα τα κράτη μέλη της, ένα νομοθετικό πλαίσιο που περιλαμβάνει την οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων 2010/31/ΕΕ (ΟΕΑΚ), όπως επίσης και τη οδηγία για την ενεργειακή απόδοση 2012/27/ΕΕ. Η θέσπιση αυτών των δυο οδηγιών είχε σαν αποτέλεσμα, την προώθηση πολιτικών, που για την επόμενη μέρα, των κτιριακών εγκαταστάσεων θα βοηθούσε:

- ✓ Να επιτευχθεί ένα πιο ενεργειακά αποδοτικότερο και χωρίς, ή με πολύ μειωμένες, εκπομπές του άνθρακα, απόθεμα κτιρίων έως το 2050.
- ✓ Να δημιουργηθούν οι κατάλληλες προϋποθέσεις ενός σταθερού περιβάλλοντος ικανό να απορροφήσει επενδυτικές αποφάσεις.
- ✓ Να μπορεί να επιτρέπεις στους καταναλωτές και τις επιχειρήσεις, να μπορούν να έχουν την πληροφόρηση και ενημέρωση και κατ' επιλογή να στοχεύουν στην εξοικονόμηση είτε της ενέργειας, είτε των χρημάτων, ή και των δυο.

Κατά την εφαρμογή και εισαγωγή των κανόνων ενεργειακής απόδοσης στους κτιριακούς κώδικες κάθε χώρας, στις μέρες μας οι κτιριακές εγκαταστάσεις έχουν φτάσει να καταναλώνουν μόνο τα μισά από τα τυπικά κτίρια που κατασκευάστηκαν κατά την περίοδο της δεκαετίας του 1980.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Ωστόσο, υπήρξε τροποποίηση και στις δυο οδηγίες, ως μέρος της δέσμευσης μέτρων για το πρόγραμμα «Καθαρή Ενέργεια» για όλους του Ευρωπαίους για το έτος 2018 και 2019. Πιο συγκεκριμένα, η νέα τροποποίηση της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (2018/844/EE) εισήγαγε νέα στοιχεία, στέλλοντας ένα ισχυρό πολιτικό μήνυμα της δέσμευσης της Ε.Ε. να εκσυγχρονίσει τον κτιριακό τομέα υπό το φως των τεχνολογικών βελτιώσεων και να αυξήσει τις ανακαινίσεις των κτιρίων. Τον Οκτώβρη του 2020, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε την στρατηγική της για την ανακαίνιση, ως μέρος της «Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας». Η συγκεκριμένη στρατηγική περιλάμβανε, ένα σχέδιο δράσης με συγκεκριμένες κανονιστικές ρυθμίσεις, οι οποίες αφορούσαν την χρηματοδότηση και μέτρα τα οποία θα επέτρεπαν την ενίσχυση της ανακαίνισης των κτιρίων. Απώτερος στόχος, να υπάρξει διπλασιασμός στον ετήσιο ρυθμό ενεργειακής ανακαίνισης των κτηρίων έως το 2030.

Επομένως, η αναθεώρηση της ΟΕΑΚ αποτελεί ουσιώδες μέρος της στρατηγικής για τα κύματα ανακαίνισης, καθώς απώτερος σκοπός και κεντρικό στόχος της συγκεκριμένης οδηγίας είναι να δημιουργήσει ιδανικές συνθήκες συμβάλλοντας έτσι στην προσπάθεια μείωσης ή εξάλειψης των εκπεμπόμενων ρύπων του άνθρακα από τις κτιριακές εγκαταστάσεις. Οι κτιριακές εγκαταστάσεις βρίσκεται να είναι υπεύθυνες για περίπου το 40% της κατανάλωσης ενέργειας της Ε.Ε. και για το 36% των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου. Συνεπώς, ο κτιριακός τομέας μοιάζει να είναι ο μοναδικός και μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας στην Κοινότητα. Επί του παρόντος, περίπου το 35% των κτιρίων της Ευρώπης, βρίσκεται να είναι πάνω από 50 ετών και σχεδόν το 75% αυτών βρίσκονται ενεργειακά αναποτελεσματικά. Ωστόσο, μόνο το 1% των κτιρίων στην Ε.Ε. ανακαινίζεται κάθε χρόνο.

Οφείλεται να αναφερθεί, ότι λόγω των υφιστάμενων ανακαινίσεων των εν λόγω κτιρίων, προσφέρεται η δυνατότητα να εξοικονομηθούν σημαντικά ποσοστά ενέργειας, ενώ παράλληλα θα υπήρχε περίπτωση να υπάρξει μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της Ε.Ε., κατά 5% έως 6% και ταυτόχρονα προσφέροντας χαμηλότερες εκπομπές CO₂ περίπου στο 5%. Ένα επιπλέον θετικό αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει και διαθέτει την ικανότητα να προσδώσει η ΟΕΑΚ θετικά πρόσημα στην εφαρμογή της, είναι ότι οι επενδύσεις στην ενεργειακή απόδοση προσφέρει οικονομική διέγερση, ιδίως στον τομέα των κατασκευών βιομηχανίας, βάσει της οποίας αναπαράγεται περίπου το 9% του Ευρωπαϊκού ΑΕΠ, αντιπροσωπεύοντας άμεσα περίπου 18 εκατομμύρια θέσεις εργασίας. Ειδικότερα, λόγω της ενίσχυσης της αγοράς ανακαινίσεις, αυτές που επωφελούνται κατά κύριο λόγο, είναι οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις, οι οποίες είναι και άμεσα εμπλεκόμενες (Energy performance of buildings directive, E.U.).

Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, ο Νόμος περί Ενεργειακής Ανεξαρτησίας και Ασφάλειας που θεσπίστηκε το 2007, έθεσε σαν στόχο καθαρής μηδενικής ενέργειας για όλα τα νεόδμητα εμπορικά κτίρια έως το 2030, ενώ καθορίζει ένα στόχο μηδενικής ενέργειας για το 50% των εμπορικών κτιρίων έως το 2040 και καθαρό μηδενικό ισοζύγιο ενέργειας για όλα τα εμπορικά κτίρια των Η.Π.Α. έως το 2050.

Το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α., υπό την αιγίδα της βιομηχανικής προοπτικής, δημιούργησε εμπορικές ενεργειακές συμμαχίες οι οποίες, επικεντρώνονται σε συγκεκριμένα ενδιαφέροντα βασικών τομέων όπως:

- I. Συνάντηση Κορυφής Προμηθευτών: Τα μέλη της συμμαχίας σε συνδυασμό με το Υπουργείο Ενέργειας, έχουν την δυνατότητα να φιλοξενούν συνόδους κορυφής προμηθευτών, όπου ιδιοκτήτες και διαχειριστές τόσο των νέων όσο και των υπαρχόντων κτιρίων θα έχουν την δυνατότητα να συμβουλευονται με προμηθευτές, σχετικά για τις πιο πειστικές ανάγκες στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης.
- II. Τεχνολογική Πιστοποίηση και Παρακολούθηση: Το Υπουργείο Ενέργειας, καθώς και τα εθνικά εργαστήρια θα έχουν την δυνατότητα να αξιολογούν υποσχόμενες ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες όπου συχνά τίθενται από τα μέλη της εν λόγω συμμαχίας. Μέσω αυτής της διαδικασίας επιταχύνεται, η εφαρμογή πιστοποιημένων τεχνολογιών στα εμπορικά κτίρια, ενώ υποστηρίζει την πιστοποίηση κατάλληλων τεχνολογιών για πιθανές τεχνολογικές προδιαγραφές του τομέα.
- III. Τεχνολογικές Προδιαγραφές: Στο πλαίσιο αυτής της διαδικασίας, τα μέλη της συμμαχίας κοινοποιούν τις προσδοκίες απόδοσης στου προμηθευτές, με αποτέλεσμα να έχουν την δυνατότητα αγοράς εξοπλισμού που θα μπορεί να είναι σύγχρονος και ενεργειακά αποτελεσματικός, και θα ταιριάζει κατάλληλα στις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις των κτιρίων τους, εκτός από τις παραδοσιακές τεχνολογίες.

Θεσμικά, το Υπουργείο Ενέργειας έχει πραγματοποιήσει τρεις συμμαχίες οι οποίες με την σειρά τους αντιπροσωπεύουν σημαντική ποσοστιαία αναλογία, εκάστη στο τομέα της. Οι συμμαχίες αποτελούνται από α) Ενεργειακή Συμμαχία Λιανεμπορίου με ποσοστό 17%, β) Ενεργειακή Συμμαχία Εμπορικών Κτιρίων με ποσοστό 21% και γ) Ενεργειακή Συμμαχία Νοσοκομειακού τομέα με ποσοστό 17%. Η θέσπιση των παραπάνω μέτρων κρίθηκαν απαραίτητα, διότι, όπως έχει αναφερθεί οι κτιριακές υποδομές σε όλο τους το μήκος (οικιστικές, εμπορικές, βιομηχανικές)

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

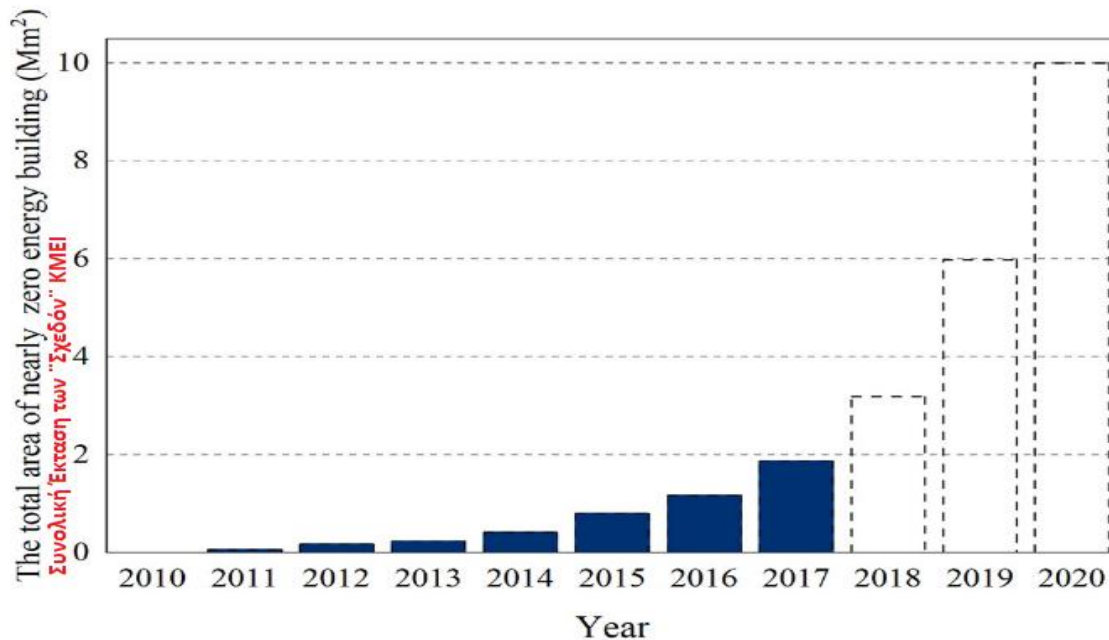
δημιουργούν ένα σημαντικό αντίκτυπο τόσο στην ενέργεια όσο και στο περιβάλλον. Οι κατοικίες και οι εμπορικές κτιριακές υποδομές ποσοστιαία χρησιμοποιούν το 40% της πρωτογενούς ενέργειας και κατά προσέγγιση το 70% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις ΗΠΑ. Καθώς, η ενέργεια χρήσης του κτιριακού τομέα έχει μία σταθερή πορεία κατά κύριο λόγο επειδή οι κτιριακές υποδομές συνεχόμενα αυξάνονται και κατασκευάζονται νέες, ενώ οι παλιότερες κατά πλειοψηφία εγκαταλείπονται, με τελικό αποτέλεσμα η ενεργειακή κατανάλωση διπλασιάστηκε μεταξύ της εικοσαετίας (1980-2000) και έρευνες δείχνουν πως για το 2025 θα έχουν αυξηθεί επιπλέον 50%.

Κίνα

Στην περίπτωση της Κίνας, η ανάπτυξη των κτιρίων μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, παρουσιάζεται σχετικά βραδυπορών, όπως, επίσης μπορεί να χαρακτηριστεί και σχετικά ανοργάνωτο. Ωστόσο, η Κίνα παρουσιάζει εξίσου σπουδαίες δυνατότητες, καθώς διαθέτει πόρους για να μπορέσει να κατέστη δυνατή η εφαρμογή και η ανάπτυξη σχεδίων ΚΜΕΙ, μεγάλης κλίμακας.

Πιο συγκεκριμένα, για το 2010 δόθηκε το κίνητρο των πρωτοποριακών κτιρίων μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (ΚΜΕΙ), αποτελεσματικές προσπάθειες εξοικονόμησης ενέργειας και μειώσεις των εκπεμπόμενων ρύπων όπου τα ΚΜΕΙ σχεδόν αποτέλεσαν ενδιαφέρουσα προσέγγιση, με προοπτική να κατέστη δυνατή η κτιριακή μείωση της ενέργειας χρήσης στην Κίνα. Με καθοδήγηση από τις εθνικές πολιτικές ανάπτυξης που αποκλειστικά παρουσιάστηκαν από την κεντρική κυβέρνηση καθώς υπήρξε και μια υποσχόμενη επίδειξη αποτελεσματικών δεδομένων απευθείας σε πιλοτικά έργα. Επίσης, οι τοπικές διοικητικές κυβερνήσεις εισήγαγαν στις τοπικές κοινωνίες μια σειρά από σχεδιαστικά πρότυπα ΚΜΕΙ ή τεχνικών οδηγιών, όπως επίσης μια σειρά κινήτρων, για την ανάπτυξη του σχεδίου. Στο παρόν, η Κίνα φαίνεται να αντιμετωπίζει δυσκολίες μετακίνησης του κτιριακού της τομέα, απευθείας από τον τρέχοντα κώδικα δόμησης, προς την κατεύθυνση των ΚΜΕΙ. Η ανάπτυξη των «σχεδόν» ΚΜΕΙ παρουσιάζεται ως μία λύση η οποία μπορεί να παρουσιαστεί ως ο πιο συνειδητοποιημένος τρόπος για την αντιμετώπιση των επίκαιρων ενεργειακών και περιβαλλοντικών ζητημάτων. Από την στιγμή που η Κίνα αδυνατεί να ακολουθήσει λόγω του εσωτερικού της κώδικα δόμησης το "πραγματικό" σχεδιασμό των ΚΜΕΙ, επιλέγει να κινηθεί προς το "σχεδόν" σχεδιασμό των ΚΜΕΙ, κίνηση η οποία πρόκειται να είναι η επόμενη ενεργειακά αποδοτικότερη κατεύθυνση στην αγορά ακινήτων της χώρας, μία αγορά η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί, προς το παρόν, σχετικά μικρή, αλλά καταγράφει μια σαφή εκτοξευτική πορεία στον τεχνολογικό χάρτη της χώρας. Ο λόγος, διότι, η Κίνα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια τεράστια αγορά για εξερεύνηση.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 5.1: Διάγραμμα Συνολικής Έκτασης "Σχεδόν" ΚΜΕΙ Πιλοτικού Προγράμματος της Κίνας (Πηγή: Προσαρμοσμένο από Xu & Zhang, 2018).

Στην παραπάνω Εικόνα 5.1, χαρακτηριστικά, μέσω του διαγράμματος, παρουσιάζεται η ραγδαία εξέλιξη της Κίνας στον τομέα των "σχεδόν" ΚΜΕΙ, των 3 τελευταίων ετών, όπου για το έτος 2017 αγγίζαν σε αντιστοιχία τετραγωνικών μέτρων (m²) τα 2 εκατομμύρια. Ενώ εκτιμώταν ότι μέχρι, το 2020 θα κατασκευάζονταν τουλάχιστον 5.000 ακόμη τέτοιου τύπου κτίρια. Η οριζόντια δόμηση για αυτού του τύπου κτίρια αυξήθηκε μέσα στο 2015 κατά 95% συγκριτικά με το 2014, εν συνεχεία η αύξηση συνεχίστηκε αγγίζοντας ένα ποσοστό της τάξεως του 50% για το 2016 σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Αυτή η λίγο μικρότερη αύξηση σε σχέση με το προηγούμενο έτος οφείλεται στο υψηλό κόστος των έργων ανάδειξης και την ασάφεια των εθνικών πολιτικών το 2016. Ωστόσο, με την διευθέτηση των προβλημάτων, για το 2017 η χώρα ξανά μπήκε δυναμικά σε αναπτυξιακή πορεία, επιτυγχάνοντας αύξηση της τάξεως του 60% σε σχέση με το 2016, αφού η κυβέρνηση είχε παράσχει σαφώς οικονομικές επιδοτήσεις. Παρά το γεγονός ότι η Κίνα βρίσκεται σε σταθερή αυξητική πορεία των έργων, "Σχεδόν" ΚΜΕΙ, ανά έτος, το ποσοστό και πάλι δεν βρίσκεται ικανοποιητικό (πολύ χαμηλότερο) από το συνολικό ποσό που αντιστοιχεί στις ευρωπαϊκές χώρες. Ο λόγος αυτού του χαμηλού ποσοστού, οφείλεται, στο ότι η Κίνα άργησε να εισέλθει σε αυτό τον τομέα, αντίθετα, όμως οφείλεται να τονιστεί πως η Κίνα θα εμείνει σε αυτό τον στόχο, να προχωρήσει στην εποχή της εξαιρετικά χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας στον κατασκευαστικό τομέα για το προσεχές μέλλον, διατηρώντας ένα υψηλό βαθμό ανάπτυξης για τα επόμενα χρόνια (Liu et al., 2019).

5.1 Τι Αντιπροσωπεύουν τα Κτίρια Μηδενικού ενεργειακού Ισοζυγίου

Τα αποκαλούμενα κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (Zero Energy Buildings) διασφαλίζουν την ικανότητα να μπορούν να έχουν επάρκεια ενέργειας που χρειάζονται για να καταναλώσουν κατά την διάρκεια ενός ολόκληρου έτους, μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα εν λόγω κτίρια, είναι εφοδιασμένα στις περισσότερες των περιπτώσεων με αποδοτικές κτηριακές τεχνολογίες και συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα, τα κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (ΚΜΕΙ) αποτελούν ένα καινούριο ή καλύτερα, μία ιδέα της επόμενης γενιάς σχεδιασμού κτιρίων που έχουν την δυνατότητα να συνδυάζουν τις ιδέες, του παραδοσιακού πράσινου κτιρίου και ταυτόχρονα να αποτελούν παραγωγικές μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Φυσικά, υπάρχει διευρυμένο εύρος ορισμών και μεθοδολογιών υπολογισμού για τα ΚΜΕΙ, τα οποία λαμβάνουν υπόψη διαφορετικές πτυχές, όπως μετρήσεις ισοζυγίου, περιόδους εξισορρόπησης, τον τύπο της ισορροπίας, επιλογές παροχής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και σύνδεσης τους με ενεργειακές υποδομές.

Οι μετρήσεις ισοζυγίου περιλαμβάνουν την παραδοθείσα ενέργεια από το σύστημα, την πρωτογενή ενέργεια, εκπομπές άνθρακα και το ενεργειακό κόστος. Στην πραγματικότητα, ένα ΚΜΕΙ διαφορετικά μπορεί να ερμηνευθεί ως ένα κτίριο το οποίο παράγει μηδενικές εκπομπές άνθρακα, όταν αυτές οι εκπομπές κατά κανόνα παράγονται λόγω της χρήσης ενέργειας προερχόμενης, αντί στερεών καυσίμων (γαιάνθρακες κτλ.), είτε καύσιμα (βιοκαύσιμα) τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, εξισορροπούνται από τις παραγωγικές διαδικασίες των κτιρίων μέσω ΑΠΕ. Επίσης, οι εκπομπές άνθρακα, στο άθροισμα τους, μπορεί να περιλαμβάνουν εκπομπές οι οποίες παράγονται από την κατασκευή του κτιρίου, την ενσωματωμένη ενέργεια της κατασκευής, κατά την λειτουργική διαδικασία των εγκαταστάσεων όπως και την κατεδάφιση τους, πάντα εξαρτώμενο, από τα καθορισμένα όρια.

Οι περίοδοι εξισορρόπησης μπορεί να είναι ένας μήνας, ένα έτος ή ακόμη και ένας ολόκληρος κύκλος ζωής της υποδομής, όπου η περίπτωση του ετήσιου κύκλου εξισορρόπησης, αποτελεί την πλέον πιο κατάλληλη περίοδο. Υπάρχουν βασικοί τύποι ισορροπίας:

1. Ενεργειακή ζήτηση έναντι παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες μορφές (φάση σχεδιασμού) και
2. Εισαγόμενη ενέργεια έναντι ενεργειακής τροφοδοσίας στο δίκτυο (φάση παρακολούθησης κατά τη λειτουργία).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Ο πρώτος τύπος ισορροπίας βρίσκεται να είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος για εφαρμογή στη φάση του σχεδιασμού, καθώς επίσης σε περίπτωση που το ΚΜΕΙ δεν συνδέεται με το δίκτυο μεταφοράς ενέργειας έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει μόνο την πρώτη περίπτωση ισορροπίας. Παράλληλα, οι επιλογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υπάρχει η δυνατότητα να είναι, είτε αυτόνομο (επιτόπια παραγωγή ηλιακή, αιολική), είτε μη αυτό-παραγωγικό σύστημα (συνδεδεμένο με το δίκτυο). Επιπλέον, η επένδυση σε τεχνολογίες εκτός του φάσματος των ΚΜΕΙ ή η απευθείας αγορά πράσινης ενέργειας ή πίστωση CO₂, έχει την ικανότητα να αντισταθμίσει την ενέργεια χρήσης κατά μία ευρύτερη άποψη.

Παράλληλα, σε κάθε περιοχή (Ε.Ε, Η.Π.Α., Κίνα) έχουν θεσπιστεί πολλά πολιτικά κίνητρα, όπως, επενδυτικές επιχορηγήσεις, ειδικά τιμολόγια τροφοδοσίας, συστήματα τηλεμετρίας (net-metering) κ.α., τα οποία έχουν εφαρμοστεί ώστε να μπορεί να γίνεται η καλύτερη προώθηση των εφαρμογών των ΑΠΕ, ανοίγοντας με αυτό τον τρόπο το δρόμο για την επίτευξη του μελλοντικού μηδενισμού των κτιρίων από εκπεμπόμενους ρύπους. Η κεντρική ιδέα των κτιρίων μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, προωθείται κυρίως, για την αυτονόμηση των κτιριακών εγκαταστάσεων, στοχεύοντας στην λειτουργικότητα τους, εκτός δικτύου, υποβοηθούμενα από εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών στοιχείων ή/και ανεμογεννητριών για την επίτευξη της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται ένα κτίριο το οποίο είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό να καταφέρει να προσφέρει την επιθυμητή εξισορρόπηση ρεύματος κατά την εναλλαγή αυτή.

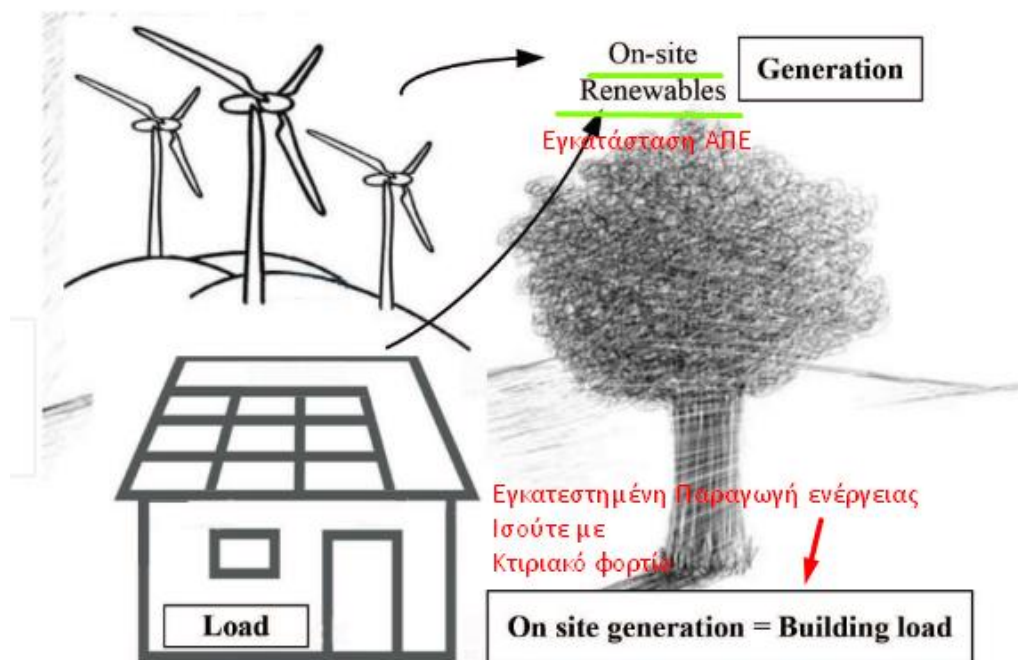
Η έννοια της ισορροπίας (balance) μπορεί να οριστεί στις ακόλουθες μαθηματικές εξισώσεις, στην ισορροπία μεταξύ της εισαγόμενης ενέργειας και της εξερχόμενης ενέργειας από το κτίριο αντίστοιχα (Εξίσωση 1) ή στην ισορροπία μεταξύ του φορτίου και της παραγωγής (Εξίσωση 2). Η ισορροπία μεταξύ φορτίου και παραγόμενης ενέργειας χρησιμοποιείται γενικά ως βασική απαίτηση κατά τη φάση σχεδιασμού του ΚΜΕΙ. Αντιθέτως, η ισορροπία μεταξύ της εξαγωγίμης και εισερχόμενης ενέργειας βρίσκεται να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την αξιολόγηση της αντιστοιχίας μεταξύ φορτίου και παραγωγής και της αλληλεπίδρασης μεταξύ του κτιρίου και του δικτύου. Στις περισσότερες μελέτες το "καθαρό" (net), ορίζεται ως η κατανάλωση ενέργειας κτιρίου και παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ ως ίσες:

$$[1] \text{Net energy} = / \text{Export} / - / \text{Import} / \geq 0$$

$$[2] \text{Net energy} = / \text{Generation} / - / \text{Load} / \geq 0$$

Εκτός Δικτύου ΚΜΕΙ

Τα εκτός δικτύου ΚΜΕΙ, επίσης αποκαλούνται αυτόνομα κτίρια (autonomous) ή μη συνδεδεμένα στο δίκτυο κτίρια (stand-alone) όπως απεικονίζεται στην εικόνα 5.1.1. Ορίζονται ως, «κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου εκτός δικτύου, τα οποία δεν είναι απαραίτητο να είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο διανομής και εάν υφίσταται θα είναι μόνο σε περίπτωση εφεδρείας. Τα μη διασυνδεδεμένα κτίρια έχουν την δυνατότητα αυτονομίας ενέργειας καθώς θα έχουν την δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας για τις νυχτερινές ώρες της ημέρας και κατά την διάρκεια του χειμώνα (Jens LAUsTsen, 2008).



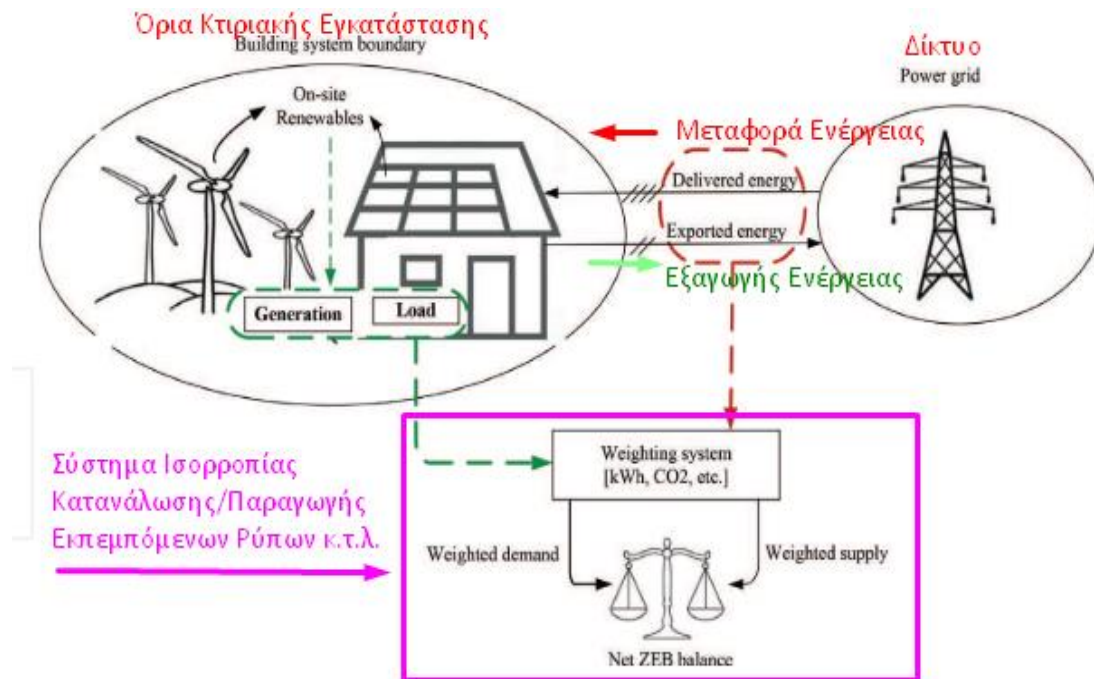
Εικόνα 5.1.1: Αυτόνομα ΚΜΕΙ (Πηγή προσαρμοσμένο από: Rodríguez et al., 1989).

Συνδεδεμένα στο Δίκτυο ΚΜΕΙ

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο ΚΜΕΙ, αποκαλούνται "διασυνδεδεμένα" ή "ενσωματωμένα" στο δίκτυο μεταφοράς ενέργειας και συνδεδεμένα σε μία ή και περισσότερες υποδομές όπως χαρακτηριστικά απεικονίζεται στην εικόνα 5.1.2. Ορίζονται ως, "κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου τα οποία για πάνω από ένα χρόνο μπορούν να είναι ουδέτερα από θέμα καταναλώσεων, δηλαδή, ότι έχουν την δυνατότητα να μπορούν να αποδίδουν τόση ενέργεια στα δίκτυα τροφοδοσίας αντίστοιχη από αυτή που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν. Βάση αυτού του ορισμού γίνεται αντιληπτό ότι αυτού του είδους τα κτίρια δεν χρειάζονται ορυκτά καύσιμα για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό ή άλλες ενεργειακές χρήσεις παρά το

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

γεγονός ότι μερικές φορές κρίνεται απαραίτητη η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο” (Jens LAUsTsen, 2008).



Εικόνα 5.1.2: Διασυνδεδεμένο ή ενσωματωμένο κτίριο στο δίκτυο (Πηγή προσαρμοσμένο από: Rodríguez et al., 1989).

5.2 Υπερσύγχρονες Τεχνολογίες για τα Κτίρια Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου (ΚΜΕΙ)

5.2.1 Παθητικές Στρατηγικές Κτιρίων

Ο επαναπροσδιορισμός της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, δηλώνει ότι ένα κτίριο πολύ υψηλής ενεργειακής απόδοσης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα “σχεδόν” κτίριο μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, εάν πληροί τις ακόλουθες δυο προϋποθέσεις. Απαιτείται, πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας και πρέπει το κτίριο να είναι ικανό να καλύψει ένα πολύ σημαντικό ποσό ενεργειακών αναγκών από ΑΠΕ, η οποία θα είναι ικανή να παραχθεί είτε επί τόπου (κτιριακή εγκατάσταση) ή μερικός απομακρυσμένα από το κυρίως κτίριο, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια.

Τα κτίρια πολύ χαμηλής ενέργειας μπορούν να υλοποιηθούν μέσω ορθών σχεδιαστικών πρακτικών και μέσω της επιλογής τεχνολογιών οικοδόμησης για μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Δηλαδή, μέσω της χρήσης HVAC υψηλής απόδοσης, καθώς και του φωτισμού, εξοπλισμού, συσκευών και κατάλληλων συστημάτων ελέγχου, βρίσκεται να είναι από πλευράς τεχνολογίας οι

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

αποτελεσματικότεροι τρόποι μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, κατασκευαστικά θα υπήρχε μία ακόμη πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας, μέσω μιας βελτιστοποιημένης διαδικασίας σχεδιασμού του κτιρίου (κέλυφος κτιρίου), ελαχιστοποιώντας τα εξωγενή φορτία θέρμανσης και ψύξης, με αποτέλεσμα να βρίσκεται ως βέλτιστο έναντι των τεχνολογικά καινοτόμων λύσεων.

Το βελτιστοποιημένο κτίριο χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, ξεκινάει με το να καθοριστεί το είδος της χρήσης του κτιρίου, τις εσωτερικές ανάγκες άνεσης, καθώς και την μελέτη των φυσικών και περιβαλλοντικών πόρων που διατίθενται στο εργοτάξιο. Εν συνεχεία, οφείλεται να καθιερωθούν οι παθητικές στρατηγικές για την άνεση του χώρου, μέσω της εκμετάλλευσης των διαθέσιμων φυσικών πόρων.

5.2.2 Παθητικά Ενεργειακά Κτίρια με Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας

Η εφαρμογή παθητικών τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας αποτελεί ένα θεμελιώδη τρόπο για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Ο βελτιστοποιημένος σχεδιασμός κτιρίων κατανάλωσης χαμηλής ενέργειας ξεκινά αρχικά, με την κατανόηση της χρήσης του κτιρίου, τη χρήση προηγμένου κελύφους του κτιρίου (υλικά δόμησης), των αναγκών εσωτερικής άνεσης (θέρμανση-ψύξη), όπως επίσης και την μελέτη των φυσικών και περιβαλλοντικών πόρων που διατίθενται στον περιβάλλοντα χώρο όπου θα κατασκευαστεί το κτίριο. Στη συνέχεια, πρέπει να καθιερωθούν παθητικές στρατηγικές για την άνεση, εκμεταλλεζόμενοι του διαθέσιμους φυσικούς πόρους.

Ο παθητικός σχεδιασμός ενός κτιρίου, περιλαμβάνει στρατηγικές για την υγροθερμική άνεση, δηλαδή, κατά πόσο το κτίριο θα μπορέσει να διατηρήσει συνθήκες άνεσης με τη πρόσδοση ή αφαίρεση υγρασίας στο χώρο ανάλογα την εποχή (χειμώνα-καλοκαίρι), φωτισμό ημέρας και συνθήκες ποιότητας αέρα. Όσον αφορά την υγροθερμική άνεση, οι στρατηγικές της περιόδου θέρμανσης επιδιώκουν να βελτιστοποιήσουν τα άμεσα και έμμεσα ηλιακά κέρδη, την αποθήκευση θερμικής ενέργειας και τη μείωση των απωλειών θερμότητας. Από την άλλη πλευρά, οι στρατηγικές κατά την περίοδο ψύξης περιλαμβάνουν, την διατήρηση της θερμότητας από το να ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια, αφαιρώντας την εγκατεστημένη θέρμανση του κτιρίου και ταυτόχρονα τη μείωση λειτουργίας των μέσων παραγωγής θέρμανσης στο χώρο (Rodriguez-Ubinas et al., 2014).

Ο Sadineni et al., μέσα από την έρευνα τους, συνοψίζοντας, αναφέρουν πως οι ενεργειακά προηγμένες στρατηγικές απόδοσης των κτιρίων που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούνταν από διαφορετικά δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους, συμπεριλαμβανομένων τη σύσταση των τοίχων, του επιχρίσματος καθώς

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

και τον αριθμό των ορόφων που αποτελείται ένα κτίριο. Συνεχίζοντας, αναφέρεται ότι το κτιριακό κέλυφος είναι ζωτικής σημασίας για τα εκάστοτε επίπεδα θερμικής άνεσης και ταυτόχρονα της εξοικονόμησης ενέργειας λόγω της ιδιότητας τους να διαχωρίζουν εσωτερικά και εξωτερικά περιβάλλοντα. Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις τους επί της έρευνας τους, τονίζουν πως η βελτίωση των κτιριακών κελυφών αποτελείται βασιζόμενη σε δύο κύριες εκδοχές, α) τη μείωση των θερμικών μεταδόσεων, τις λεγόμενες τιμές θερμικής απόδοσης (U), οι οποίες β) συνδυάζονται με παθητικές μεθόδους θέρμανσης και ψύξης.

Οι τιμές θερμικής απόδοσης (U), ενός κτιριακού κελύφους βρίσκεται να είναι οι κύριες αιτίες όπου επηρεάζουν σημαντικά τα επίπεδα ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου μειώνοντας το κέρδος ή την απώλεια της θερμότητας της εγκατάστασης αντίστοιχα, με αυτό το φαινόμενο να εμφανίζεται ιδιαίτερα, όπου επικρατούν σκληρές κλιματολογικές συνθήκες. Η θερμομόνωση αποτελεί μία απλή και ταυτόχρονα, αποτελεσματική προσέγγιση για την επίτευξη της μείωσης των τιμών U τόσο των τοίχων, όσο και των ορόφων μεταξύ τους, με τελικό αποτέλεσμα να εξοικονομείται ενέργεια κατά την διαδικασία της θέρμανσης ή τη ψύξης του κτιρίου. Ωστόσο, τίθεται μια αναφορά, ότι είναι πολύ πιθανό τα υψηλά ποσοστά μόνωσης έχουν την δυνατότητα να οδηγήσουν σε αυξημένα φορτία καταναλώσεων κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Ένα φαινόμενο, το οποίο μπορεί να ισχύει μόνο εάν η μέση εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την εσωτερική θερμοκρασία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, γεγονός, το οποίο χαρακτηρίζεται ως ασυνήθιστο ακόμη και για τα θερμότερα κλίματα των χωρών της νότιας Ευρώπης (Rodriguez-Ubinas et al., 2014).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, όταν υπάρχει καθορισμός της χρήσης του κτιρίου, σε εκείνο το σημείο, διάφορα μέρη όπως οι τοίχοι, τα επιχρίσματα, η στέγη, τα θεμέλια, η θερμομόνωση, η θερμοπερατότητα, εξωτερικές συσκευές σκίασης κ.λπ. καλούνται να αποτελέσουν το σημαντικότερο μέρος ενός κτιρίου. Ερευνητικές ομάδες σε όλο τον κόσμο πραγματοποίησαν μελέτες σχετικά με την βελτίωση του κελύφους των κτιρίων και τι αντίκτυπο προκαλεί στη χρήση ενέργειας των κτιρίων. Για παράδειγμα, θα αναφερθούμε στις εφαρμογές παθητικών ενεργειακών αποδοτικών στρατηγικών σε πολυώροφα διαμερίσματα, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην περιοχή του Χονγκ Κονγκ, όπου το κλίμα παρουσιάζει αυξημένη ζέστη και υγρασία. Η επιτυχία των παθητικών εφαρμογών, όπως οι τιμές καταγράφηκαν, άγγιξε ως προς την εξοικονόμηση ενέργειας το 31,4%, όπως επίσης παρουσιάστηκε εξοικονόμηση φορτίου αιχμής με ένα ποσοστό της τάξεως του 36,8%. Οι στρατηγικές περιλάμβαναν την προσθήκη θερμομόνωσης εξωθημένης πολυστερίνης (ESP: extrude polystyrene) σε τοίχους, λευκό χρώμα στην όψη των εξωτερικών τοίχων, υαλοπίνακες παραθύρων με ανακλαστική μεμβράνη και

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

επικλινή πτερύγια 1,5 μέτρου. Στην Ελλάδα, κατά τους Balaras et al., με την μέθοδο της θερμομόνωσης (σε τοίχους, στέγη και δάπεδο), σαφώς σε συνδυασμό με στρατηγικές χαμηλής διείσδυσης, μείωσαν την κατανάλωση ενέργειας κατά 20 έως 40%, μέσω των τοίχων τη διαφυγή θερμότητας, η οποία μεταφράζεται σε ενεργειακό κέρδος, και κατά 20% μέσω της στέγης και του δαπέδου. Στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι χρησιμοποιήθηκαν εξωτερικές σκιάσεις των χώρων (π.χ. τέντες) και χρησιμοποιήθηκε ανοιχτός χρωματισμός της στέγης, καθώς και των εξωτερικών τοίχων, χαρακτηριστικά, τα οποία παρουσίασαν μία μείωση του ψυκτικού φορτίου του χώρου κατά 30% (στέγη) και 2 – 4% (τοίχοι), αντίστοιχα.

Αποτελούμενα Μέρη μιας Παθητικά Ενεργειακής Κτιριακής Υποδομής

a. Τοίχοι

Οι τοίχοι αποτελούν ένα από τα κυρίαρχα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου και αναμένεται να παρέχουν θερμική και ακουστική άνεση σε ένα κτίριο, χωρίς να διακυβεύεται παράλληλα η αισθητική του εκάστοτε κτιρίου. Η θερμική αντίσταση (R-value) του τοιχώματος είναι ζωτικής σημασίας καθώς επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου σε μεγάλο βαθμό, ειδικότερα, σε κτίρια με υψηλή ανύψωση του τοιχώματος, όπου ο λόγος, μεταξύ του τοίχου και της συνολικής περιοχής του περιβλήματος είναι υψηλός. Οι διαθέσιμες στην αγορά τιμές R της κεντρικής κοιλότητας του κτιρίου (σκελετός από μπετό του κτιρίου) και οι τιμές R του καθαρού τοιχώματος λαμβάνουν υπόψη την επίδραση της θερμομόνωσης. Ωστόσο, η επίδραση των συντελεστών πλαισίου και θερμογεφυρών δεν λαμβάνονται υπόψη. Υποστηρίζεται, ότι τα τοιχώματα με θερμική μόνωση έχουν περισσότερες πιθανότητες συμπύκνωσης επιφανείας όταν η σχετική υγρασία του αέρα στον περιβάλλοντα χώρο είναι μεγαλύτερη από 80%, υπό την προϋπόθεση ότι οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και ακτινοβολίας του εξωτερικού τοιχώματος είναι μικροί. Αυτό το πρόβλημα φαίνεται να είναι πιο σοβαρό ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες και ψυχρότερες κλιματικά περιοχές οι οποίες διαθέτουν ταυτόχρονα υψηλότερα επίπεδα υγρασίας. Πιο συγκεκριμένα, η συμπύκνωση υγρασίας στις κτιριακές εγκαταστάσεις και κυρίως στα εξωτερικά τοιχώματα, προάγει την ανεπιθύμητη μικροβιακή ανάπτυξη που μπορεί να μειώσει τη διάρκεια ζωής των τοιχωμάτων καθώς και να οδηγήσει σε άλλες ανεπιθύμητες συνθήκες στην κτιριακή εγκατάσταση.

Παραδοσιακά, με βάση τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των κτιρίων, τα τοιχώματα μπορούν να ταξινομηθούν ως, τοίχοι με βάση το ξύλο, τοίχοι με βάση το μέταλλο και τοίχοι με βάση την τοιχοποιία. Παράλληλα, υπάρχουν και άλλοι τύποι προηγμένων σχεδίων τοίχου οι οποίοι εφαρμόζονται για τη βελτίωση

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

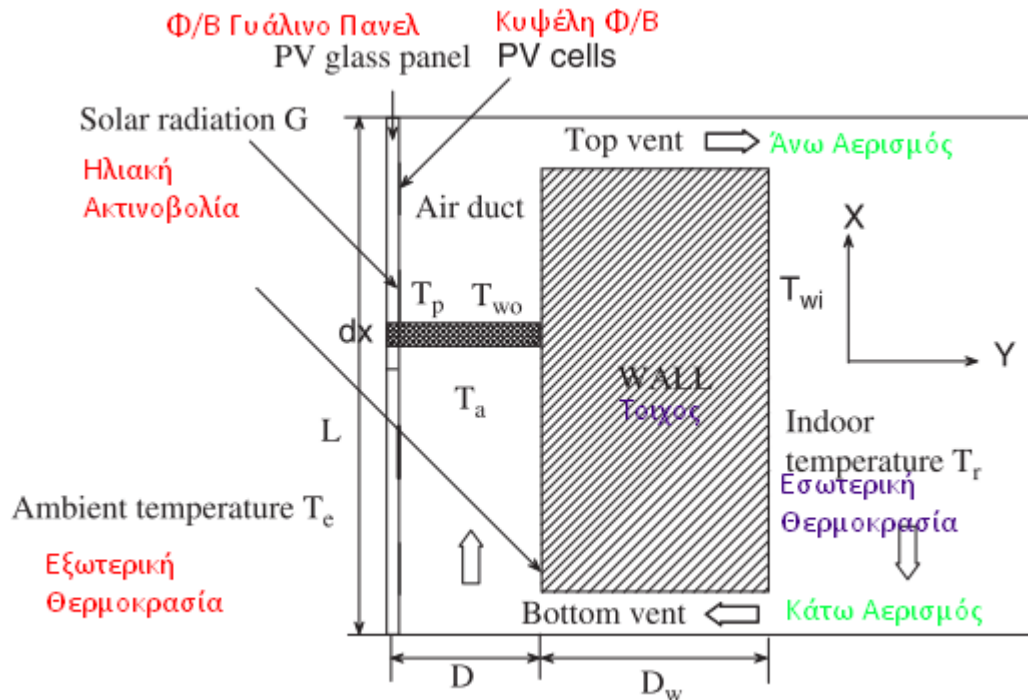
της ενεργειακής απόδοσης και των επιπέδων άνεσης στα κτίρια. Στις ακόλουθες ενότητες περιγράφονται τέτοιου είδους προηγμένες τεχνολογίες τοίχου.

Παθητικοί Ηλιακοί Τοίχοι

Οι παθητικοί ηλιακοί τοίχοι συνήθως χρησιμοποιούνται σε κτίρια τα οποία συναντώνται σε κρύα κλίματα. Αυτού του είδους οι τοίχοι έχουν την ιδιότητα να παγιδεύουν και ταυτόχρονα να μεταδίδουν την ηλιακή ενέργεια αποτελεσματικά στο κτίριο. Αναπτυχθήκαν για πρώτη φορά από τον Έντουαρντ Μορς κατά την διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, ενώ μετέπειτα επανασχεδιάστηκαν από τους Trombe et al. Ο τοίχος αποτελείται από σκυρόδεμα πάχους 12 ιντσών, η εγκατάσταση του γίνεται συνήθως στη νότια πρόσοψη του κτιρίου (για γεωγραφικό βόρειο ημισφαίριο) ώστε να πραγματοποιείται η απαραίτητη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπρόσθετα, ως εξωτερικό κάλυμμα του τοίχου χρησιμοποιείται υαλοπίνακας ώστε με αυτό τον τρόπο να μπορεί να δημιουργηθούν συνθήκες φαινομένου του θερμοκηπίου. Αρκετά εξελικτικά αποτελέσματα προέκυψαν μέσω των βασικών σχεδίων του κλασικού τοίχου Trombe και του σύνθετου τοίχου Trombe-Michell.

Ένα αντίστοιχο σχέδιο συστήματος τοίχου που προτείνεται για της περιοχές στις οποίες επικρατούν ψυχρές κλιματολογικές συνθήκες αποτελείται από ατσάλινο πλαίσιο με μόνωση πολυστερίνης τοποθετημένο προς την νότια όψη του κτιρίου, όπως έχει προαναφερθεί. Αυτή η σχεδιαστική βελτίωση πρόσδωσε μία βέλτιστη εικόνα στην απόδοση λειτουργίας του πρωτότυπου κατά 56%. Μέσω συγκριτικής μελέτης προέκυψε ότι ανάμεσα σε τέσσερα (4) διαφορετικά είδη διαμόρφωσης ηλιακού τοιχώματος, α) ηλιακό τοίχωμα χωρίς αερισμό, β) τοίχος Trombe, γ) μονωμένο τοίχωμα Trombe και δ) σύνθετο ηλιακό τοίχωμα, χρησιμοποιώντας αριθμητικές προσομοιώσεις. Τα παραπάνω είδη σχεδιασμού τοιχωμάτων που προαναφέρθηκαν, εκτός από το μη αεριζόμενο ηλιακό τοίχωμα, έχουν την ιδιότητα να μεταφέρουν αποκλειστικά θερμότητα στους εσωτερικούς χώρους μέσω αγωγιμότητας. Προτιμότερος τύπος ηλιακού τοιχώματος, βρίσκεται να είναι το μοντέλο το οποίο λειτουργεί με βάση την συναγωγή (ελεγχόμενο) όπως ο σύνθετος ηλιακός τοίχος ή μονωμένος τοίχος Trombe και είναι προτιμότερος σε περιοχές με μικρότερες περιόδους θέρμανσης των κτιρίων με σκοπό να μπορεί να αποφευχθεί η υπερθέρμανση του συστήματος ψύξης το οποίο κάλλιστα μπορεί να αντιμετωπιστεί με περύγια σκίασης. Jie et al., πρότειναν έναν καινοτόμο σχεδιασμό φωτοβολταϊκών ενσωματωμένο σε τοίχο Trombe (Εικόνα 5.2.2.1).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

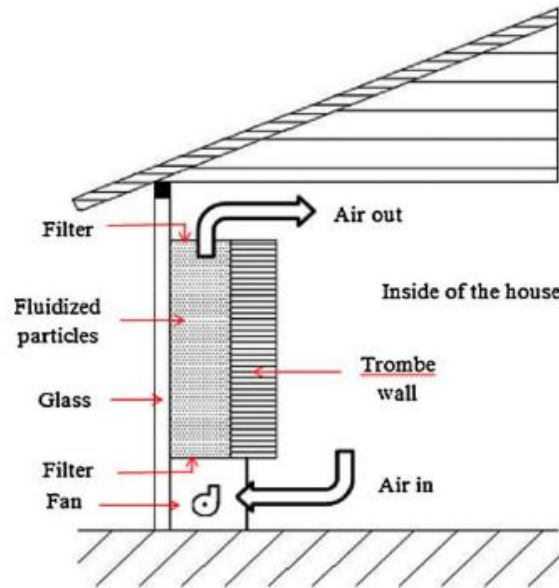


Εικόνα 5.2.2.1: Σχηματικό Διάγραμμα του Καινοτόμου Τοίχου Trombe με Φ/Β Πάνελ (Πηγή προσαρμοσμένο από: Jie et al., 2007).

Σε αυτό το σχεδιασμό, οι φωτοβολταϊκές κυψέλες είναι τοποθετημένες στο πίσω μέρος του διάφανου γυάλινου καλύμματος ενός κανονικού τοίχου τεχνοτροπίας Trombe. Τόσο η θερμότητα που απορρίπτεται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία όσο και η θερμότητα που απορροφάτε από τη θερμική μάζα του τοίχου, χρησιμοποιούνται από κοινού για την μετέπειτα θέρμανση του εκάστοτε χώρου.

Οι Tyagi & Buddhi, στην έρευνα τους αναφέρουν πως οι τοίχοι Trombe, βάση του υλικού αλλαγής φάσης (phase change material, PCM) έχουν αναθεωρηθεί. Δηλαδή, τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι τοίχοι PCM Trombe έχουν καλύτερη απόδοση όντας λεπτότεροι σε πάχος, όπως επίσης παρουσίασαν καλύτερα δεδομένα από του συμβατικούς τοίχους με μπετό. Οι Tunç & Uysal, στην εργασία τους αναφέρουν πως το έργο τους αποτελείται από δυο κύρια σκέλη. Το πρώτο σκέλος αναφέρουν πως διεξάγεται ανάλυση ένας κλασικός Trombe τοίχος και ταυτόχρονα επιτυγχάνεται η επίλυση των κύριων εξισώσεων, επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο την εξασφάλιση της θερμικής χωρητικότητας του συστήματος. Ωστόσο, στο δεύτερο σκέλος της έρευνας τους αναφέρουν μια εναλλακτική εκδοχή του τοίχου Trombe. Τοποθετήθηκε στην ενδιάμεση απόσταση υαλοπίνακα και τοίχου ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί ένα σύνολο από ρευστοποιημένα σωματιδίων χαμηλής πυκνότητας όπως, παρουσιάζεται και στην παρακάτω εικόνα 5.2.2.2.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

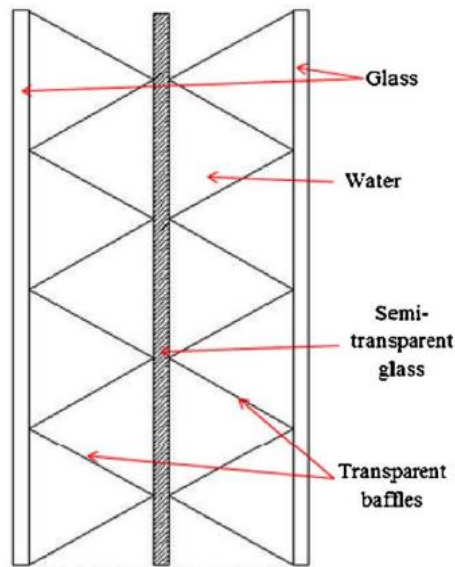


Εικόνα 5.2.2.2: Σχέδιο Περιγραφής Τοίχου Trombe με Ρευστοποιημένα Σωματίδια Χαμηλής Πυκνότητας (Πηγή προσαρμοσμένο από: Tunç & Uysal, 1991).

Ο αέρας διέρχεται από ένα κανάλι αεραγωγού στο κάτω μέρος του συστήματος και εξέρχεται από την πάνω πλευρά, στο τέλος της πάνω πλευράς έχει τοποθετηθεί ένα είδος φίλτρου το οποίο χρησιμοποιείται για να μπορεί να εμποδίζει την διαφυγή των μικροσωματιδίων από το σύστημα μετάδοσης. Σε αυτό το σύστημα, το ρευστό (αέρας), το θερμαινόμενο μέσο βρίσκεται σε άμεση επαφή με τα σωματίδια του συστήματος, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο τη συνολική απόδοση του συστήματος σε αντίθεση με το κλασικό πρωτότυπο τοίχο Trombe.

Μια εναλλακτική περίπτωση αποτελεί το διαφανές αρθρωτό τοίχωμα (Trans Wall) που έχει την ιδιότητα να παρέχει τόσο θέρμανση όσο και φωτισμό στο χώρο της κτιριακή εγκατάστασης. Τα τοιχώματα αυτά αποτελούνται από νερό το οποίο περικλείεται μεταξύ δυο παραθύρων γυάλινων υαλοπινάκων, υποστηριζόμενο από μεταλλικό πλαίσιο (Εικόνα 5.2.2.3).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 5.2.2.3: Διατομή του Συστήματος Διαφανούς Αρθρωτού Τοιχώματος (Trans Wall) (Πηγή: Sadineni et al., 2011).

Στο κέντρο του σχεδίου, βρίσκεται μία γυάλινη πλάκα απορρόφησης, ηλιακής ακτινοβολίας θερμαίνοντας το ρευστό μετάδοσης, στο κέντρο των παράλληλων υαλοπινάκων. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία απορροφάτε εν μέρει από το νερό, όπως προαναφέρθηκε, και την ημιδιαφανή γυάλινη πλάκα, ενώ το υπόλοιπο της μεταδιδόμενης ακτινοβολίας προσδίδει τόσο θερμότητα στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου, όσο και φωτισμό.

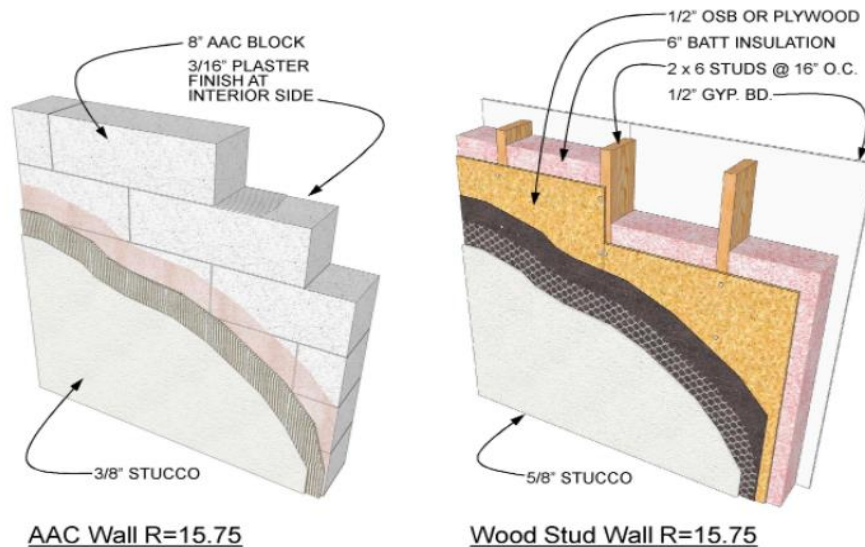
Τοίχοι από Ελαφρύτερο Σκυρόδεμα

Η θερμική αντίσταση του ελαφρύτερου σκυροδέματος, μπορεί να παρουσιάσει βελτίωση όταν αναμιγνύεται με ελαφρύτερα αδρανή συσσωματώματα. Τα συσσωματώματα μπορούν να έχουν προέλευση είτε από φυσικό υλικό (ελαφρόπετρα, διατομίτη, διογκωμένο πηλό, διογκωμένο σχιστόλιθο κ.λπ.), προϊόντα που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία (αφρός σκουριάς, πυροσυσσωματωμένη τέφρα) ή μη επεξεργασμένα υλικά. Ενώ, τα τελευταία χρόνια οι έρευνες έχουν επικεντρωθεί περισσότερο σε υλικά τα οποία βρίσκονται να είναι συσσωμάτια χαμηλής αγωγιμότητας (σφαιρίδια πολυστυρολίου, βερμικουλίτης, Ieca).

Το σκυρόδεμα με αυτόκλειστο αέρα ή αεριομένο σκυρόδεμα (autoclaved aerated concrete, AAC), αποτελεί ένα ακόμη τύπο ελαφρού σκυροδέματος το οποίο παράγεται με την εισαγωγή σκόνης αλουμινίου και παράλληλα δημιουργούνται μικρές φυσαλίδες αέρος σε ολόκληρη τη δομή του. Το σκυρόδεμα αυτοκλείστου αέρα για πρώτη φορά κυκλοφόρησε στην Ευρώπη στις αρχές του 20^{ου} αιώνα και

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

μέχρι και σήμερα κερδίζει έδαφος στις κατασκευές κτιρίων, ως υλικό εξωτερικού και εσωτερικού τοιχώματος προς αντικατάσταση των τούβλων οικοδόμησης (Εικόνα 5.2.2.4). Η πυκνότητα του υλικού κυμαίνεται από 600 έως 800 ανά m^3 , και τέτοιου είδους τοίχοι από ελαφρύτερο σκυρόδεμα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε χώρες όπου κυριαρχεί η κατασκευή σκυροδέματος και η χρήση μόνωσης σε τοίχους δεν αποτελεί κοινή πρακτική.



Εικόνα 5.2.2.4: Σύγκριση Θερμικής Αντίστασης Ανάμεσα σε ένα Τυπικό Ξύλινο Τοίχο και ένα Τοίχο από AAC και τα Υλικά που Χρειάζονται για να Επιτευχθεί (Πηγή : International Masonry Institute).

Τοίχοι Αεριζόμενοι ή Διπλής Στιβάδας

Οι τοίχοι που διαθέτουν κενό αέρα μεταξύ δυο στρωμάτων τοιχοποιίας με μεταλλικούς δεσμούς αποτελούν το αεριζόμενο ή διπλής στιβάδας τοίχωμα. Επίσης, τους συναντάμε και με την ονομασία τοίχοι κοιλοτήτων. Υπάρχουν δυο βασικά είδη αεριζόμενων τοίχων: α) με εξαναγκασμένο εξαερισμό στην κοιλότητα και β) με φυσική κλίση. Συνήθως, οι αεριζόμενοι τοίχοι χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της παθητικής ψύξης των κτιρίων. Μέσω έρευνας αναπτύχθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο για να γίνει ευκολότερη η αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης ενός αεριζόμενου τοίχου, το οποίο και επικυρώθηκε από έξι αντίστοιχα διαφορετικά σχέδια. Παρά το γεγονός ότι η εξοικονόμηση ενέργειας σε όλα τα σχέδια έχει την ιδιότητα να αυξάνεται με την αύξηση του πλάτους του διάκενου αέρος, ωστόσο, μια περαιτέρω αύξηση του πάνω από 15 mm πρόσδωσε μόνο μειωμένες τιμές απόδοσης. Με την χρήση αεριζόμενου τοίχου υπάρχει η δυνατότητα να επιτευχθεί ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας κατά την καλοκαιρινή ψύξη της τάξεως του 40%, υπάρχει περίπτωση όμως, λόγω κακής ποιότητας κατασκευής να δημιουργηθεί πρόβλημα

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

θερμογέφυρας, γεγονός το οποίο θα μας προσθέσει θερμικές απώλειες. Σημαντικοί παράμετροι για την εν λόγω κατασκευή αποτελούν η θερμική αντίσταση του εξωτερικού τοιχώματος καθώς και η σχετική τραχύτητα των πλακών που οριοθετούν τον αγωγό.

b. Ανοίγματα

Τα ανοίγματα αποτελούν ένα κομμάτι ζωτικής σημασίας στην παροχή θερμικής άνεσης και την βελτιστοποίηση των επιπέδων φωτισμού σε μια κτιριακή εγκατάσταση. Παράλληλα, εκτός από τα παραπάνω, βρίσκονται να είναι σημαντικά και από αρχιτεκτονικής άποψης για την προσθήκη αισθητικής στο σχεδιασμό του κτιρίου.

Τα τελευταία χρόνια, σημειώθηκαν σημαντικές, από αρχιτεκτονικής άποψης, προσθήκες αισθητικής στο σχεδιασμό των κτιρίων, καθώς σημειώθηκαν σημαντικές εξελίξεις στις τεχνολογίες υαλοπινάκων. Οι τεχνολογίες αυτές συμπεριλαμβάνουν, υαλοπίνακες διαχείρισης του ηλιακού φωτός, μονωτικές μονάδες υαλοπινάκων, συστήματα επικάλυψης χαμηλών θερμικών εκπομπών (Low Emissivity ή Low-e), υαλοπίνακες κενού ή βελτιωμένα τόσο σχεδιαστικά επί των πλαισίων και των διαχωρισμάτων τους, όσο και τεχνολογικά τα οποία διαθέτουν κοιλότητες ευγενών αερίων και αεριούχα διαλείμματα γέλης τα οποία βρίσκονται να προσφέρουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα από και προς το περιβάλλον της κτιριακής εγκατάστασης. Μέσω προσομοιώσεων που έγιναν, παρατηρήθηκε ότι η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας από ένα παράθυρο εξαρτάται όχι μόνο από τη θερμική αγωγιμότητα (τιμή U) και τον συντελεστή κέρδους ηλιακής θερμότητας (τιμή g) του παραθύρου, αλλά και από τον προσανατολισμό του, τις κλιματολογικές συνθήκες και παραμέτρους της κτιριακής υποδομής, όπως το επίπεδο μόνωσης, επιφάνεια δαπέδου κ.λπ.

Για εφαρμογές παθητικής ηλιακής θέρμανσης, προτιμώνται τα παράθυρα με χαμηλές τιμές- U και συνολικά υψηλή μετάδοση της ηλιακής ενέργειας (G). Η αντιστάθμισή η οποία πρέπει να υπάρξει μεταξύ της τιμής U και της ηλιακής μετάδοσης, πιθανότατα θα δημιουργήσουν συνθήκες και μέτρα μείωσης της τιμής U , ωστόσο θα μειώσουν και την ηλιακή μετάδοση. Στις εφαρμογές φωτισμού της ημέρας, τα φάσματα επιλεκτικά επιχρίσματα Low-e επιτρέπουν το ορατό φως του ηλιακού φάσματος να περάσει, παράλληλα, μπλοκάρουν τα άλλα μήκη κύματος που είναι γενικά υπεύθυνα για τα ηλιακά κέρδη. Αυτές οι επικαλύψεις τοποθετούνται στην εσωτερική επιφάνεια του εξωτερικού υαλοπίνακα, καθώς η περισσότερη ηλιακή ενέργεια που απορροφάτε θα διαχέεται στον περιβάλλοντα αέρα (Robinson & G Hutchins, 1994).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Οι επιστρώσεις χαμηλή θερμικής εκπομπής (low-e) αποτελούνται από δυο (2) τύπους:

- Μαλακής Επίστρωσης
- Σκληρής επίστρωσης

Η σκληρή επίστρωση, είναι μια επίστρωση με βάση το οξείδιο του κασσίτερου, ενώ η μαλακής επίστρωσης, αποτελούνται συνήθως από ένα λεπτό στρώμα αργύρου που περιβάλλεται από διηλεκτρικά προστατευτικά στρώματα. Συνήθως, η μαλακής επίστρωσης, έχουν σαν βάση το ασήμι η οποία διακόπτει τη χαμηλότερη ηλιακή μετάδοση και την υψηλή αντανάκλαση υπέρυθρων ακτινών σε σύγκριση με τις επικαλύψεις οι οποίες έχουν σαν βάση το σκληρότερο οξείδιο του κασσίτερου. Η ορατή διαπερατότητα των υαλοπινάκων με βάση το low-e του οξειδίου του κασσίτερου, δύναται να αυξηθεί μέσω της κατεργασίας αντανάκλασης με διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (Hammarberg & Roos, 2003). Βάση αυτού, επιτρέπει τη χρήση υαλοπινάκων επεξεργασμένων για την αντανάκλαση τύπου low-e, να έχουν την δυνατότητα να τοποθετηθούν σε κατασκευές παραθύρων τριπλών υαλοπινάκων οι οποίοι έχουν και την επιθυμητή τιμή U χωρίς όμως να μειώνεται η ορατότητα.

Τύποι Υλικών και Τεχνολογιών Υαλοπινάκων Τελευταίας Τεχνολογίας

Υπερσύγχρονα υλικά και τεχνολογίες υαλοπινάκων που στοχεύουν στην παροχή λύσεων μόνωσης υψηλής απόδοσης ή ελέγχου ηλιακού κέρδους ή φωτισμού ημέρας ή συνδυασμού των παραπάνω, αναλύονται σε αυτή την ενότητα.

Αερογέλη Υαλοπινάκων (Aerogel glazing)

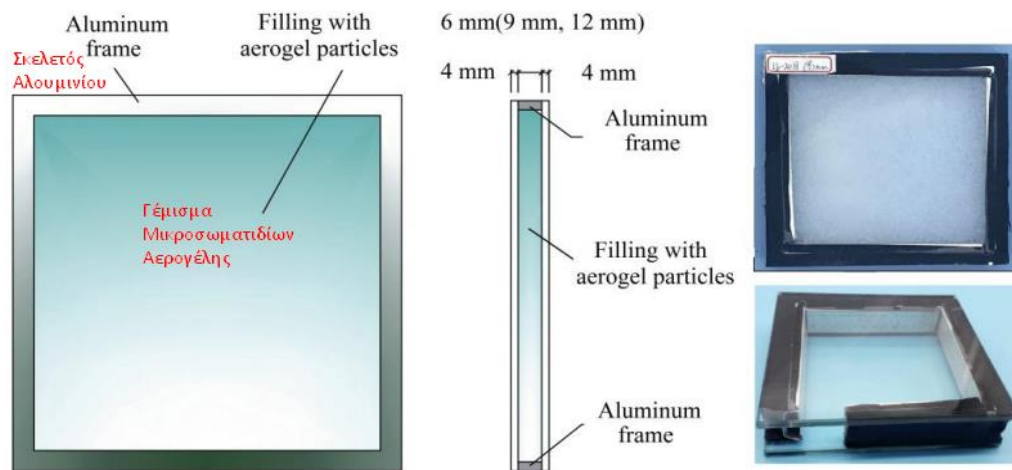
Η αερογέλη (aerogel) είναι ένα ελαφρύ, πολύ πορώδες στερεό που σχηματίζεται από την αντικατάσταση του υγρού σε πήκτωμα με ένα αέριο έτσι ώστε το προκύπτον στερεό να έχει το ίδιο μέγεθος με το πρωτότυπο. Η αερογέλη βρίσκεται να είναι τόσο ελαφριά, όπου μερικές φορές αποκαλείται και «στερεός καπνός». Λόγω του χαμηλού βάρους του, σε συνδυασμό με εξαιρετικές ηχομονωτικές, θερμικές και ηλεκτρικές ιδιότητες μόνωσης θα μπορούσε να καθιστά την αερογέλη προϊόν ιδανικό για μια σειρά καταναλωτικών προϊόντων, αν δεν ήταν τόσο ακριβό να παραχθεί.

Αυτού του είδους τα αερολύματα, αποτελούν μια κατηγορία ανοικτών κυψελωτών μεσοπορωδών στερεών, παρουσιάζοντας μια έκταση πορώτητας μεγαλύτερη της τάξεως του 50%. Έχουν πυκνότητα σε ακτίνα 1 έως 150 kg/m^3 και αποτελούνται από το 90 έως 99,8% από αέρα στο σύνολο του όγκου τους. Μπορούν να σχηματιστούν από μια ποικιλία υλικών, όπως οξείδιο του πυριτίου, αλουμίνιο,

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

λανθανίδες (Σπάνιες Γαίες), μεταφερόμενα οξείδια του μετάλλου, χαλκογόνα μέταλλα (Σελήνιο, Τελούριο), οργανικά και ανόργανα πολυμερή και άνθρακα.

Οι υαλοπίνακες με αερογέλη, εισήλθαν στη σύγχρονη αγορά το 2006 και ουσιαστικά είναι μια κοκκώδης αερογέλη εγκλεισμένη ανάμεσα σε πολυκαρβονικά πάνελ κατασκευής και με το βάρος τους να φτάνει μόλις λιγότερο από το 20% της ισοδύναμης γυάλινης μονάδας, ενώ ταυτόχρονα διαθέτουν διακόσιες (200) φορές μεγαλύτερη αντοχή στην κρούση. Η μετάδοση του φωτός και η τιμή U των πάνελ αερογέλης βρίσκονται να είναι λειτουργικά μικρότερη σε συνάρτηση πάχους με το γυάλινο. Οι υψηλές επιδόσεις, η χαμηλή πυκνότητα και οι εξαιρετικές ιδιότητες διάχυσης του φωτός στο χώρο, τα καθιστούν την πλέον κατάλληλη επιλογή για εφαρμογές φωτισμού και ειδικότερα για εφαρμογές φωτισμού οροφής (Εικόνα 5.2.2.5) (Bahaj et al., 2008).



Εικόνα 5.2.2.5: Σχέδιο Κατασκευής Υαλοπίνακας Αερογέλης (Πηγή προσαρμοσμένο από : Lv et al., 2018).

Υαλοπίνακες Κενού

Ο χώρος κενού διαμορφώνεται μεταξύ των δυο γυάλινων επιφανειών των υαλοπινάκων, για να επιτευχθεί η εξάλειψη της αγωγιμότητας και της μεταφοράς θερμότητας από την μια πλευρά του υαλοπίνακα στην άλλη, μειώνοντας την τιμή U στον πυρήνα του υαλοπίνακα πολύ χαμηλά αγγίζοντας το $1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Τις περισσότερες φορές, εκτός από την διεργασία του κενού, εφαρμόζονται επιστρώσεις χαμηλής θερμικής εκπομπής (low-e) στο ένα η και στα δύο γυάλινα τζάμια να μειωθεί εκ νέου η ακτινοβολία στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου. Οι υαλοπίνακες κενού, αν και τεχνολογικά αντιμετωπίζει ορισμένες προκλήσεις στη διατήρηση του κενού για μεγάλα χρονικά διαστήματα, εξακολουθεί να αποτελεί μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη ενεργειακά αποδοτική επιλογή υαλοπινάκων. Το

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

συγκεκριμένο είδος υαλοπίνακα, τέθηκε υπό μελέτη καθώς και σύγκριση μεταξύ του υαλοπίνακα κενού και του διπλού υαλοπίνακα με αργό. Χρειάζεται να αναφερθεί, πως η μεταφορά θερμότητας μέσω εκκενωμένων τριπλών υαλοπινάκων τέθηκε υπό έρευνα και σαν αποτέλεσμα προέκυψε ότι με την εφαρμογή τριπλού υαλοπίνακα κενού επιτυγχάνεται μπορεί να επιτευχθεί θερμική διαπερατότητα μικρότερη από $0,2\text{W/m}^2\text{K}$ (Manz et al., 2006).

Μεταβαλλόμενοι Υαλοπίνακες Αντανάκλασης

Η τεχνολογία οπτικής εναλλαγής, βρίσκεται να είναι ένα από τις πιο συναρπαστικές περιοχές των υαλοπινάκων όπου έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν την οπτική του κοινού υαλοπίνακα ο οποίος αποτελεί σταθερό στοιχείο σε ένα δυναμικό περιβάλλον. Υπάρχουν διάφορες φυσικές οπτικές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ρύθμιση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας, του φωτός της ημέρας και του φωτός σε κτίρια, καθώς και των οχημάτων. Οι οπτικές συσκευές εναλλαγής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παράθυρα σε μια ποικιλία εφαρμογών, όπου, απαιτείται οπτική και θερμική διαμόρφωση. Ο σκοπός αυτών των υλικών που χρησιμοποιούνται, για να μπορεί η οπτική εναλλαγή των υαλοπινάκων να είναι εφικτή, είναι για να ελέγχεται η ροή του φωτός, καθώς και η ροή της θερμότητας εντός και εκτός του εκάστοτε παραθύρου, σύμφωνα με την προσωπική άνεση ή το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας που ακολουθείται από την εκάστοτε κτιριακή εγκατάσταση.

Η βασική ιδιότητα ενός οπτικού υλικού εναλλαγής ή ενός έξυπνου παραθύρου, είναι ότι δείχνει μια μεγάλη αλλαγή στις οπτικές ιδιότητες μετά από μια αλλαγή στην ένταση του φωτός, της φασματικής σύνθεσης, τη θερμοκρασία, το ηλεκτρικό πεδίο ή απορριπτόμενο φορτίο. Αυτή η οπτική εναλλαγή έχει σαν αποτέλεσμα έναν μετασχηματισμό από μία κατάσταση υψηλής μετάδοσης σε κατάσταση μερικής ανάκλασης ή απορρόφησης, είτε πλήρως, είτε εν μέρει πάνω από το ηλιακό φάσμα.

Τα φυσικά φαινόμενα ενδιαφέροντος για οπτικές διαδικασίες μεταγωγής μπορούν να ταξινομηθούν σε μία από τις δύο κατηγορίες που υπάρχουν, είτε α) διακριτής μαζικής κίνησης, είτε β) συλλογικής φυσικής κίνησης,

- ✓ η κατηγορία διακριτής κίνησης μάζας: περιλαμβάνει κίνηση ιόντων και εντοπισμένων ηλεκτρονίων όπως παρουσιάζεται σε φωτοδιαθλαστικά, φωτοχρωμικά, ηλεκτροχρωματικά και θερμοχρωματικά υλικά.
- ✓ η κατηγορία φυσικής συλλογικής κίνησης, περιλαμβάνει διεσπαρμένους και ομοιογενείς υγρούς κρυστάλλους, αιωρούμενα σωματίδια, παραμορφώσιμες μεμβράνες και ρυθμιζόμενα πλέγματα περίθλασης.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Όλες αυτές οι διεργασίες ονομάζονται «χρωμογόνες» (chromogenic) (Lampert, 1993). Μέσω της τεχνολογίας οπτικής εναλλαγής, μπορεί χαρακτηριστικά να αναφερθεί ένα υπαρκτό παράδειγμα το οποίο λαμβάνει χώρα στην Ελλάδα. Μια ανάλυση ενέργειας κύκλου ζωής που πραγματοποιήθηκε σε παράθυρα ηλεκτροχρωματικά σε κτιριακή εγκατάσταση, παρουσίασε, μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 54%, όπου το ποσοστό αυτό αντιστοιχούσε περίπου σε 6.388MJ, συγκρίνοντας το με ένα τυπικό παράθυρο κατά τη διάρκεια ζωής 25 ετών. Ωστόσο, οφείλεται να αναφερθεί πως αυτού του είδους υαλοπίνακες δεν έχουν καταφέρει να καταξιωθούν και να κερδίσουν ένα αγοραστικό κοινό, διότι, υπάρχουν εμφανή προβλήματα, όπως, ζητήματα κόστους, εγγύησης, χρόνου εναλλαγής, αντανάκλασης και απόδοσης χρώματος, τα οποία εμποδίζουν την εμπορευσιμότητα αυτής της τεχνολογίας.

c. Πλαίσιο

Όπως έχει αναφερθεί στις προηγούμενες ενότητες, η βελτίωση της θερμικής αντίστασης του πλαισίου μπορεί να συμβάλει στην συνολική ενεργειακή απόδοση ενός παραθύρου, ιδιαίτερα στον παράγοντα U (U factor). Υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για όλους τους τύπους υλικών πλαισίου, όμως για το βινύλιο, το ξύλο το fiberglass και ορισμένα σύνθετα υλικά πλαισίου, τα οποία παρέχουν μεγαλύτερη θερμική αντίσταση από το μέταλλο.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διαφορετικών τύπων υλικών πλαισίου:

- Πλαίσια Αλουμινίου ή μεταλλικά: αυτής της κατηγορία τα υλικά πλαισίου αν και παρουσιάζονται να είναι πολύ ισχυρά, ελαφριά και με σχεδόν χωρίς συντήρηση, τα μεταλλικά η τα αλουμινίου κουφώματα μεταδίδουν τη θερμότητα με πολύ γρήγορο ρυθμό, καθιστώντας τα πολύ φτωχά μονωτικά υλικά. Για τη μείωση της ροής θερμότητας και ταυτόχρονα του συντελεστή U, τα μεταλλικά κουφώματα πρέπει να διαθέτουν θερμοδιακοπή, μια μονωτική πλαστική λωρίδα τοποθετημένη μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού πλαισίου και του φύλλου.
- Σύνθετα πλαίσια: αυτής της κατηγορίας τα υλικά πλαισίου αποτελούνται από σύνθετα προϊόντα ξύλου, όπως μορισανίδες και πολυστρωματική ξυλεία, ωστόσο, μερικά αναμιγνύονται με πολυμερή πλαστικά. Η δομή των σύνθετων αυτών υλικών είναι πολύ σταθερή, διαθέτουν τις ίδιες ή και καλύτερες δομικές και θερμικές ιδιότητες με το συμβατικό ξύλο, καθώς επίσης διαθέτουν καλύτερη αντοχή στην υγρασία και τη φθορά.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

- Πλαίσια fiberglass: τα κουφώματα υαλοβάμβακα ορίζονται ως σταθερών διαστάσεων και διαθέτουν κοιλότητες αέρα που δίνουν την δυνατότητα να γεμίσουν με μόνωση, με απώτερο σκοπό να είναι ικανά να προσφέρουν ανώτερη θερμική απόδοση σε σύγκριση με το ξύλο ή το μη μονωμένο βινύλιο.
- Πλαίσια βινυλίου: τα κουφώματα βινυλίου συνήθως κατασκευάζονται από πολυβινυλοχλωρίδιο ή διαφορετικά PVC. Διαθέτουν σταθεροποιητές υπεριώδους φωτός (UV) για να αποτρέπουν το φως του ηλίου να προκαλέσει καταστροφή του υλικού. Δεν απαιτούν βαφή και διαθέτουν μεγάλη αντοχή στην υγρασία. Οι κοίλες κοιλότητες των πλαισίων βινυλίου μπορούν να γεμίσουν με μόνωση, γεγονός που τα καθιστά θερμικά ανώτερα από τα τυπικά πλαίσια βινυλίου και ξύλου.
- Πλαίσια Ξύλινα: τα ξύλινα κουφώματα διαθέτουν μια σχετικά καλή μόνωση, ωστόσο απαιτούν τακτική συντήρηση. Η θερμική απόδοση η οποία προσφέρουν είναι ελαφρώς ικανοποιητικότερη από ότι των μεταλλικών κουφωμάτων.

Επίσης, χρειάζεται να αναφερθεί πως στις μέρες μας η συμμετοχή του πλαισίου των κουφωμάτων αποτελεί μικρό ποσοστό (10-20%) στο συνολικό εμβαδό τους, και αυτό οφείλεται λόγω των νέων τεχνολογιών που υπάρχουν στον τομέα των υαλοπινάκων. Στην πραγματικότητα, οι τιμές U υποβαθμίζονται σημαντικά από τα αποτελούμενα μέρη ενός παραθύρου ή μπαλκονόπορτας, καθώς οι τεχνολογίες αιχμής που εφαρμόζονται σε αυτά τα στοιχεία (πλαίσια, διαχωριστικά) σε συνάρτηση με τους προηγμένους υαλοπίνακες, όπως προαναφέρθηκε, οι μονωτικές του ιδιότητες, στο σύνολο τους, έχουν την ικανότητα να φτάσουν σε απόδοση πολύ κοντά σε αυτές τις τιμές U των καλά μονωμένων αδιαφανών τοιχωμάτων. Με λίγα λόγια μπορεί να ειπωθεί, πως, τα φαινόμενα μειωμένων U-value γίνονται πιο έντονα όσο μικρότερες είναι οι διαστάσεις των παραθύρων, δηλαδή όσο μικρότερο προφίλ πλαισίου και μεγαλύτερες επιφάνειες υαλοπινάκων, νέων τεχνολογιών, τόσο χαμηλότερες τιμές U αποδίδονται.

d. Οροφές

Οι οροφές αποτελούν ένα από τα πιο κρίσιμα τμήματα μιας κτιριακής εγκατάστασης και χρίζεται ιδιαίτερα ευαίσθητο απέναντι στην ηλιακή ακτινοβολία και άλλες περιβαλλοντικές αλλαγές, επηρεάζοντας με αυτό τον τρόπο τις συνθήκες άνεσης των εσωτερικών χώρων των κατοίκων. Οι οροφές, αντιπροσωπεύουν μεγάλες ποσότητες αύξησης ή απώλειας θερμοκρασίας, ειδικά σε κτίρια με μεγάλες επιφάνειες οροφής όπως αθλητικά συγκροτήματα, ακροατήρια, αίθουσες εκθέσεων κ.λπ. Σαν παράδειγμα, για να τονίσουμε τη σημαντικότητα της σημασίας για μείωση των τιμών U, ως προς τη θερμική απόδοση των οροφών, μέσα στην πάροδο του

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

χρόνου και την αύξηση της συνολικής θερμικής απόδοσης των κτιρίων, στη συνέχεια θα παρουσιαστούν σύμφωνα με του βρετανικούς κανονισμούς κτιρίων, η σταδιακή μείωση των τιμών θερμοπερατότητας (U) για επίπεδες στέγες/οροφές για τα έτη 1965, 1976, 1985, όπου αντίστοιχα, οι τιμές που αντιπροσώπευαν αυτές τις τιμές ήταν $1,42\text{W/m}^2\text{K}$, $0,6\text{W/m}^2\text{K}$ και $0,35\text{W/m}^2\text{K}$, για το κάθε έτος, ενώ επί του παρόντος πλέον η τιμή θερμοπερατότητας έχει μειωθεί στο $0,25\text{W/m}^2\text{K}$ ή και ακόμη χαμηλότερα για τα νεόδμητα κτήρια.

Ορισμένες τεχνικές παθητικής ψύξης θα μπορούσαν να εφαρμοστούν κατά κύριο λόγο σε τροπικά κλίματα ως αποτέλεσμα μετατροπής της αρχιτεκτονικής των οροφών των κτιρίων. Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν, ενιαίες διατάξεις κυψελωτών στεγών με ελάχιστη έκθεση τον ήλιο, θολωτές οροφές, στέγες με φυσικό ή μηχανικό αερισμό, μικρές αεριζόμενες στέγες, ψηλές οροφές και διπλές οροφές. Άλλες τεχνικές/μέθοδοι αντιμετώπισης του φαινομένου βρίσκεται να είναι οι ασβεστωμένες εξωτερικές επιφάνειες οροφής με αποτέλεσμα τη μείωση της ηλιακής απορροφητικότητας, φαινόμενο που έντονα παρουσιάζεται στους νησιωτικούς παραδοσιακούς οικισμούς της Ελλάδος, μια ακόμη μέθοδος είναι οι στέγες οι οποίες καλύπτονται από βλάστηση προσδίδοντας στην οροφή συνθήκες παροχής υγρασίας και σκιάς, καθώς και η χρήση υλικών υψηλής θερμικής χωρητικότητας, όπως είναι το σκυρόδεμα ελαχιστοποιεί τη ζήτηση μέγιστου φορτίου και είναι ένα υλικό το οποίο όλο και περισσότερο αποκτά δημοτικότητα στο χώρο των κατασκευών.

Όπως προαναφέρθηκε, η σκίαση των στεγών αποτελεί έναν τρόπο μείωσης των επιπτώσεων της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια τους. Μια οικονομική άποψη σκίασης της στέγης μπορεί να επιτευχθεί συνήθως χρησιμοποιώντας υλικά τα οποία υπάρχουν στο φυσικό περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου, όπως τούβλα, χώμα, κλαδιά από δέντρα, της περιοχής, ακόμη και πήλινα αγγεία, υλικά τα οποία μπορούν αν προσφέρουν σε ένα κτίριο μία πτώση των 6°C στη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου. Οι επενδύσεις οροφής είναι ένας άλλος τρόπος για να μπορέσει να μετριαστεί η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της οροφής. Η υψηλή ηλιακή ανάκλαση και υψηλή εκπομπή της ακτινοβολίας βρίσκεται να είναι οι αντίστοιχοι ημερήσιοι και νυχτερινοί παράγοντες που διέπουν την επιλογή μιας επίστρωσης οροφής. Επιπρόσθετα, τα εμβαπτίσματα αλουμινίου ως υλικό επικάλυψης αποτελεί την λιγότερο επιθυμητή επιλογή λόγω της χαμηλής εκπομπής των υπερύθρων. Μια πολύ καλή περίπτωση επίστρωσης η οποία μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία επιφανείας είναι η λευκή επίστρωση του σκυροδέματος, η οποία μπορεί να μειώσει κατά 4°C τη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια μίας πολύ ζεστής ημέρας του καλοκαιριού και κατά 2°C κατά τη διάρκεια της νύχτας. Τις περισσότερες φορές η σύνθεση των στεγών/οροφών συντίθεται με τέτοιο τρόπο

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

ώστε να είναι κοντά στα επιθυμητά κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής για επίτευξη της μείωσης της θερμοκρασίας στο χώρο, για αυτό το λόγο έχουν προκύψει ποικίλα μοτίβα συστημάτων στέγης.

Είδη Στεγών/Οροφών

Οι στέγες/οροφές έχουν ταξινομηθεί σε διαφορετικές κατηγορίες με βάση τον τύπο κατασκευής. Οι ακόλουθες ενότητες παρουσιάζουν μερικές από τις κοινώς χρησιμοποιούμενες κατασκευές οροφή μαζί με τις πιο πρόσφατες εξελίξεις σε αυτό τον τομέα.

Οροφές από Σκυρόδεμα

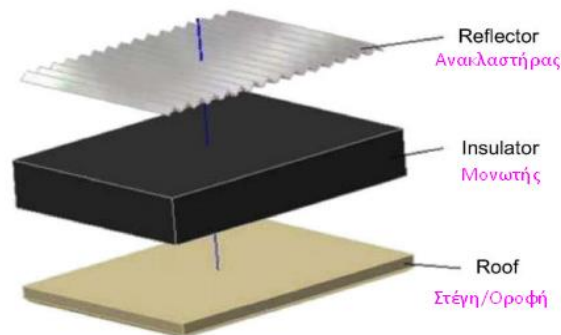
Στις αναπτυσσόμενες χώρες της Νότιας Ασίας και της Μέσης Ανατολής, οι οροφές κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα, μέθοδος κατασκευής των κτιρίων η οποία είναι ιδιαίτερα δημοφιλής λόγω της αυξημένης αντίστασης τους στα παράσιτα (τερμίτες), της αντίστασης στις φυσικές καταστροφές (περιοχή εμφάνισης κυκλώνων), της διαθεσιμότητας και της οικονομικής αποδοτικότητας των υλικών κατασκευής για μία τέτοιου είδους κατασκευή οροφής.

Κατά τη διάρκεια των τροπικών καλοκαιριών τείνουν να παρουσιάζονται δυσμενείς θερμικές ιδιότητες, όπως για παράδειγμα υψηλά θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά στα σημεία κάτω από κεραμοσκεπές, όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και αυξημένα παραμένοντα θερμικά φορτία, τα οποία και επηρεάζουν αρνητικά την αίσθηση άνεσης των εσωτερικών χώρων των κτιρίων και ταυτόχρονα την αύξηση του ενεργειακού κόστους κατανάλωσης ενέργειας για την εξομάλυνση της συγκεκριμένης κατάστασης. Οι θερμοκρασίες στους εσωτερικούς χώρους αγγίζουν τους 40 °C ενώ η θερμοκρασία που παρουσιάζεται στις οροφές αγγίζει του 65 °C, περίπου. Οι αυξημένες θερμοκρασίες στέγης δύναται να εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος προς τους ενοίκους του κτιρίου, επίσης, αυτή η διαδικασία μπορεί να συνεχιστεί και κατά τη διάρκεια της νύχτας δυσχεραίνοντας ακόμη περισσότερο την κατάσταση διαβίωσης. Κάτι σημαντικό το οποίο μπορεί να ειπωθεί είναι όλη η διαδικασία που περιεγράφηκε μπορεί να αποτελεί μείζον πρόβλημα στη δομή στήριξης του κτιρίου, προκαλώντας του ρωγμές ειδικά όσα είναι κατασκευασμένα από τούβλα.

Το πρόβλημα των υψηλών θερμοκρασιών που υφίσταται στο τμήμα της οροφής, μπορεί να εξομαλυνθεί μέσω της χρήσης συστημάτων σκίασης της οροφής, επιχρισμάτων τα οποία είναι ικανά να προσφέρουν ψύξη ή σύνθετων συστημάτων οροφής. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα στέγασης που αναπτύχθηκε σε συνδυασμό με ανακλαστήρες ακτινοβολίας και θερμική μόνωση, η κτιριακή εγκατάσταση έδειξε σημαντική μείωση της θερμότητας (εικόνα 5.2.2.6) που

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

μεταφερόταν μέσω της στέγης (σκυρόδεμα) στο χώρο της κύριας κατοικίας (Alvarado et al., 2009).



Εικόνα 5.2.2.6: Ανακλαστήρας Ηλιακής Ακτινοβολίας με Μόνωση (Πηγή προσαρμοσμένο από: Alvarado et al., 2009).

Η βασική ιδέα της καινοτομίας αυτής η οποία ανήκει στα παθητικά συστήματα ψύξης, αποτελείται από τον μονωτή και έναν μεταλλικό ανακλαστήρα, τοποθετημένα επί της πλάκας οροφής του κτιρίου. Η βασική λειτουργία του μονωτή είναι να ελαχιστοποιήσει θερμική μεταγωγή διαμέσου της οροφής. Οι μονωτές οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και παρουσιάζουν τα καταλληλότερα χαρακτηριστικά χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας και χαμηλής πυκνότητας αναγράφονται με τα χαρακτηριστικά τους στον παρακάτω πίνακα 5.2.2.1.

Θερμικά Χαρακτηριστικά	Πολυστερίνη	Αφρός Πολυουρεθάνης	Άμμος	Λάστιχο	Πολυαιθυλένιο
Θερμική Αγωγιμότητα k (W/m C)	0.027	0.023	0.33	0.16	0.33
Πυκνότητα ρ (kg/m ³)	55	24	1520	1190	910
Ειδική Θερμοχωρητικότητα c_p (kJ/kg C)	1.21	1.59	0.8	2	2.3
Ογκομετρική Θερμική Ικανότητα ρC_p (kJ/m ³ C)	66.55	38.16	1216	2380	2093

Πίνακας 5.2.2.1: Σταθερά Θερμικά Χαρακτηριστικά Υλικών Κατάλληλα για Μονωτές (Πηγή: Alvarado et al., 2009).

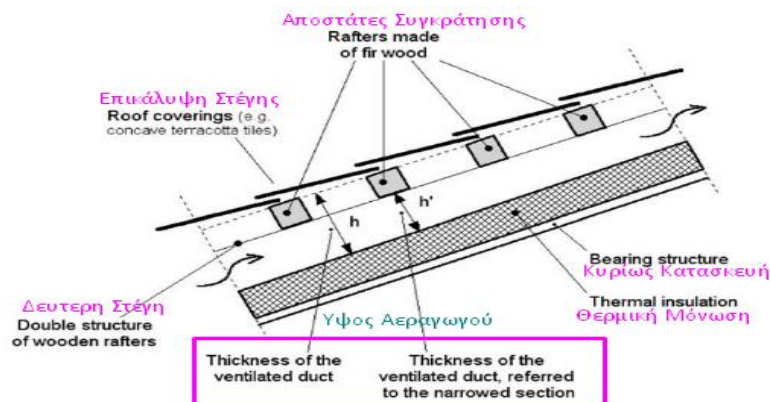
Για την να γίνει σωστή επιλογή του ανακλαστήρα του συστήματος, οφείλει να πληροί κάποιες προϋποθέσεις. Κομβικό σημείο είναι, να διαθέτει την ικανότητα να αντανακλά και να αποσυμφορίζει, όσο το δυνατό περισσότερη θερμότητα που παράγεται μέσω της ακτινοβολίας στην οροφή, επίσης, θα πρέπει ο ανακλαστήρας να παρέχει στην κατασκευή μακροχρόνια προστασία, ως προς τον μονωτή, από το φως του ηλίου και τη βροχή, για την αποφυγή οποιασδήποτε, διάβρωσης ή καταστροφής του υλικού.

Ελλιποβαρής Οροφές

Τα ελαφριά συστήματα στεγών συραμμένου αλουμινίου, χρησιμοποιούνται ευρέως σε εμπορικά και κυβερνητικά κτίρια (κυρίως στο εξωτερικό, όχι τόσο συχνά στον ελλαδικό χώρο) καθώς είναι ένας οικονομικός τρόπος στέγασης μεγάλων επιφανειών. Έχουν μεγάλη ευαισθησία στον άνεμο, λόγω των αδύναμων συνδέσεων (κλιπ ραφής) και μειωμένων θερμικών χαρακτηριστικών. Βελτιωτικές κινήσεις που μπορούν να γίνουν επί του συγκεκριμένου είδους επιστέγασης είναι είτε με την προσθήκη θερμομόνωσης (πολυουρεθάνης, πολυστυρένιο ή συνδυασμός και των δύο), είτε με τη χρήση ανοιχτού χρώματος επί της οροφής. Έχει διαπιστωθεί, πώς οι ανοιχτόχρωμες επιφάνειες όπως το λευκό, υποκατηγορίες λευκού χρώματος, το καφέ και το πράσινο αποδίδουν μείωση του ψυκτικού φορτίου κατά 9,3% , 8,8%, 2,5% και 1,3% αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα πρωτότυπα χρώματα των συστημάτων (μαύρη βαφή).

Αεριζόμενα Συστήματα Οροφών

Τα αεριζόμενα συστήματα οροφής είναι ουσιαστικά δυο πλάκες που οριοθετούν έναν αγωγό μέσω του οποίου κυκλοφορεί ο αέρας (εικόνα 5.2.2.7). Αυτό το διάκενο αέρα/ροής αέρα έχει σαν αποτέλεσμα την σημαντική μείωση της μεταφοράς θερμότητας από την οροφή προς τον εσωτερικό χώρο του κτίριο κατά μήκος της οροφής του κτιρίου. Τα αεριζόμενα συστήματα οροφών βρίσκεται να είναι είτε συστήματα παθητικού τύπου, όπου με ελκυσμό αέρος (θερμό – ψυχρό) να οδηγεί τη ροή του αέρα, είτε ενεργού τύπου, με εξαερισμό που προκαλείται από ανεμιστήρα. Ακόμη, τα συγκεκριμένα συστήματα οροφής βρίσκουν μεγαλύτερη απήχηση σε θερμές κλιματολογικές συνθήκες και είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε κτιριακές εγκαταστάσεις μετρίου ύψους και μεγάλης επικάλυψης οροφή.



Εικόνα 5.2.2.7: Σχηματική Αναπαράσταση Αεριζόμενης Οροφής (Πηγή προσαρμοσμένο από: Ciampi et al., 2005)

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Χρειάζεται να αναφερθεί, ότι ανάλογα το μέγεθος του αγωγού, η ροή μέσω αυτού είναι είτε στρωτή, είτε τυρβώδης. Μέσω ανάλυση ενέργειας που πραγματοποιήθηκε σε κτίρια αεριζόμενης στέγης επιβεβαιώθηκε ότι η εξοικονόμηση που σημειώθηκε ήταν της τάξεως του 30%, κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, σε σύγκριση με κτίρια μη αεριζόμενη στέγης (Ciampri et al., 2005). Ωστόσο, κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών η λειτουργία των αεριζόμενων στεγών δεν συνιστάται. Ο λόγος, διότι, δεν υφίστανται τόσο μεγάλα θερμικά φορτία ώστε να βρίσκεται σε λειτουργία, έτσι οι αγωγή διέλευσης του αέρα κλείνουν με ειδικά διαχωριστικά (αποσβεστήρες) αέρος, όπως επίσης για να γίνει εξοικονόμηση ενέργειας της κατοικίας. Σε ειδικές περιπτώσεις, τα διαχωριστικά μπορεί να μείνουν μερικώς ανοιχτά, για μια μικρή κυκλοφορία αέρος, ώστε να διεξάγεται ευκολότερα η αποστράγγιση τυχών συμπυκνωμάτων (υγρασία) από τον αεραγωγό.

Αντανακλαστικές Στέγες

Κυρτές ή θολωτές στέγες, και στις δυο περιπτώσεις αναφερόμαστε στο ίδιο ακριβώς σύστημα οροφών (αντανακλαστικές στέγες). Αυτού του είδους οι στέγες έχουν υιοθετηθεί κυρίως από οικοδόμους και αρχιτέκτονες σε όλη τη Μέση Ανατολή και όλες τις υπόλοιπες περιοχές που υποφέρουν από πολύ υψηλές θερμοκρασίες και ξηρότητα. Οι ηλιακές αντανακλαστικές στέγες ή αλλιώς στέγες δροσισμού, είναι υψηλής ανάκλασης καθώς και υψηλής υπέρυθρης εκπομπής. Διατηρούν χαμηλότερη θερμοκρασία επιφανείας στέγης και αναστέλλουν την θερμική αγωγιμότητα προς το κτίριο. Οι βασικές ιδιότητες επιφανείας οι οποίες επηρεάζουν τη θερμική απόδοση των επιφανειών οροφής, είναι η α) ηλιακή ανάκλαση (ανακλαστικότητα) και β) η υπέρυθρη εκπομπή. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως, για τα συμβατικά υλικά στέγης η ανακλαστικότητα που επιτυγχάνεται είναι μεταξύ 0,05 έως 0,25 βαθμούς ηλιακής ανάκλασης. Ωστόσο, οι ανακλαστικές επενδύσεις οροφής έχουν την δυνατότητα να αυξήσουν το βαθμό ηλιακής ανάκλασης πάνω από 0,60. Παράλληλα, τα περισσότερα υλικά στέγης ο βαθμός υπέρυθρης εκπομπής που διαθέτουν αγγίζει το 0,85 ή και υψηλότερα νούμερα, με βασική εξαίρεση τον τομέα των μετάλλων, τα οποία διαθέτουν χαμηλότερη εκπομπή υπέρυθρων, αγγίζοντας τους 0,25 βαθμούς. Συνεπώς, γίνεται αυτομάτως αντιληπτό ότι παρόλο που ο τομέας των μετάλλων διαθέτει υψηλότερα ποσοστά ανακλαστικότητας (<0,60), οι στέγες μη επενδεδυμένου μετάλλου (γυμνές στέγες), καθώς και οι μεταλλικές επικαλύψεις οροφής (π.χ. ελλιποβαρής οροφές) τείνουν να θερμαίνονται περισσότερο, για τον λόγο ότι δεν έχουν την δυνατότητα να εκπέμψουν την απορροφούμενη θερμότητα αποτελεσματικά μέσω τη διαδικασία της ακτινοβολίας. Οπότε, για αυτές τις περιπτώσεις, υπάρχουν στο εμπόριο ειδικές επενδύσεις οροφής, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να αυξήσουν την υπέρυθρη

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

εκπομπή σε στέγες μη επενδεδυμένου μετάλλου (Liu. K.K.Y., 2006). Οι Akbari et al., διεξήγαγαν ένα πείραμα με κύριο σκοπό να μπορέσουν να προσδιορίσουν την επίδραση των πολύ αντανακλαστικών οροφών ως προς τις παραλλαγές των ψυκτικών φορτίων και των φορτίων αιχμής. Για αυτό το ζήτημα, τοποθετήθηκαν σε έξι (6) διαφορετικού τύπου κτίρια, εκ νέου, λευκές επιστρώσεις υψηλής ανακλαστικότητας (ή μεμβράνες λευκού PVC, εικόνα 5.2.2.8) μονής στρώσης σε τρία διαφορετικά γεωγραφικά σημεία στην πολιτεία της Καλιφόρνιας (Η.Π.Α.). Σαν αποτέλεσμα αυτού του πειράματος, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, έδειξαν ότι η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία της επιφάνειας της στέγης, για όλα τα κτίρια, μειώθηκε από 33 έως 42 θερμοκρασιακούς βαθμούς. Το τελικό αποτέλεσμα αυτού του πειράματος έδειξαν ότι οι υψηλές ανακλαστικές στέγες των μονώροφων κτιρίων είχαν σαν αποτέλεσμα να προσδώσουν εξοικονόμηση ψυκτικού φορτίου κατά 5 έως 40% και εξοικονόμηση στο φορτίο μέγιστης ζήτησης, ποσοστό που άγγιζε το 5 έως και 10%.



Εικόνα 5.2.2.8: Εκ νέου Επίστρωση Μεμβράνης Λευκού PVC (Πηγή: Akbari et al., 2005).

Πράσινες Οροφές

Μια στέγη κτηρίου που καλύπτεται είτε πλήρως, είτε εν μέρει με ένα στρώμα βλάστησης ονομάζεται πράσινη στέγη/οροφή. Αποτελεί ένα πολυστρωματικό σύνθετο σύστημα το οποίο αποτελείται από στεγανοποιητική μεμβράνη και ένα στρώμα μέσης βλάστησης. Συχνά, οι πράσινες στέγες, περιλαμβάνουν ένα στρώμα φραγμού ρίζας, ένα στρώμα αποστράγγισης και ανάλογα την περιοχή όπου βρίσκεται η κτιριακή εγκατάσταση, αν χρειάζεται, ένα σύστημα απορροής των υδάτων.

Υπάρχουν δυο (2) τύποι πράσινων στεγών, α) εντατικής καλλιέργειας και β) εκτεταμένης καλλιέργειας. Η πρώτη διαθέτει ένα βαθύτερο στρώμα υποστρώματος και με αυτό τον τρόπο επιτρέπει την καλλιέργεια φυτών βαθιάς ρίζας όπως θάμνοι και δέντρα, ενώ, η δεύτερη κατηγορία διαθέτει λεπτότερο στρώμα υποστρώματος

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

βάση του οποίου επιτρέπεται η καλλιέργεια φυτών χαμηλής βλάστησης όπως το γκαζόν και το σέδο (παχύφυτα). Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενη κατηγορία είναι ο τύπος της εκτεταμένης καλλιέργειας διότι μπορεί να εφαρμοστεί πιο ευκολά σε κάθε τύπο στέγης, χωρίς η στέγη να χρειάζεται οποιαδήποτε περαιτέρω τροποποίηση στη δομή της, καθώς επίσης απαιτεί ελάχιστη συντήρηση. Η επιτυχία τους έχει εδραιωθεί κυρίως στα κρύα κλίματα, ωστόσο, για τα πιο θερμά και ξηρά κλίματα χρειάζεται περισσότερη έρευνα για τον τύπο του υλικού του υποστρώματος που θα χρησιμοποιηθεί.

Αυτή η κατηγορία οροφών, δεν έχουν μόνο την ιδιότητα να αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία, αλλά έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν ως ένα επιπλέον θερμομονωτικό στρώμα. Ο βασικός λόγος εγκατάστασης τους αποσκοπεί μόνο στη βελτίωση της θερμικής προστασίας ενός κτιρίου, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι πρέπει να αντικαθιστούν το μονωτικό στρώμα της εκάστης οροφής. Το τυπικό πρόσθετο φορτίο που σχετίζεται με μια εκτεταμένη πράσινη οροφή είναι περίπου 120 έως 150 kg/m². Ένα εύρος κάθετης δύναμης το οποίο βρίσκεται να είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια των περισσότερων κτιριακών εγκαταστάσεων.

Χρειάζεται να αναφερθεί, πως για ένα σύστημα πράσινης στέγης, συνεπάγεται υψηλότερη ετήσια εξοικονόμηση όταν στην οροφή του κτιρίου είναι εγκατεστημένη οροφή χαμηλής μόνωσης και όχι εγκατάσταση οροφής με ενισχυμένη μόνωση. Επίσης, όταν αναφερόμαστε στην ποσότητα περιεκτικότητας σε υγρασία στα μέσα καλλιέργειας (εντατική ή εκτεταμένη καλλιέργεια) σε τέτοιου είδους οροφή, πρέπει να είναι γνωστό ότι η υγρασία επηρεάζει τις μονωτικές ιδιότητες της εγκατάστασης. Δηλαδή, η αύξηση του πάχους του ξηρού αργίλου κατά 100 mm, οδηγεί σε αύξηση της αντίστασης κατά 0,4 W /m²K, ενώ για έδαφος του οποίου η υγρασία άγγιξε το 40% η αύξηση της αντίστασης ήταν μόλις 0,063 m²K/W. Άρα, όσο πιο υγρό είναι το μέσο, τόσο φτωχότερη είναι η μονωτική συμπεριφορά σε σύγκριση με τα ξηρά μέσα καλλιέργειας.

Επομένως, οι πράσινες στέγες αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία πιο αποτελεσματικά από τις περισσότερες συμβατικές στέγες/οροφές. Μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν σε χαμηλό κτίριο εμπορικού χαρακτήρα, στις τροπικές κλιματολογικές συνθήκες της Σιγκαπούρης, επισήμαναν ότι οι πράσινες στέγες κατάφεραν να μειώσουν τη θερμική ακτινοβολία σε μεγάλο βαθμό, έναντι των συμβατικών στεγών της περιοχής (Wong et al., 2003). Ο Liu.K.K.Y., στη μελέτη του για την Καναδική περιοχή του Τορόντο, αναφέρει πως η μέση αύξηση της θερμότητας (καλοκαίρι), καθώς και οι απώλειες θερμότητας (χειμώνα) μειώθηκαν κατά 70 έως 90% και 10 έως 30% αντίστοιχα, για μετρήσεις που έγιναν υπό καθεστώς συστημάτων πράσινων στεγών.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Επίσης, η αποδοτικότητα των πράσινων στεγών σε κτιριακές εγκαταστάσεις γραφείων στην Αθήνα προσομοιώθηκαν και μπόρεσαν να επικυρωθούν από τους Niachou et al., όπου όπως αναφέρεται στην έρευνα τους, παραθέτουν, πως σύμφωνα τους υπέρυθρους θερμογράφους, το εύρος της θερμοκρασίας που αναπτύχθηκαν σε πράσινη οροφή του κτιρίου και στις εξωτερικές επιφάνειες μονωμένων κτιριακών υποδομών, κυμαίνονταν από 26 έως 40 °C, αναλόγως με το είδος της βλάστησης που κάλυπτε το κάθε μέρος. Ανάλογες θερμοκρασίες εντοπίστηκαν ωστόσο και σε γειτονικά κτίρια των οποίων οι οροφές αποτελούνταν κατά κύριο λόγο από δομικά υλικά και μόνο. Εν συνεχεία, αναφέρεται πως οι χαμηλότερες θερμοκρασίες που αντιμετωπίστηκαν, στην προς μελέτη πράσινη οροφή, κυμαίνονταν μεταξύ 26 και 29 °C σε σημεία όπου κυριαρχούσε η πυκνή σκούρα πράσινη βλάστηση. Ενώ, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να κυμαίνονται μεταξύ 36 και 38 °C σε σημεία όπου καλύπτονταν από αραιά κόκκινη βλάστηση, ενώ στο γυμνό έδαφος η θερμοκρασία πλησίασε την τιμή των 40 °C. Ωστόσο, για επιφανειακές θερμοκρασίες των εξωτερικών χώρων μονωμένων κτιρίων χωρίς να υπάρχει πράσινη οροφή, κυμαίνονται από 27 °C για λευκούς μη σκιασμένους τοίχους και 40 °C μη σκιασμένο έδαφος, όπως έδειξε ο υπέρυθρος θερμογράφος. Οι συγγραφείς αναφέρουν πως, δεν υπάρχουν σημαντικές θερμοκρασιακές εναλλαγές μεταξύ των εξωτερικών επιφανειών καλά μονωμένων κτιρίων με ή και χωρίς την προσθήκη πράσινης οροφής για τον Ελλαδικό χώρο. Εν συνεχεία, ολοκληρώνοντας την ερευνά τους καταλήγει πως:

- ✓ η επιφανειακή θερμοκρασία της πράσινης στέγης ποικίλλει ανάλογα με το διαφορετικό είδος βλάστησης που υπάρχει στα διάφορα μέρη της. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες μετρούνται στους χώρους, οι οποίοι καλύπτονται από πυκνή σκούρα βλάστηση και υψηλότερες στους χώρους που καλύπτονται από αραιά κόκκινη βλάστηση ή μόνο άργιλο.
- ✓ οι εκτιμώμενες διάφορες της εξωτερικής θερμοκρασίας της επιφάνειας, που καλύπτονται ή όχι από την πράσινη οροφή ποικίλλουν ανάλογα με το είδος της κατασκευής των κτιρίων. Το αποτέλεσμα της πράσινης οροφής είναι προφανές προτιμότερο για τις παλιότερες κατασκευές, δηλαδή για εκείνες οι οποίες διαθέτουν μέτρια ή χωρίς μόνωση.
- ✓ η πράσινη οροφή συμβάλλει ουσιαστικά στη διαμόρφωση του θερμοκρασιακού αέρα στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου, όπου αυτή έχει εγκατασταθεί. Κατά τη θερινή περίοδο οι εξωτερικές επιφάνειες με την των κτιρίων που διαθέτουν πράσινη στέγη θερμαίνονται λιγότερο από τις παραδοσιακές επίπεδες στέγες. Εκτός αυτού, κατά την θερινή περίοδο οι φυτεμένες στέγες έχουν την ιδιότητα να μειώνουν τις θερμικές απώλειες.

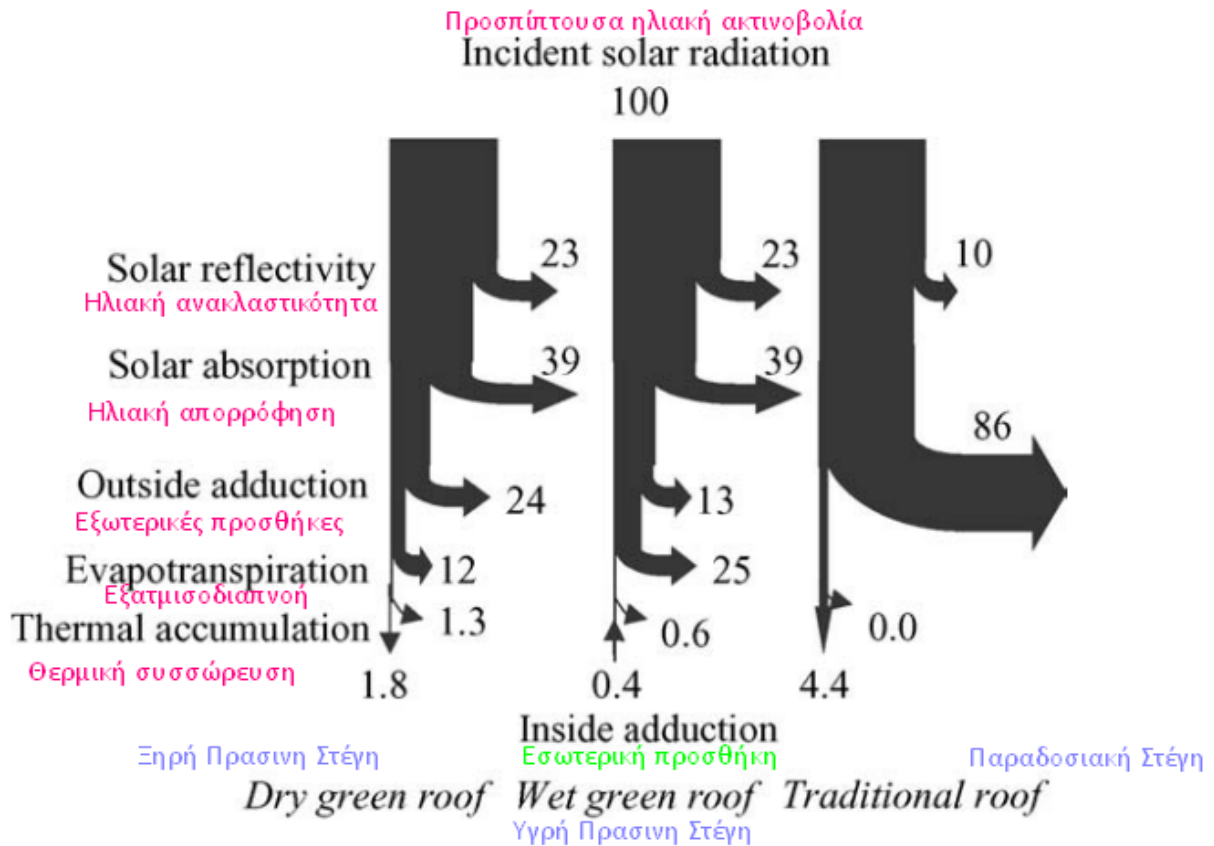
Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

- ✓ από τη μετρούμενη θερμοκρασία του αέρα στου εσωτερικούς χώρους με ή χωρίς πράσινη οροφή, βρέθηκε μια σημαντική διακύμανση. Κατά τη διάρκεια μίας τυπικής θερινής ημέρας, η θερμοκρασία εσωτερικού αέρα που μπορεί να μετρήθηκε (κτίριο πράσινη οροφή) ενώ στο κτίριο δεν υπάρχει κλιματισμός ήταν 30 °C ως ανώτερη τιμή. Αντίθετα, κτίρια χωρίς τέτοιου είδους οροφής κατά την ίδια περίοδο και υπό τις ίδιες συνθήκες παρουσίασαν υψηλότερες θερμοκρασίες (>30 °C).
- ✓ η μεταφορά θερμοκρασίας σε επιφάνειες που δεν καλύπτονται εξωτερικά από πράσινη οροφή είναι μεγαλύτερη από τις περιπτώσεις όπου επιφάνειες καλύπτονται. Στις περιπτώσεις των μη μονωμένων στεγών με ή χωρίς πράσινη οροφή, οι εκτιμώμενες διαφορές των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας κυμαίνονταν από 6 έως 16 W/m²K. Ομοίως, για τις μέτρια μονωμένες στέγες οι διαφορές των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας είναι πολύ χαμηλότερες από 0,02 έως 0,06 W/m²K. Ως αποτέλεσμα, προκύπτει ότι η απόδοση θερμομόνωσης της πράσινης οροφής γίνεται σημαντική όταν στις κτιριακές κατασκευές έχουμε χαμηλή ή καθόλου μόνωση.
- ✓ τα εκτιμώμενα θερμικά φορτία και τα ψυκτικά φορτία βρίσκονται χαμηλότερα στις εγκαταστάσεις με πράσινη οροφή, ανεξάρτητα από το είδος της μόνωσης της οροφής. Η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας κατά την διάρκεια ενός ολόκληρου έτους υπολογίστηκε στην περίπτωση των μη μονωμένων κτιρίων, όπου άγγιξε το 37%, ενώ από την στιγμή που προστέθηκε νυχτερινός αερισμός (με 10 ACH) η εξοικονόμηση αυξήθηκε κατά 11% (48%).
- ✓ ομοίως, η συνολική ενεργειακή κατανάλωση ενέργειας στην περίπτωση κτιριακών υποδομών που διέθεταν μεσαία κατηγορία μονωτικής κάλυψης κυμάνθηκε από 4% στα βασικό σενάριο της έρευνας (χωρίς νυχτερινό αερισμό) έως και το 7% με το δεύτερο εναλλακτικό σενάριο (νυχτερινό αερισμός με 10 ACH).
- ✓ τέλος, η επίδραση των πράσινων στεγών στην εξοικονόμηση ενέργειας των καλά μονωμένων κτιρίων βρίσκεται να είναι σχεδόν μικρότερη από 2%.

Στην παρακάτω εικόνα 5.2.2.8 απεικονίζονται τα διάφορα φαινόμενα που εμπλέκονται στην ενεργειακή ισορροπία της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται από μια ξηρή (χωρίς ίχνος υγρασίας στο αργιλούχο χώμα) πράσινη οροφή, μια υγρή και μια παραδοσιακή. Αν και οι πράσινες στέγες υγρού εδάφους είναι μειονεκτικές καθώς είναι κακοί θερμομονωτές, αποκτούν πλεονέκτημα στα θερμά και ξηρά κλίματα όπου η εξατμισοδιαπνοή είναι υψηλή. Οι υγρές πράσινες στέγες έχουν σχεδόν διπλάσια ποσότητα εξατμισοδιαπνοής σε σύγκριση με τις ξηρές, κάνοντας

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

τις να απομακρύνουν πραγματικά τη θερμότητα από το κτίριο ενεργώντας ως παθητικό σύστημα ψύξης.



Εικόνα 5.2.2.9: Σύγκριση Ανταλλαγής Ενέργειας της Ξηρής, Υγρής και παραδοσιακής στέγης κατά την θερινή περίοδο (Πηγή προσαρμοσμένο από: Lazzarin et al., 2005).

Φωτοβολταϊκές Στέγες

Έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες τα τελευταία χρόνια για την ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών (PV) στα κτίρια. Ειδικά, σε χώρες όπου η χρήση γης βρίσκεται να είναι σημαντικός περιορισμός για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών, τη λύση έρχεται να δώσει το ενσωματωμένο, στο κτίριο, φωτοβολταϊκό πάνελ, στο σημείο της οροφής, το οποίο προσφέρει μια αποτελεσματική λύση αντικαθιστώντας τα συμβατικά υλικά και διευκολύνει παράλληλα την παραγωγή ενέργειας και την προστασία του κτιρίου από τον καιρό. Τα φωτοβολταϊκά κεραμίδια, όπως θα μπορούσαμε να τα ονομάσουμε, αντικαθιστούν το υλικό στέγης και εγκαθίστανται απευθείας στη δομή της οροφής, κατασκευαστικά αποτελούνται από πλάκες τσιμέντου οι οποίες έχουν κολλημένα πάνω τους απευθείας κρυσταλλικά ηλιακά στοιχεία πυριτίου. Ένας άλλος τύπος

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

συστήματος ενσωματωμένης οροφής έχει τοποθετημένο πάνω του ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (γυάλινο ελασματοποιημένο γυαλί) το οποίο βρίσκεται τοποθετημένο πάνω σε ένα πλαστικό δίσκο στήριξης ο οποίος αγκυροβολείται στο τμήμα της οροφής, αυτή η κατασκευή αποτελεί μία από τις πιο ευρέως διαδεδομένες περιπτώσεις εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος λόγω του χαμηλού του κόστους και της φυσικής ευελιξίας τους. Επίσης, άλλοι τύποι φωτοβολταϊκών στεγών αποτελούν τα λεγόμενα «σάντουιτς» φωτοβολταϊκής στέγης και οι λειτουργίες οι οποίες μπορεί να προσφέρει είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ταυτόχρονα θερμομόνωση προς την κτιριακή εγκατάσταση. Επιπρόσθετα, τα συστήματα οροφής με βάση τα φωτοβολταϊκά στοιχεία εξακολουθούν να είναι ευρέως εγκατεστημένα σε κεκλιμένες ή επίπεδες στέγες, σε αυτές τις περιπτώσεις είτε είναι απευθείας στερεωμένα σε μεμβράνη ανθεκτική στις καιρικές συνθήκες ή με τη βοήθεια συστήματος πλαισίου αλουμινίου με δίσκους αποστράγγισης τα οποία εδράζονται πάνω από τα πλακάκια της υπάρχουσας μόνωσης οροφής του κτιρίου.

Ψύξη Οροφής Μέσω Εξάτμισης

Στην περίπτωση της ψυχόμενης οροφής μέσω εξάτμισης, η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης χρησιμοποιείται για την ψύξη μιας στέγης μιας κτιριακής εγκατάστασης. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μεθόδων μέσω εξάτμισης. Οι τεχνικές που βρίσκεται να είναι οι καταλληλότερες για τροπικά κλίματα είναι οι τύποι μικρές λίμνες οροφής και οι βρεγμένοι σάκοι με λινάτσα.

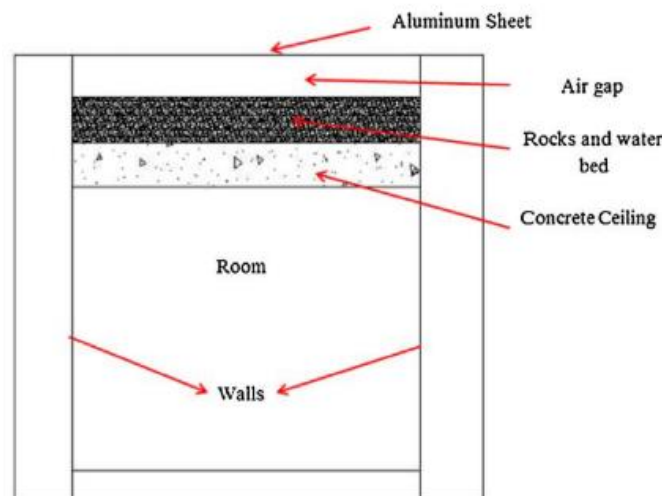
Η μικρή λίμνη οροφής, όπως προαναφέρθηκε, είναι μια ρηχή δεξαμενή νερού πάνω από μια επίπεδη οροφή με σταθερές πλευρικές θερμομονώσεις ενώ στο πάνω μέρος διαθέτει μια κινητή θερμομονωτική επιφάνεια. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, το πάνω μέρος, η κινητή μόνωση καλύπτει τη δεξαμενή νερού κατά τη διάρκεια της ημέρας, προστατεύοντας την με αυτό τον τρόπο από την έκθεση της από την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ η ίδια βρίσκεται ελεύθερα εκτεθειμένη στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της νύχτας για νυκτόβια ψύξη του νερού, μέσω αυτής της διαδικασίας προσφέρεται στο κτίριο μείωση της θερμοκρασίας η οποίας μπορεί να αγγίζει και του 20 °C. Κατά του χειμερινούς μήνες η διαδικασία κάλυψης της δεξαμενής λειτουργεί εντελώς διαφορετικά, δηλαδή ανοιχτή κατά τη διάρκεια της ημέρας για να μπορεί να συλλέγει θερμικά φορτία μέσω της ακτινοβολίας του ηλίου και κατά τη διάρκεια της νύχτας καλύπτεται για να μπορέσει να διατηρήσει αυτή την ακτινοβολία την οποία και εκπέμπει προς το εσωτερικό του κτιρίου.

Οι σάκοι από βρεγμένη λινάτσα είναι σάκοι κατ' ουσίας κατασκευασμένοι από σπάγκο, οι οποίοι εμποτίζονται με νερό και τοποθετούνται επί των στεγών ώστε να παρέχουν ψύξη μέσω της εξάτμισης του νερού, κυρίως σε περιοχές όπου επικρατούν συνθήκες ζέστης και ξηρασίας, αν και με αυτή την μέθοδο υπάρχει η

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

δυνατότητα να μειωθεί η θερμοκρασία οροφής έως και 15 °C, η μέθοδος αυτή υποφέρει από διαθεσιμότητα συνεχόμενης τροφοδοσίας νερού.

Η μέθοδος εξατμιστικής αντανάκλασης ή Skytherm, είναι μια από τις προτιμότερες μεθόδους για περιοχές με κλιματολογικές συνθήκες όπου παρουσιάζουν ξηρασία και υψηλές θερμοκρασίες. Ένα τέτοιο σύστημα εξατμισσοανακλαστικής στέγης παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα 5.2.2.10, το οποίο αποτελείται από υψηλής θερμικής χωρητικότητας σε νερό κροκαλοειδή πέτρες στο πάνω μέρος της οροφής (από σκυρόδεμα), ένα ανακλαστικό φύλλο αλουμινίου το οποίο εμπεριέχεται στο πάνω τμήμα της οροφής και ένα κενό μεταξύ της επιφάνειας του νερού και του ανακλαστήρα αλουμινίου. Η δυνατότητα αυτού του είδους στέγης έχει την ικανότητα να μειώσει την εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου έως και 8 °C.



Εικόνα 5.2.2.10: Σκαρίφημα Δομής Οροφής-Κτιρίου Ανακλαστικής Εξάτμισης ή Skytherm (Πηγή: Sadineni et al., 2011).

Κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο, το οποίο αφορούσε κατά κύριο λόγο τις εναλλακτικές λύσεις ανά τομέα (τοιχώμα, υαλοπίνακες/ανοίγματα, στέγες/οροφές) πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα των τεχνολογιών παθητικής εξοικονόμησης ενέργειας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις τοπικές κλιματικές συνθήκες. Αυτό χρειάζεται να εξεταστεί σοβαρά σε οποιοδήποτε στάδιο σχεδιασμού. Σε κλίματα, τα οποία επικρατεί κρύο, η θερμική μόνωση και η παθητική ηλιακή αύξηση θερμότητας είναι συνήθως τα πιο αποτελεσματικά μέτρα. Ο νυκτερινός αερισμός και η παθητική θερμική αποθήκευση είναι επιθυμητές κατά κύριο λόγο σε μέτρια/μεσογειακά κλίματα όπου υπάρχουν μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

Ωστόσο, στα τροπικά κλίματα, η ψύξη του εδάφους, η ηλιακή σκίαση και οι πράσινες οροφές τείνουν να είναι οι καλύτερες επιλογές για παθητική ψύξη.

5.3 Ενεργειακά Αποδοτικά Συστήματα Εξυπηρέτησης Κτιριακών Εγκαταστάσεων

Η θέρμανση, ο εξαερισμός και ο κλιματισμός (HVAC), είναι η τεχνολογία περιβαλλοντικής άνεσης εσωτερικών χώρων (καθώς και των οχημάτων), το ζεστό νερό οικιακής χρήσης (ZNX), ο φωτισμός και οι συσκευές αντιπροσωπεύουν κύριο λόγο το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας χρήσης όσων αφορά τα κτιριακά συστήματα παροχών. Πιο συγκεκριμένα, τα συστήματα HVAC αντιπροσωπεύουν σχεδόν το ήμισυ της καταναλισκόμενης ενέργειας ενός κτιρίου, καθώς αντίστοιχα αντιπροσωπεύουν και περίπου το 10 έως 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στις ανεπτυγμένες χώρες, ποσοστό το οποίο αποδεικνύει την προοπτική για μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας. Επομένως, η λήψη αποφάσεων για ενεργειακά αποδοτικά μέτρα για τα κτιριακά συστήματα παροχών αξίζουν μια προσέγγιση για επίτευξη των κτιριακών υποδομών που σχεδιάστηκαν για να αποτελούν τα κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (ZEB).

5.3.1 Συστήματα Θερμικής Άνεσης HVAC

Τα βασικά τμήματα τα οποία αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού κτιρίου είναι η θέρμανση του, ο εξαερισμός του και ο κλιματισμός, αυτά τα τρία τμήματα καθορίζουν τον όρο του συστήματος θερμικής άνεσης HVAC. Αυτό το σύστημα παρέχει θέρμανση και ψύξη τόσο σε οικιακές κατοικίες, όσο και σε εμπορικά κτίρια. Τα συστήματα HVAC μπορούμε να τα συναντήσουμε σε πολλά και διαφορετικά μέρη, από μονοκατοικίες έως και σε υποβρύχια, γενικά όπου υπάρχουν ανάγκες να υπάρχει η αίσθηση άνεσης στον περιβάλλοντα χώρο. Τα τελευταία χρόνια η κατηγορία των HVAC γίνεται όλο και περισσότερο πιο δημοφιλής με αποτέλεσμα, να αποτελούν αποκλειστικά την κύρια πηγή θέρμανσης και ψύξης σε νεόκτιστα κτίρια προς ιδιωτική χρήση. Αυτά τα συστήματα, κατά βάση χρησιμοποιούν καθαρό (νωπό) αέρα, όπου μέσω επεξεργασίας του, παρέχεται σε υψηλά ποιοτικά χαρακτηριστικά στους έκαστους εσωτερικούς χώρους ζήτησης καθαρού αέρα προς κατανάλωση.

Ένα από τα βασικότερα και πιο καθοριστικό τμήμα μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι ο εξαερισμός. Ο λόγος γίνεται διότι, ο εξαερισμός αποτελεί τη μόνη διαδικασία αυτό του συστήματος όπου η διαδικασία αντικατάστασης ή ανταλλαγή του αέρα εντός ενός χώρου με αποτέλεσμα να παρέχεται καλύτερη ποιότητα αέρος στον εσωτερικούς χώρους, ενώ παράλληλα έχει την ιδιότητα να απομακρύνει την υγρασία, τον καπνό, τις οσμές, της σκόνης, των αερομεταφερομένων βακτηρίων, του διοξειδίου του άνθρακα καθώς και άλλων

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

αερίων, καθώς και να διατηρεί τον έλεγχο της θερμοκρασίας και την αναπλήρωση του οξυγόνου στο χώρο.

Οι στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας για ενεργειακά αποδοτικά συστήματα HVAC αποτελούνται κυρίως από ψύξη με εξάτμιση, ενεργή θερμική αποθήκευση, ανάκτηση θερμότητας, θέρμανση/ψύξη με ακτινοβολία, μέσω chilled beams, μεταβλητού όγκου αέρα και μεταβλητής ροής ψύξης. Η ψύξη μέσω εξάτμισης θεωρείται μια από τις πιο οικονομικά αποδοτικότερες μεθόδους σε σύγκριση με τις κοινές εφαρμογές κλιματισμού συμπίεσης ατμών (κοινές κλιματιστικές μονάδες). Οι εξατμιστήρες τεχνικές ψύξης δροσίζουν τον αέρα, ενώ παράλληλα αυξάνουν την περιεκτικότητα της υγρασία του, με την ψυκτική ισχύ να περιορίζεται στην θερμοκρασία υγρού βολβού από τον προπαρασκευαστή αέρος. Για αυτό τον λόγο, η ψύξη μέσω εξάτμισης βρίσκεται να είναι η καταλληλότερη κάτω από θερμές και ξηρές κλιματολογικές συνθήκες.

Τα ενεργά συστήματα θερμικής αποθήκευσης έχουν την δυνατότητα να εναλλάσσουν την κατανάλωση ενέργειας, από περιόδους υψηλού φορτίου (αιχμής) σε περιόδους χαμηλού φορτίου (εκτός αιχμής), αποφεύγοντας με αυτό τον τρόπο να υπάρχουν φορτία αιχμής στην εγκατάσταση με αποτέλεσμα τις υψηλές χρεώσεις της εγκατάστασης, επίσης, καταφέρνουν να εξισορροπούν την ενεργειακή παροχή και την ενεργειακή ζήτηση της μονάδας. Ο πάγος και το ψυχόμενο νερό αποτελούν τις δυο πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μέσα προς θερμική αποθήκευση. Ο πάγος ή το ψυχόμενο νερό που αποθηκεύονται σε δεξαμενές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ψύξη του εσωτερικού αέρα κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής.

Οι τεχνικές ανάκτησης θερμότητας χρησιμοποιούν εναλλάκτες θερμότητας για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του καθαρού νωπού αέρα και του αποβαλλόμενου αέρα που έχει ήδη χρησιμοποιηθεί, μέσω αυτού του τρόπου δίνεται η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της ανάκτησης μιας σημαντικής ποσότητας ενέργειας. Υπάρχουν δυο τύποι τεχνικών ανάκτησης θερμότητας:

- i. ανάκτηση αισθητής θερμότητας
- ii. και ανάκτηση θερμότητα ενθαλπίας.

Τα τρέχοντα συστήματα ανάκτησης θερμότητας μπορούν να ανακτήσουν το 60 έως 95% της σπατάλης που γίνεται από θέμα ενέργειας και έχουν την δυνατότητα να παρέχουν επιπλέον αερισμό.

Τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης με ακτινοβολία έχουν αυξήσει την δημοτικότητα του λόγω της υψηλής θερμικής άνεσης που προσφέρουν, σε σχέση με την ενεργειακή απόδοση, του χαμηλού θορύβου και του περιορισμένου χώρου που καταλαμβάνουν. Τα συστήματα ακτινοβολίας οφείλουν αν είναι ενσωματωμένα

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

με τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου, όπως είναι η θέρμανση δαπέδου, εναλλάκτες ψύξης οροφής και θερμικά ενεργοποιημένα συστήματα κτιρίων.

Τα συστήματα θέρμανσης δαπέδου συνήθως εφαρμόζονται σε κλιματικές συνθήκες όπου επικρατεί το κρύο, ενώ οι ψυκτικοί εναλλάκτες οροφής χρησιμοποιούνται ευρέως σε κλιματικές συνθήκες όπου επικρατεί ήπια ή ζεστή θερμοκρασία. Τα συστήματα ψύξης με ακτινοβολία δεν μπορούν να περιορίσουν την υγρασία του αέρα και συνεπώς οδηγούνται σε συμπύκνωση των υδρατμών όταν προσπίπτουν σε επιφάνειες ακτινοβολίας, ειδικά, όταν χρησιμοποιούνται σε κλιματικές ζώνες όπου η ζέστη και υγρασία κυριαρχούν. Σε αυτή την περίπτωση ξηραντική αφυγραντική ουσία θεωρείται συμπληρωματικό στοιχείο στα συστήματα ψύξης με ακτινοβολία για την αποφυγή παρουσίας υγρασίας στο χώρο του κτιρίου. Παράλληλα, σε περιπτώσεις κλίματος όπου επικρατεί ζέστη και υγρασία, είναι καλύτερο να αντιμετωπίζετε ξεχωριστά η αισθητή θερμότητα και η λανθάνουσα θερμότητα του χώρου, βάση ενός σχεδίου κλιματισμού, για εξοικονόμηση ενέργειας και θερμικής άνεσης του χώρου. Ακόμη, τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης με ακτινοβολία μπορούν επίσης να συζευχθούν με άλλα συστήματα εξαερισμού για την απομάκρυνση της λανθάνουσας θερμότητας όπως ο μετατοπισμένος αερισμός. Ο Chakroun et al., μελέτησε την απόδοση ενός συνδυασμένου συστήματος ψύξης οροφής και εξαερισμού σε ένα γραφείο δοκιμών στο Κουβέιτ. Η κατανάλωση ενέργειας που παρουσιάστηκε άγγιξε το 15-20%, η οποία βρέθηκε να είναι χαμηλότερη από ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης/ψύξης με βασικό μέσο ψύξης το νερό. Σε αντίθεση, τα μη συνδυασμένα συστήματα θέρμανσης/ψύξης με ακτινοβολία, είναι τεχνολογίες οι οποίες δεν έχουν το δυναμικό ώστε να μπορούν να το μεγαλύτερο μέρος της ψύξης και της θέρμανσης τους μέσω χαμηλού όγκου αερισμό. Τα συστήματα ψυκτικής δέσμης (Chilled Beams), είναι τα πλέον κατάλληλα σε κτιριακές μονάδες τα οποία καθορίζονται από υψηλά αισθητά φορτία και ενσωματώνονται απρόσκοπτα με εξαερισμό μετατόπισης ή διανομή αέρος από το σημείο του δαπέδου.

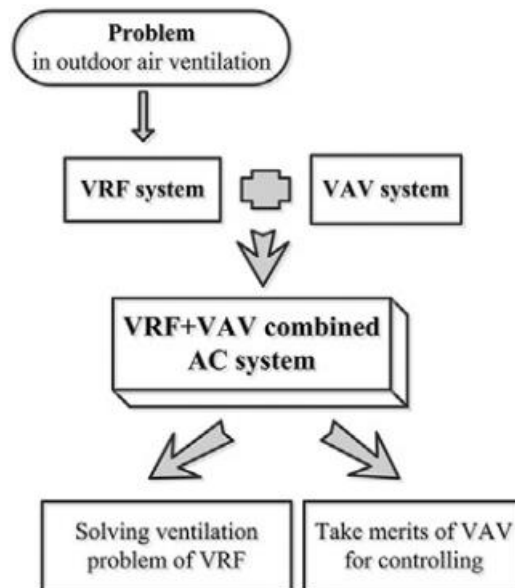
Τα συστήματα κλιματισμού τα οποία βασίζονται στην φιλοσοφία των συστημάτων μεταβλητού όγκου αέρα (VAV) χαρακτηρίζεται ως ένα από τα πιο ενεργειακά αποδοτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας. Τα συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα διατηρούν την θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικού του χώρου ενώ παράλληλα μεταβάλλει τον παρεχόμενο όγκο αέρος αντί της θερμοκρασίας. Σε σύγκριση με τα συστήματα παροχής σταθερού όγκου αέρα (CAV), τα συστήματα μεταβλητού όγκου παρέχουν μόνο τον απαραίτητο εξαερισμό σύμφωνα με ένα μεταβαλλόμενο φορτίο, επομένως βρίσκεται να είναι περισσότερο αποτελεσματικά για συνθήκες μερικού φορτίου. Προφανώς, μια βέλτιστη στρατηγική ελέγχου είναι κρίσιμη για να καταφέρει να βελτιώσει την συνολική

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

εξοικονόμηση ενέργειας μέσω των συστημάτων μεταβλητού όγκου. Από μελέτες που έγιναν, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα συστήματα μεταβλητού όγκου κατάφεραν να εξοικονομήσουν περίπου το 7-8% της πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με ένα σύστημα σταθερού όγκου, με ισοδύναμο ποιοτικό αέρα στο εσωτερικού του χώρου και θερμική άνεση.

Τα συστήματα μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου, έχουν την ιδιότητα να αλλάζουν το ρυθμό ροής του ψυκτικού μέσου μέσω συμπιεστών μεταβλητής ταχύτητας (Inverter) και ηλεκτρονικών βαλβίδων διαστολής, τα οποία και βρίσκονται σε κάθε εσωτερική μονάδα για να αφαιρέσουν το αντίστοιχο θερμικό ή ψυκτικό φορτίο. Αυτού του είδους τα συστήματα είναι κατάλληλα για κτιριακές εγκαταστάσεις γραφείων, σχολείων, ξενοδοχείων ακόμη και νοσοκομείων σε σημεία όπου απαιτείται εξατομικευμένος κλιματισμός για κάθε δωμάτιο. Αρνητική συνέπεια αυτών των συστημάτων είναι ότι το κόστος των συστημάτων αυτών είναι πολύ υψηλός σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα ψύξης 200 τόνων για ένα εμπορικό κτίριο, τα συστήματα μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου, θα μπορούσε να εξοικονομήσει το 30-40% της ενέργειας που θα χρησιμοποιούνταν από ένα αντίστοιχο σύστημα ψύξης ψυχρού αέρα αποσβένοντας το κόστος σε μία περίοδο 18 μηνών (1,5 έτη). Σε πρόσφατη μελέτη που διεξάχθηκε, έδειξε πως ένα συνδυασμένο σύστημα μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου (VRF) με ένα σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα (VAV), έλυσε το πρόβλημα που αντιμετωπίζει το σύστημα μεταβλητής ροής χρησιμοποιώντας εξαερισμό με πρόσμιξη εξωτερικού αέρα (Εικόνα 5.3.1). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν ότι η βέλτιστη στρατηγική ελέγχου συνέβαλε σε εξοικονόμηση ενέργειας της τάξεως του 32,17% για την περίοδο του καλοκαιριού και 2,47% για την περίοδο του χειμώνα για το συνδυασμένο σύστημα που προαναφέρθηκε (VRF-VAV) (Zhu et al., 2015).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 5.3.1: Συνδυαστικό Σύστημα Μεταβλητής Ροής Ψυκτικού Μέσου (VRF) και Μεταβλητού Όγκου (VAV) (Πηγή: Zhu et al., 2015).

5.4 Άλλα Κτιριακά Συστήματα Υποστήριξης

5.4.1 Ηλιακοί Συλλέκτες (Ηλιακοί Θερμοσίφωνες)

Τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης για οικιακά συστήματα ζεστού νερού χρήσης (ZNX), βασίζεται κυρίως στην αξιοποίηση της ηλιακής θερμικής ενέργειας και στην ενσωμάτωση των συστημάτων HVAC.

Οι ηλιακοί συλλέκτες (θερμοσίφωνες) έχουν την δυνατότητα να μειώσουν τόσο την ενεργειακή κατανάλωση όσο και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, που απαιτούνται για τη θέρμανση του νερού. Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες έχουν εμπορευματοποιηθεί παγκοσμίως και έχουν συμβάλει σημαντικά τόσο σε εγχώριους όσο και σε βιομηχανικούς τομείς σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο, με την κυριαρχία της Κίνας να είναι εμφανείς καθώς το παγκόσμιο μερίδιο αγοράς για ηλιακούς θερμοσίφωνες να αγγίζει το μερίδιο του 70% και η αθροιστική χωρητικότητα τους να ανήλθε σε 217 GWTh για το 2013 και συνολική εγκατεστημένη επιφάνεια 310.000.000 m².

Η ταξινόμηση των ηλιακών θερμοσιφώνων βασίζεται κυρίως στον τύπο του υγρού εργασίας ή στο σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης θερμικής ενέργειας του συστήματος. Μπορούν κάλλιστα να ταξινομηθούν και σε άλλες δυο κατηγορίες, εκτός του τρόπου λειτουργίας τους, ως παθητικά ή ενεργητικά συστήματα κυκλοφορίας ανάλογα με του τύπους κυκλοφορίας.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Τα παθητικά συστήματα κυκλοφορίας, χρησιμοποιούν θερμοσυφωνικές μεθόδους, δηλαδή ανταλλαγή θερμότητας βασισμένη σε φυσική μεταφορά βάση της οποίας ένα ρευστό κυκλοφορεί χωρίς την ανάγκη μηχανικής αντλίας. Η ενσωματωμένη αποθήκευση στο τμήμα των συλλεκτών του ηλιακού είναι ένα παθητικό σύστημα που χρησιμοποιεί τον ηλιακό συλλέκτη ως συνδυασμένη δεξαμενή αποθήκευσης και ως απορροφητή για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας. Μέσω αυτής της τεχνικής δίνεται η δυνατότητα μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων έως και 40%.

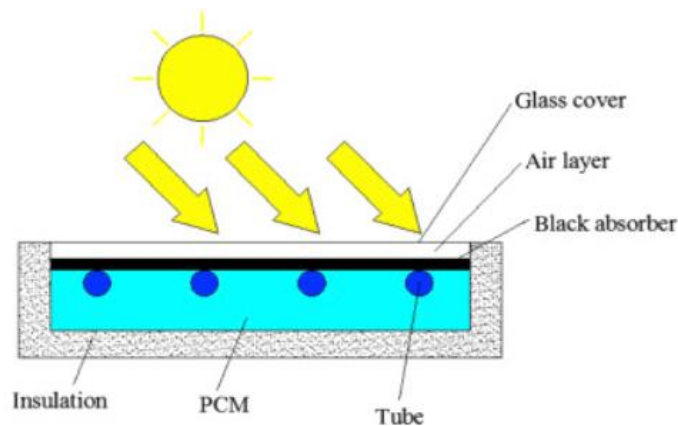
Ωστόσο, οι ενσωματωμένοι συλλέκτες αποθήκευσης των ηλιακών θερμοσιφώνων μπορεί να υποφέρουν από υψηλές θερμικές απώλειες κατά τη διάρκεια της νύχτας ή συνθήκες συννεφιάς. Για να ξεπεραστεί αυτό το φαινόμενο ελλείματος, καταλληλότερη μέθοδος για την προστασία τους από τέτοιου είδους θερμικές απώλειες είναι τα υλικά αλλαγής φάσης (Phase Change Materials, PCM). Τα υλικά αλλαγής φάσης, ονομάζονται επίσης λανθάνον υλικά αποθήκευσης θερμότητας, έχουν υψηλή ικανότητα αποθήκευσης και έχουν την ιδιότητα να απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας εντός σταθερού ή στενού εύρους θερμοκρασίας. Οι ιδιότητες που καθιστούν τα PCM ελκυστικά για τα συστήματα ηλιακών θερμοσυσσωρευτών είναι το μικρό τους μέγεθος και ο μικρός όγκος που καταλαμβάνουν κατά τη διάρκεια μιας αλλαγής φάσης. Επίσης, τα ηλιακά συστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν PCM έχουν την δυνατότητα να μπορούν να χωριστούν σε δυο τύπους:

- αυτά όπου τα PCM συνδέονται άμεσα με τον ηλιακό συλλέκτη
- και εκείνα όπου η μονάδα αποθήκευσης είναι πλήρες με PCM.

Υλικά Αλλαγής Φάσης (PCM)

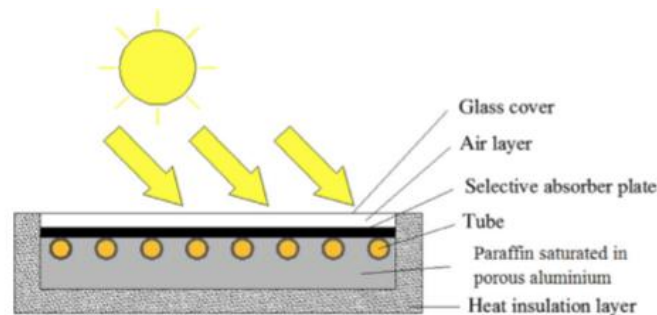
Ένα σχηματικό διάγραμμα ενός ηλιακού συλλέκτη επίπεδης πλάκας που περιλαμβάνει υλικά αλλαγής φάσης (PCM) δίνεται στο παρακάτω σχήμα 5.4.1.1. Το νοθευμένο PCM περιβάλλει τους σωλήνες του ηλιακού συλλέκτη και καλύπτεται από μαύρο απορροφητικό υλικό. Συνήθως, το σύστημα μπορεί να διατηρήσει μια θερμοκρασία λειτουργίας του συλλέκτη κάτω από τους 40 °C για διάρκεια 80 λεπτών με σταθερή ηλιακή ακτινοβολία η οποία αγγίζει τα 1000 Wm⁻². Τέτοιου είδους συστήματα έχει αποδειχθεί ότι η αποδοτικότητα τους έχει την δυνατότητα να βρίσκεται μεταξύ 42% και 55% υψηλότερη από εκείνη των συμβατικών συστημάτων ηλιακών συλλεκτών (Wang et al., 2018).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 5.4.1.1: Σχηματική Απεικόνιση Επίπεδου Ηλιακού Συλλέκτη με Υλικά Αλλαγής Φάσης (Πηγή: Wang et al., 2018).

Ωστόσο, μια πιο εκλεπτυσμένη έκδοση αυτού του τύπου ηλιακού συλλέκτη (SWH) διερευνήθηκε από τους Chen et al, (Εικόνα 5.4.1.2) το οποίο έχει τους σωλήνες του ηλιακού συλλέκτη επίπεδης πλάκας ενσωματωμένους μέσα σε πολύ πορώδες αφρό αλουμινίου συμπεριλαμβανομένου παραφίνης (παράγωγο υδρογονανθράκων), αυτή η εκδοχή του συστήματος βρίσκεται ως και η πιο αποδοτικότερη σε σχέση με το πρωτότυπο σύστημα (χωρίς αφρό αλουμινίου).



Εικόνα 5.4.1.2: Σχηματική Απεικόνιση Βέλτιστης Λύσης Επίπεδου Ηλιακού Συλλέκτη Με Πορώδες Αφρό Αλουμινίου και Παραφίνης (Πηγή: Wang et al., 2018).

Εν συνεχεία, οι μέθοδοι ενεργής κυκλοφορίας χρησιμοποιούν αντλία ή έλικα για τον εξαναγκασμό της κυκλοφορίας. Οι ηλιακά υποβοηθούμενες αντλίες θερμότητας αποτελούν ενεργητικές τεχνικές για τις εφαρμογές των ηλιακών συλλεκτών, οι οποίες χρησιμοποιούν έναν ηλιακό συλλέκτη ως εξατμιστή μεταφέροντας θερμική ενέργεια προς αποθήκευση στο σύστημα για ζεστό νερό χρήσης (ZNX). Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη αυτών των ενσωματωμένων συστημάτων, τόσο για την παραγωγή HVAC και ZNX διαμέσου παροχής υβριδικών ενεργειακών λύσεων κτιρίων μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

(ΚΜΕΙ). Τα ενσωματωμένα συστήματα HVAC και ZNX είναι ικανά να παρέχουν πολλαπλές ενεργειακές εξόδους, όπως ψύξη και θέρμανση του χώρου, παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα συνδυασμένα συστήματα ψύξης, θέρμανσης και ισχύος, έχουν την ικανότητα να παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική ενέργεια και θερμική ενέργεια, μειώνοντας παράλληλα την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και τις εκπομπές άνθρακα. Επίσης, τα συστήματα αυτά μπορούν να ενσωματωθούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή, βιοενέργεια, αντλία θερμότητας) ως ολιστική λύση για την τροφοδοσία των ΚΜΕΙ.

5.4.2 Συστήματα Φωτισμού

Τα συστήματα φωτισμού αποτελούν έναν ακόμη σημαντικό καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας των κτιριακών εγκαταστάσεων, ιδίως όταν αφορά κτίρια γραφείων. Το συνδυασμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, για φωτισμό σε συνάρτηση με τα φορτία ψύξης, αντιπροσωπεύουν σχεδόν τη μισή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του κτιριακού τομέα. Οι γενικοί μέθοδοι για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας μέσω του τεχνητού φωτισμού, αποτελούν προηγμένες τεχνολογίες φωτισμού και παράλληλα στρατηγικές συλλογής φυσικού φωτός. Οι διόδοι εκπομπής (τεχνητού) φωτός (LED) αποτελούν μια από τις πιο κυρίαρχες τεχνολογίες τεχνητού φωτισμού, λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους και της εξαιρετικής αποτελεσματικότητας του φωτισμού που παρέχουν.

Ωστόσο, θα πρέπει να αναφερθεί πως περίπου το 75-85% χαμηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που αναπαράγεται από τις διόδους τεχνητού φωτισμού (LED) δημιουργεί μέσω συναγωγής θερμότητα, η οποία προσδίδει αρνητικά αποτελέσματα λόγω της αύξησης των ψυκτικών φορτίων των εσωτερικών χώρων μιας κτιριακής εγκατάστασης. Η συγκομιδή φυσικού φωτός (ημέρας) βρίσκεται επίσης να είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς μέσω αυτού, δίνεται η δυνατότητα να μειωθεί σημαντικά, χρησιμοποιώντας αυτόματα συστήματα ανοίγματος/κλεισίματος φωτισμού ανάλογα με την ποιότητα και τις συνθήκες του φυσικού φωτός (μέρα, νύχτα, συννεφιά) ή μέσω ρυθμιστών έντασης του φωτός (dimmer) κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

Οι Chen et al., αναφέρουν στην πειραματική τους προσομοίωση, για τη ποσότητα εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας από το δυναμικό του φυσικού φωτισμού και του φαινομένου της μείωσης τεχνητού φωτισμού στην θερμική κατανάλωση όπου προσομοιώθηκε χρησιμοποιώντας το Energy Plus. Έδειξε ότι η θερμική κατανάλωση αυξήθηκε, καθώς υπήρξε μείωση του τεχνητού φωτισμού. Το δυναμικό εξοικονόμησης της ηλεκτρικής ενέργειας που προήλθε μέσω της χρήσης κέντρων ελέγχου on/off, όπως επίσης μέσω ρυθμιστών φωτισμού (dimmer) σε

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

συνδυασμό με το φυσικό φως (φως ημέρας), άγγιξε το 36,1% και 41.5% για τον υφιστάμενο σχεδιασμό φυσικού φωτισμού, ενώ παράλληλα παρουσιάστηκε αύξηση των θερμικών καταναλώσεων κατά τη διάρκεια χρήσης των παραπάνω παρεμβατικών μεθόδων (on/off control, dimmer), όπου άγγιξε το 7,1% και 8,7% αντίστοιχα. Και στις δυο περιπτώσεις, η θερμικές καταναλώσεις παρουσίασαν αύξηση ενώ στην πραγματικότητα ήταν πολύ χαμηλότερες από την προσπάθεια εξοικονόμηση ενέργειας μέσω μείωσης του τεχνητού φωτισμού.

5.4.3 Ηλεκτρικές Συσκευές

Η δυναμική ύπαρξη ηλεκτρικών συσκευών σε ένα οικιακό περιβάλλον, δύναται να συμβάλουν σημαντικά στην αυξανόμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στον τομέα των κτιριακών εγκαταστάσεων. Όπως χαρακτηριστικά παρουσιάζεται από την IEA στο κείμενο περί προοπτικές ενεργειακών τεχνολογιών, η παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ηλεκτρικών συσκευών για το 2030 αναμένεται να είναι διπλάσια από το 2000. Οι τάσεις που παρουσιάζονται σε διαφορετικές χώρες δείχνουν ότι ο τομέας των ηλεκτρικών συσκευών αντιπροσωπεύει ένα όλο και πιο αυξανόμενο ποσό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του κτιρίου. Με αποτέλεσμα να κρίνεται αναγκαία η χρήση ενεργειακά αποδοτικών συσκευών για την αποτελεσματικότερη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν τα κτίρια, καθώς επηρεάζεται σημαντικά η συμπεριφορά των κατοίκων καθώς και η κοινωνική τους δραστηριότητα.

Σε μια προσπάθεια ώστε υπάρξει εξομάλυνση της συνολικής κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας των ηλεκτρικών συσκευών, προτείνεται ένας έξυπνος προγραμματισμός ώστε να υπάρξει βέλτιστη διαχείριση των οικιακών του οικιακού τομέα. Για παράδειγμα, για να μπορεί να υλοποιηθεί ένας τέτοιος έξυπνος προγραμματισμός θα μπορούσε να χρησιμοποιηθούν τεχνητά νευρωνικά δίκτυα γενετικός αλγόριθμος ο οποίος κάτω από κάποιες ορισμένες συνθήκες θα μπορούσε να εφαρμοστεί ένας προγραμματισμός των έξυπνων ηλεκτρικών συσκευών. Βάση ερευνών και μέσω υλοποιημένων τέτοιων προγραμμάτων σημειώθηκε πως, προγραμματίζοντας ορισμένες περιοχές υψηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, κατά την διάρκεια του εικοσιτετράωρου, παρατηρήθηκε ότι η μείωση κατανάλωσης ενέργειας ,από το δίκτυο παροχής ενέργειας, άγγιξε ένα ποσοστό της τάξεως του 40%.

5.5 Παραγωγή Ενέργειας από Α.Π.Ε.

Παρά το γεγονός εφαρμογής διαφόρων ενεργειακά αποδοτικών μέτρων, όπως αναφέρθηκαν και στα παραπάνω κεφάλαια, οφείλεται να αναφερθεί, ότι είτε περισσότερο, είτε λιγότερο η χρειάζεται να καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια ώστε να διατηρείται σε καθημερινή βάση η ομαλή λειτουργία μίας κτιριακής

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

εγκατάστασης. Στα κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου (ΚΜΕΙ ή Zero Energy Buildings), η ενεργειακή κατανάλωση συνήθως δεν αποτελεί μονομερή πράξη, ηλεκτρική ενέργεια δικτύου, αλλά, βρίσκεται να αποτελεί μια διμερή πράξη, όπου ένα μέρος της ενέργειας που καταναλώνεται για το κτίριο έρχεται από δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και ένα άλλο μέρος συμπληρώνεται συνήθως από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

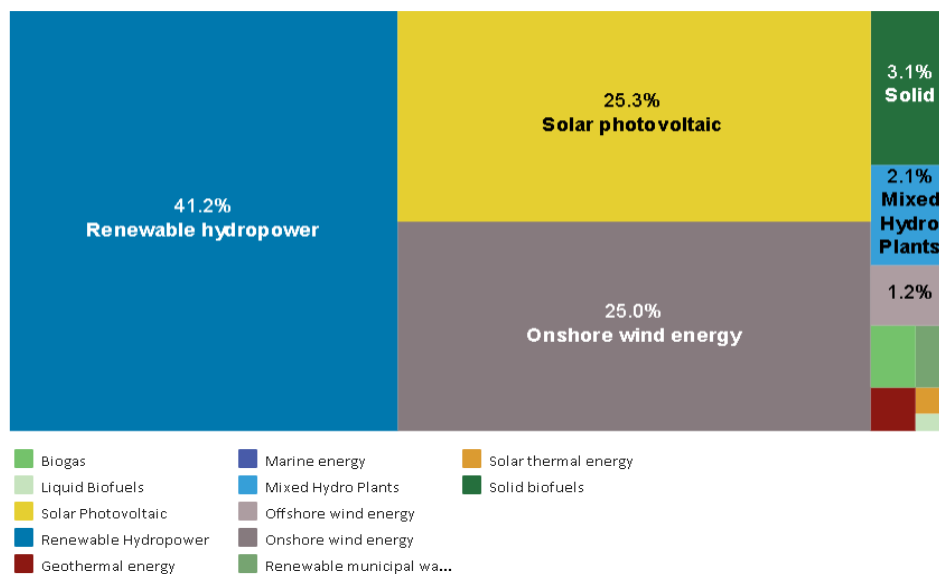
Οι κύριες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) που διατίθενται, για τις σύγχρονες κτιριακές εγκαταστάσεις ή μη, είναι ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια καθώς και η βιοενέργεια. Η εφαρμογή αυτών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ορίζεται ως αποτελεσματική και λογική ώστε να μπορέσει να πραγματοποιηθεί το τελικό βήμα υλοποίησης των σχεδίων για κτήρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου.

Όπως έχει αναφερθεί εκτενέστερα στο Κεφάλαιο 2, η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εκτός από ενεργειακή εφαρμογή για την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων του άνθρακα, διαθέτει την ικανότητα να προσφέρει επίσης και μια σειρά από πρόσθετα οφέλη, όπως ο καθαρότερος αέρας και η ενεργειακή εξασφάλιση. Οι Α.Π.Ε. θεωρούνται πλέον το κλειδί για την πραγματοποίηση και επίτευξη των στόχων για την κλιματική αλλαγή καθώς και βιωσιμότητα των πληθυσμών, όπως ενισχύθηκαν από την διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών στη Συνδιάσκεψη για την Κλιματική Αλλαγή στο Παρίσι το 2015. Η υφιστάμενη κατάσταση ωστόσο στην εποχή μας, παρουσιάζεται με το μεγαλύτερο μέρος της συμβολής των Α.Π.Ε. να προέρχεται ακόμη και από την παραδοσιακή βιομάζα, η οποία και χρησιμοποιείται για λόγους θέρμανσης χώρων, όπως επίσης για μαγείρεμα στις κτιριακές οικιακές υποδομές των αναπτυσσόμενων χωρών. Η συγκεκριμένη χρήση (Α.Π.Ε. με βιομάζας) κρίνεται, μη βιώσιμη, λόγω της χαμηλής απόδοσης και ταυτόχρονα των παραγόμενων επιβλαβών εκπεμπόμενων ρύπων. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση όπως επίσης και στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, χρησιμοποιούνται πιο σύγχρονες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (καθαρή βιοενέργεια, γεωθερμία και ηλιακή θερμότητα) σε αντίθεση με την παραδοσιακή καύση βιομάζας.

Ένα ποσοστό της τάξεως, περισσότερο από, 40% της παραγόμενης θερμότητας από τις σύγχρονες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καταναλώνεται στην Ευρώπη, κατά κύριο λόγο με την μορφή καθαρής βιοενέργειας στους χώρους θέρμανσης. Στην περίπτωση της Κίνας, η οποία βρίσκεται να είναι μια ταχέως αναπτυσσόμενη αγορά για τις σύγχρονες Α.Π.Ε., κυρίαρχο ρόλο στην καθοδήγηση των Α.Π.Ε. είναι η όλο και πιο αυξανόμενη ανάπτυξη με την μέθοδο των ηλιακών συλλεκτών για την παραγωγή ZNX (ηλιακός θερμοσίφωνας).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Ο Διεθνής Οργανισμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (IRENA) μέσω ενός εγχειρήματος, ενός ερευνητικού έργου (Remap), προσπαθεί να στοχεύσει στον διπλασιασμό του μεριδίου των σύγχρονων Α.Π.Ε. στο συνολικό παγκόσμιο ενεργειακό συνδυασμό διαφορετικών πηγών πρωτογενούς ενέργειας μέχρι το έτος 2030. Προβλέπεται, ότι η Κίνα (20%), οι Η.Π.Α. (15%) και η Ε.Ε. (14%) ότι θα εξελιχθούν στους τρεις πιο μεγάλους καταναλωτές Α.Π.Ε. σε παγκόσμιο επίπεδο, επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο σαν τελικό αποτέλεσμα, ένα συνολικό παγκόσμιο μερίδιο παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε της τάξεως του 49%. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το μερίδιο του εκπεμπόμενου άνθρακα στην παγκόσμια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, πρόκειται να μειωθούν στο ποσοστό της τάξεως 25% έως το 2030, σε σύγκριση με 43% όπου βρίσκεται σήμερα. Ακόμη, υπό το ίδιο σενάριο, εξετάστηκε πως η αιολική ενέργεια θα αποτελεί μια εξαιρετική επιλογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπου θα αυξηθεί από 3% όπου βρίσκονταν το 2014-2016 στο 14% επίσης, η χρήση της ηλιακής ενέργειας (φωτοβολταϊκά συστήματα) θα αυξήσει την ισχύ της από το σχεδόν 1%, όπου βρίσκονταν κατά την ίδια περίοδο (2014-2016), στο 7% έως το 2030. Ωστόσο, τα πιο πρόσφατα δεδομένα για την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα εικόνα 5.5.1.



Εικόνα 5.5.1 : Διάγραμμα Ποσοστών Εγκατεστημένης Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά Ποσοστό (Πηγή: IRENA).

Όπως παρουσιάζονται στο διάγραμμα από τον IRENA οι σημαντικότερες εγκατεστημένες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο για το 2020 είναι: για Υδροηλεκτρικές Εγκαταστάσεις 41,2% ποσοστό το οποίο αντιστοιχεί σε 1,153 TW εγκατεστημένης ισχύς, για Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

25,3% όπου αντιστοιχεί 0,7075TW, για Επίγειες εγκατεστημένες Ανεμογεννήτριες με ποσοστό της τάξεως του 25% το οποίο αντιστοιχεί σε 0,70 TW, για Στερεά Βιοκαύσιμα 3,1% το οποίο αντιστοιχεί σε 0,087TW, για Μικτής Παραγωγής Υδροηλεκτρικά εργοστάσια 2,1% το οποίο αντιστοιχεί σε 0,057TW και για Υπερόχθιες εγκατεστημένες Ανεμογεννήτριες 1,2% το οποίο αντιστοιχεί σε 0,034TW.

5.5.1 Ηλιακή Ενέργεια

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα καθώς και τα ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά συστήματα σε κτιριακές εγκαταστάσεις αποτελούν μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για τα κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου. Οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες συνήθως εγκαθίστανται σε στέγες / οροφές κτιρίων τόσο σε αστικές όσο και σε αγροτικές περιοχές. Όμως, ο χώρος της εκάστης οροφής ή στέγης βρίσκεται να είναι περιορισμένος, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πολυώροφων κτιρίων. Τα κτιριακά ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά συστήματα, έχουν την δυνατότητα να μπορούν να εγκατασταθούν σαν σύνολο φωτοβολταϊκών συστημάτων επί το κέλυφος των κτιριακών εγκαταστάσεων, όπως στους τοίχους, τις στέγες και τα παράθυρα, διαθέτοντας την δυναμική να αυξήσουν σημαντικά την συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόλα αυτά, τα ενσωματωμένα συστήματα PV, μπορούν να προσδώσουν εξοικονόμηση χώρου, υλικών και υποδομών στο σύνολο του κτιρίου, καθώς και στο συνολικό κόστος κατασκευής των υποδομών, γεγονός το οποίο μπορεί να δημιουργήσει αυξημένη τάση για σχεδιασμό νέων κτιρίων ΚΜΕΙ.

Ωστόσο, σε έρευνα που έγινε, διεξήχθη αριθμητική μελέτη της απόδοσης των εμπορικά διαθέσιμων ημιδιαφανών μονάδων κτιριακών ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εφαρμογές παραθύρων στη Σιγκαπούρη. Αναφέρεται χαρακτηριστικά, βάση της μελέτης, ότι ο χρόνος που χρειάζεται για να γίνει η απόσβεση των συστημάτων ενέργειας, δεν ήταν μεγαλύτερος από δυο (2) χρόνια, ενώ η απόδοση της παραγόμενης ενέργειας βρέθηκε να είναι υψηλότερη έως και τριανταπέντε (35) φορές, από το αρχικό κόστος κατασκευής της εγκατάστασης. Παράλληλα αναφέρεται, ότι οι σκιές που μπορούν να δημιουργηθούν από παρελκόμενα κτίρια μπορούν να δημιουργήσουν πιθανή μείωση της συνολικής απόδοσης των ημιδιαφανών ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων, γεγονός, βάση του οποίου πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το στάδιο του σχεδιασμού του ΚΜΕΙ, ενώ απαιτείται λεπτομερής αξιολόγηση στις περιπτώσεις όπου τα 2/3 των παραθύρων μπορεί να είναι σκιασμένα. Έτσι, όταν τα κτίρια έχουν περιορισμένες περιοχές στον τελευταίο όροφο, αλλά μεγάλες επιφάνειες

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

προσώπων, η υιοθέτηση ημιδιαφανών ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων στα παράθυρα κρίνεται μια καλή επιλογή.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των φωτοβολταϊκών μονάδων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τι τοπικές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν κατά τόπους. Γεωγραφικά, τα συστήματα φωτοβολταϊκών βρίσκεται να είναι πλέον καταλληλότερα στις τροπικές ζώνες, όπου υπάρχει και τεράστια ζήτηση ηλεκτρική ενέργειας για κλιματισμό το καλοκαίρι. Η ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να προβλεφθεί αξιόπιστα με βάση εποχιακά και καθημερινά μοτίβα. Επίσης, τα κινητά φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκεται να είναι ακόμη περισσότερο αποδοτικότερα αντί εκείνων των οποίων είναι σταθερά διότι έχουν την δυνατότητα να μειώσουν την επίδραση των μεταβλητών των καιρικών φαινομένων, ωστόσο αποτελούν μια ακριβή επένδυση.

5.5.2 Αιολική Ενέργεια

Σε αντίθεση με την ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια είναι γενικά πιο στοχαστική και λιγότερη προβλέψιμη, με ωριαίες και καθημερινές διακυμάνσεις. Γεωγραφικά, οι αποδοτικότερες τοποθεσίες από πλευράς αιολικού δυναμικού συναντώνται συνήθως σε περιοχές όπως είναι η ανοιχτή θάλασσα, οι ανοιχτές αγροτικές περιοχές καθώς και ορεινοί όγκοι.

Οι ανεμογεννήτριες είναι η κύρια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για να μπορέσει να αξιοποιηθεί η αιολική ενέργεια στο σύνολο της. Η παραγωγή ισχύος από μεριάς ανεμογεννητριών ποικίλλει, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου που επικρατεί ανά περιοχή όπου υφίσταται η κάθε εγκατάσταση. Ωστόσο, κατά τη διαδικασία εφαρμογής τους σε κτίρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου, η χρήση των ανεμογεννητριών οι οποίες βρίσκονται τοποθετημένες επί κτιρίων μικρής κλίμακας αποτελούν την καταλληλότερη επιλογή.

Στις περιπτώσεις κτιριακής εγκατάστασης ανεμογεννητριών, οι συνηθέστεροι τύποι εξ αυτών που χρησιμοποιούνται σε κτίρια είναι ακόλουθοι:

- Οριζόντιες αξονικές ανεμογεννήτριες: οι συγκεκριμένες ανεμογεννήτριες αποτελούν τον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο τύπο αιολικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εν λειτουργία (εικόνα 5.5.2.1). Επίσης, αποτελούν γεωμετρικά απλό σύστημα, αλλά κατά βάση το λειτουργικό τους σύστημα βρίσκεται αεροδυναμικά περίπλοκο και σε ορισμένες περιπτώσεις δύναται ιδιαίτερα ασταθείς.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 5.5.2.1: Οριζόντια Αξονική Ανεμογεννήτρια (Πηγή: Ayhan & Sağlam, 2012).

- Κάθετου άξονα ανεμογεννήτριες Darrieus & Savonius: Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα Darrieus αποτελούν μοντέλα λειτουργίας στα οποία γίνεται εκμετάλλευση της ανυψωτικής δύναμης του αέρα από τα πτερύγια τους. Η ανεμογεννήτρια αποτελείται από δυο ή και περισσότερες λεπίδες οι οποίες έχουν αεροδυναμικό σχήμα και είναι προσαρτημένες σε έναν περιστρεφόμενο κατακόρυφο άξονα (εικόνα 5.5.2.2). Ο άνεμος ο οποίος προσκρούει πάνω στα αεροδυναμικά πτερύγια δημιουργεί ανυψωτικές δυνάμεις όπου στην πραγματικότητα τείνει να τραβάει τις λεπίδες προς τα πάνω δημιουργώντας περιστροφική κίνηση στο στρόβιλο.



Εικόνα 5.5.2.2: Ανεμογεννήτρια Καθέτου Άξονα Darrieus (Πηγή: Ayhan & Sağlam, 2012).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Η ανεμογεννήτρια καθέτου άξονα Savonius στο σύνολο της αποτελείται από δυο μισούς κυλίνδρους τοποθετημένοι κλιμακωτά κατά μήκος της κοινής τους διαμέτρου (εικόνα 5.5.2.3). Αυτή η ανεμογεννήτρια συγκεντρώνει το ενδιαφέρον λόγω του ρότορα Savonius ο οποίος έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί σε ταχύτητες ανέμου πολύ χαμηλές οι οποίες μπορεί να αγγίζουν και το 1 m/sec διαθέτοντας ταυτόχρονα και πολύ υψηλή ροπή εκκίνησης. Λειτουργικά, είναι πολύ απλός και τεχνολογικά κατώτερος σε σύγκριση από τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.



Εικόνα 5.5.2.3: Ανεμογεννήτρια Καθέτου Άξονα με Ρότορα Savonius (Πηγή: Nandi, 2014).

Ο σωστός σχεδιασμός των ανεμογεννητριών οι οποίες είναι κατάλληλες προς ενσωμάτωση στις κτιριακές εγκαταστάσεις, απαιτεί την μελέτη αρκετών σημαντικών παραγόντων, όπως οι επικρατούσες συνθήκες ανέμου από γειτονικά σενάρια γεωμετρίας, διατάξεις κτιρίων και μορφές συναρμολόγησης. Μέσω, υπολογιστικής δύναμης υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστεί η δυναμική του ρευστού (αέρας), όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των ετήσιων αιολικών ροών πάνω από τα κτίρια για την περαιτέρω ανάλυση, τοποθέτηση και σχεδιασμό των ενσωματωμένων συστημάτων αιολικής ενέργειας. Επίσης, μελέτες που διεξάχθηκαν μέσω υπολογισμών για την δυναμική του ρευστού πάνω από τα κτίρια, έφερε σαν αποτέλεσμα ότι ο προτιμότερος σχεδιασμός για μέγιστη απόδοση η οποία μπορεί να αγγίζει και το 56% ήταν σε κτιριακές εγκαταστάσεις οι οποίες διέθεταν θολωτές οροφές καθώς επίσης, οι ανεμογεννήτριες βρίσκονταν ενσωματωμένες στην κορυφή της οροφής.

5.5.3 Γεωθερμική Ενέργεια

Η γεωθερμία ή γεωθερμική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ΑΠΕ) καθώς εκμεταλλεύεται την ανεξάντλητη ενέργεια που περικλείεται στους

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

γεωλογικούς σχηματισμούς, ενώ αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας, ενώ συνηθέστερα συναντάτε ως ένα αποδοτικό σύστημα για χρήση θέρμανσης/ψύξης. Τα γεωθερμικά συστήματα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

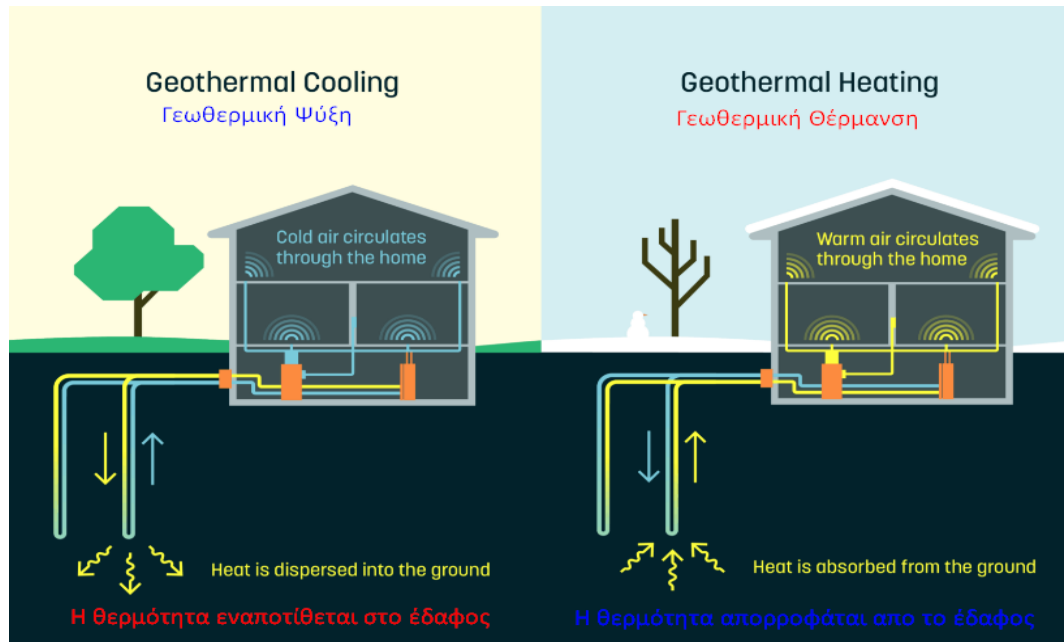
- a. ανοιχτού βρόγχου: αυτός ο τύπος γεωθερμικού συστήματος, χρησιμοποιεί είτε υπόγειο, είτε επιφανειακό υδροφόρο ορίζοντα ως μέσο ανταλλαγής θερμότητας το οποίο διέρχεται μέσω συστημάτων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας παρέχοντας την δυνατότητα παραγωγής, θέρμανσης ή ψύξης.
- b. κλειστού βρόγχου: αυτός ο τύπος γεωθερμικού συστήματος χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο, την εκμετάλλευση της θερμοκρασίας του εδάφους, με οριζόντιες ή κάθετες διατάξεις συστημάτων. Δηλαδή, αντί τα συστήματα ανταλλαγής θερμότητας να έρχονται σε επαφή με υπόγειο ή επιφανειακό υδροφόρο ορίζοντα, να αποτελούν κλειστά συστήματα σωληνώσεων τοποθετημένα σε ορισμένο βάθος ώστε μέσω αυτών να γίνεται η ανταλλαγή θερμότητας με το έδαφος.

Μια γεωθερμική αντλία θερμότητας κλειστού βρόγχου, έχει προωθηθεί ως ένα κτιριακά αποτελεσματικό ενεργειακό σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί την θερμοκρασία της γης ως μέσο θέρμανσης για περιπτώσεις θέρμανσης του χώρου καθώς και ως μέσο ψύξης για τις περιπτώσεις που χρειάζεται να πραγματοποιηθεί ψύξη στο χώρο του κτιρίου (Εικόνα 5.5.3.1). Γενικά, μια γεωθερμική αντλία έχει υψηλότερο συντελεστή απόδοσης (COP) από μία αντλία θερμότητας αέρος που χρησιμοποιείται για ψύξη. Η απόδοση των γεωθερμικών συστημάτων εξαρτάται από την πιθανότητα πόσο καλή συμβατότητα θα υπάρξει μεταξύ της θερμικής συμπίκνωσης η οποία απελευθερώνεται στο έδαφος κατά την περίοδο του καλοκαιριού και της θερμικής εξάτμισης η οποία απορροφάτε από το έδαφος κατά την περίοδο του χειμώνα, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν και ως είδος εποχικής θερμικής αποθήκευσης. Επομένως, τα γεωθερμικά συστήματα παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση σε κλίματα όπου τα φορτία θέρμανσης και ψύξης των κτιρίων βρίσκονται καλά ισορροπημένα κατά την διάρκεια όλου του χρόνου. Ωστόσο, όταν τα κτιριακά φορτία βρίσκεται να είναι πρακτικά εκτός ισορροπίας και μεταβλητά, προτείνεται μια βελτιστοποιημένη συνδυαστική στρατηγική λειτουργίας για την πραγματοποίηση ενός δυναμικού ταιριάσματος μεταξύ της ενέργειας ζήτησης της εγκατάστασης και της ενέργειας παροχής.

Επίσης, από έρευνες που έγιναν από τον Hisei et al., για ανάδειξη των οφελών μιας αντλίας θερμότητας εδάφους που μπορούν να υπάρξουν σε ένα ηλιακό παθητικό σπίτι παρουσίασαν, συγκριτικά με ένα κοινό σπίτι με κανονική διαμόρφωση, τόσο χαμηλή κατανάλωση ενέργειας στην περίπτωση ζήτησης θέρμανσης όσο και κατά την διάρκεια της ψύξης. Παράλληλα αναφέρεται, ότι μια

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας για να καταφέρει να θεωρηθεί βιώσιμη και οικονομική προς τον αγοραστή, οφείλεται να έχει πραγματοποιηθεί σωστή διαστασιολόγηση της εγκατάστασης, καθώς, σε αυτή την περίπτωση θα μπορέσει να κριθεί και να αναφερθεί η οικονομική ανταγωνιστικότητα του συστήματος με άλλα συστήματα θέρμανσης-ψύξης όπως τα HVAC.

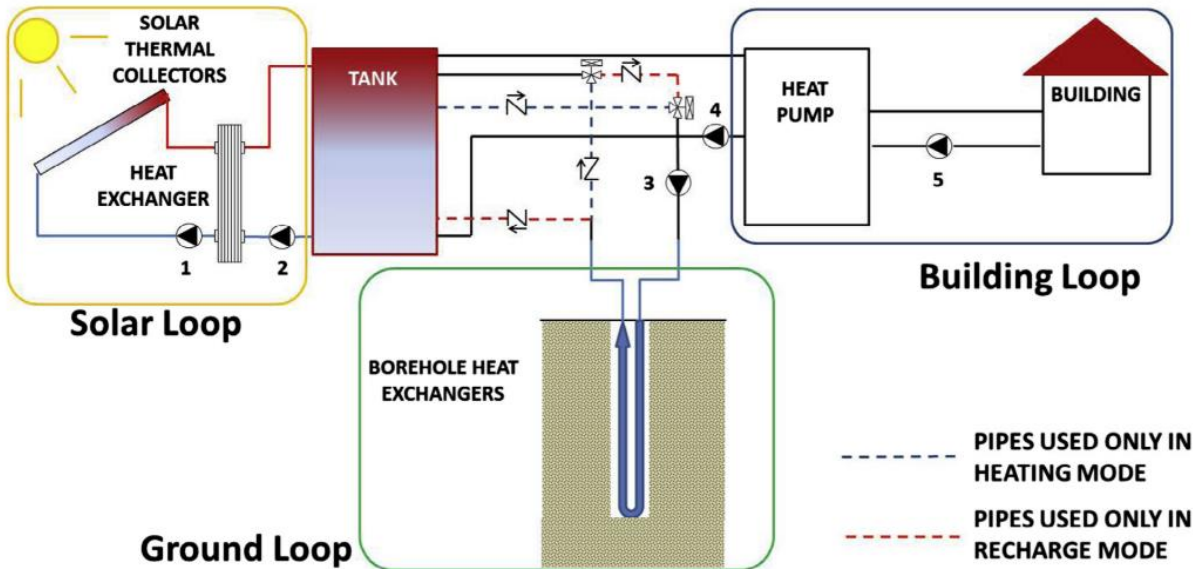


Εικόνα 5.5.3.1: Γεωθερμικό Σύστημα Ψύξης Θέρμανσης Κλειστού Βρόγχου (Πηγή: CleanTechnica).

Επίσης, σε περιπτώσεις όπου η θέρμανση παίζει κυρίαρχο ρόλο καθώς επίσης οι κλιματικές συνθήκες είναι ιδιαίτερα σκληρές προτιμώνται τα υβριδικά συστήματα γεωθερμικών αντλιών, σε συνδυασμό με ηλιακούς συλλέκτες, για την αποφυγή εξάντλησης της θερμότητας του εδάφους. Η μέθοδος λειτουργίας του συστήματος βρίσκεται να είναι απλή, η συλλεγόμενη θερμότητα από τους ηλιακούς συλλέκτες παράγει ζεστό νερό το καλοκαίρι και με αυτή την μέθοδο επαναφορτίζει μέσω των γεωθερμικών αυλών το έδαφος κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Στην έρευνα που διεξάχθηκε από την Emmi et al., αξιολογήθηκε η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου στο οποίο ήταν εγκατεστημένο ένα σύστημα γεωθερμικής εγκατάστασης κλειστού βρόγχου για ψυχρά κλίματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η γεωθερμική εγκατάσταση λόγω μόνιμης χρήσης για θέρμανση του κτιρίου υπέστη υποβάθμιση του συστήματος κατά 10%, διότι δεν διοχετευόταν θερμική ενέργεια για αποθήκευση, προς το έδαφος καθ' όλη την διάρκεια της δεκαετίας με αποτέλεσμα να μην υπάρχει θερμική ανάκαμψη του εδάφους. Ωστόσο, με την προσθήκη ηλιακών συλλεκτών (Εικόνα 5.5.3.2) και την όδευση των ηλιακών θερμικών φορτίων προς το έδαφος, υπήρξε μια διαφοροποίηση στο σύστημα με

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

αποτέλεσμα αυτού του είδους η βοήθεια προς το γεωθερμικό σύστημα δημιουργήσει αύξηση των ποσοστών απόδοσης της εγκατάστασης ανακάμπτοντας περίπου στο 80% με 95% .



Εικόνα 5.5.3.2: Σχεδιασμός Γεωθερμικής Εγκατάστασης Κλειστού Βρόγχου με Ηλιακούς Συλλέκτες για Ψυχρά Κλίματα (Πηγή: Emmi et al., 2015).

5.5.4 Βιοενέργεια

Η βιοενέργεια είναι μια μορφή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) που κατά κύριο λόγο προέρχεται από την ενεργειακή αξιοποίηση οργανικών υλικών βιολογικής προέλευσης. Τα οργανικά υλικά ή βιομάζα αποτελείται από πρώτες ύλες οι οποίες μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια που λαμβάνεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας σε χημική. Το καύσιμο που παράγεται από την κατάλληλη επεξεργασία της βιομάζας ονομάζεται βιοκαύσιμο. Η βιομάζα επί της ουσίας αποτελεί την πρώτη ύλη, το βιοκαύσιμο είναι η μετατροπή της βιομάζας σε καύσιμο και η βιοενέργεια είτε ηλεκτρική, είτε θερμική είτε κινητική είναι η παραγόμενη ενέργεια. Ο διαχωρισμός των παραπάνω σε κατηγορίες δεν έχει καμία ουσία διότι μιλάμε για το ίδιο πράγμα.

Η βιομάζα ή βιοκαύσιμο ή βιοενέργεια, βρίσκεται να αποτελεί μία ενεργειακή πηγή υψηλής ζήτησης για πολλαπλές χρήσεις και κατά κύριο λόγο στον κτιριακό τομέα. Η βιομάζα διαθέτει σημαντικό δυναμικό μετριασμού των αερίων του θερμοκηπίου, υπό την προϋπόθεση ότι οι πόροι αναπτύσσονται με βιώσιμο τρόπο και χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά συστήματα βιοενέργειας. Ορισμένα σύγχρονα συστήματα καθώς και κάποιες μελλοντικές συγκεκριμένες επιλογές, όπως τα πολυετή συστήματα καλλιέργειας, η χρήση υπολειμμάτων (κομποστοποίηση) και

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

αποβλήτων σε συνδυασμό με τα προηγμένα συστήματα μετατροπής βιοαερίου-βιοκαυσίμου είναι σε θέση να επιφέρουν μείωση των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων, σε σύγκριση με τη βασική ορυκτή ενέργεια, ένα ποσοστό της τάξεως του 80% έως 90%.

Η βιομάζα, συμπεριλαμβάνει πολύ μεγάλη πληθώρα διαφορετικών μεταξύ τους υλικών, αποτελείται πρωταρχικά από απόβλητα τροφίμων, κτηνοτροφικά απόβλητα και φυτικές ίνες (φυτά, ξύλα, αγροτικά υποπροϊόντα), οργανικά βιομηχανικά απόβλητα, παραπροϊόντα βιομηχανικών διεργασιών όπως, επίσης, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία και κατατάσσεται στα ΑΠΕ, όπως προαναφέρθηκε, η οποία παρείχε περίπου το 10,2% (50,3EJ) της παγκόσμιας πρωτογενούς ενεργειακής παροχής για το 2008. Κατά κύριο λόγο, η χρήση βιομάζας από τις μη αναπτυσσόμενες χώρες αντιπροσωπεύει περίπου 30,7 EJ, η οποία αποτελείται από την παραδοσιακή ξυλεία, γαιάνθρακα και κοπριά, ώστε να εξασφαλιστούν συνθήκες μαγειρέματος θέρμανσης χώρων και φωτισμού, και άλλο 20% έως 40% χρησιμοποιείται σε άγνωστους άτυπους τομείς, συμπεριλαμβανομένου της παραγωγής και διανομής ξυλάνθρακα. Συνεπώς, η βιοενέργεια αποτελεί μια δημοφιλή ΑΠΕ σε παγκόσμιο επίπεδο, ωστόσο, υπάρχουν αρκετά περιθώρια ώστε αυτό το ενεργειακό είδος να αποτελέσει μια αποδοτικότερη και φιλικότερη μορφή ενέργειας προς το περιβάλλον.

6. Προκλήσεις των Κτιριακών Υποδομών σε Ενεργειακό Επίπεδο

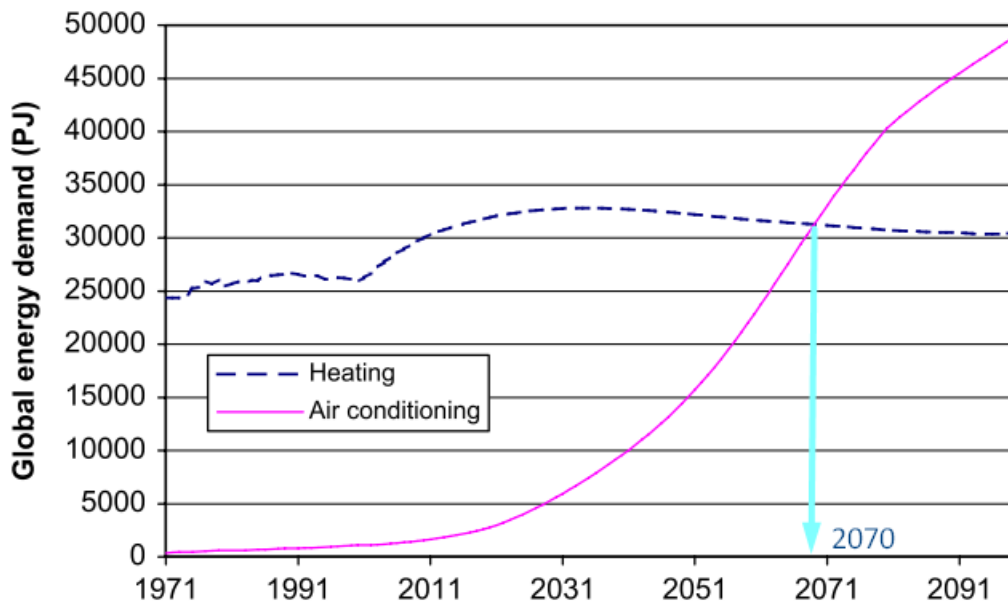
6.1 Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή και η Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στις Κτιριακές Εγκαταστάσεις

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για τις κτιριακές εγκαταστάσεις στο προσεχές μέλλον θα αλλάξει, την απάντηση σε αυτή την μελλοντική αλλαγή έρχεται να την δώσει η αυξημένη ζήτηση των νοικοκυριών για ανάγκες ψύξης και θέρμανσης, ο οποίες τείνουν να βρίσκονται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Οι καθαρές αυξήσεις ή μειώσεις σε μεγάλο βαθμό εξαρτώνται κυρίως από το μέγεθος της ενεργειακής ζήτησης για ψύξη ή για θέρμανση, ανάλογα με το που βρίσκεται το εκάστοτε κτίριο. Μεγάλο μέρος της βιβλιογραφίας για την μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης των κτιρίων προσανατολίζεται στην απλή πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης ή στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης. Αν και υπάρχει η δυνατότητα αντιμετώπισης της ενεργειακής ζήτησης ως προς την επίδραση του καιρού ή της κλιματικής ευαισθησίας ή την επίδραση του τρέχοντος κλίματος, δεν βρίσκεται δυνατό να αντιμετωπιστεί η επιδράσεις της μελλοντικής κατανάλωσης ενέργειας από την κλιματική αλλαγή, αλλά υπάρχουν λίγες περιπτώσεις οι οποίες είναι ικανές να εξετάσουν το ζήτημα της μέγιστης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Από το 1983 έως το 2012 λέγεται ότι πιθανότατα ήταν η θερμότερη περίοδος των τελευταίων 1400 ετών για το τμήμα του Βορείου ημισφαιρίου. Επίσης, αναφέρεται μέσα από την έρευνα των Isaac & van Vuure, πως η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας προβλέπεται να αυξηθεί έως το 2030 και μετέπειτα θα υπάρξει μια σταθεροποίηση της κατάστασης. Αντίθετα, η ζήτηση ενέργειας για κλιματισμό αναμένεται να αυξηθεί ραγδαία κατά τη διάρκεια της περιόδου 2000 έως 2100. Οι σχετικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) θα υποστούν επίσης αύξηση τόσο για λόγους αυξημένης ψύξης και θέρμανσης, όπου αναμένεται να κινηθούν από τους 0,8 GtC για το 2000, στους 2,2 GtC μέχρι το 2100, μια ποσόστωση η οποία αγγίζει περίπου το 12% των συνολικών εκπομπών CO₂ κυρίως λόγω χρήσης της ενέργειας (με την μεγαλύτερη αύξηση να συμβαίνει στην Ασία).

Η καθαρή επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην παγκόσμια χρήση ενέργειας και εκπομπών είναι σχετικά μικρή καθώς οι μειώσεις θέρμανσης αντισταθμίζονται από την αύξηση της ψύξης. Ωστόσο, οι επιπτώσεις στη θέρμανση και την ψύξη, μεμονωμένα, είναι σημαντικές σε τέτοιου είδους σενάρια, με την ζήτηση της ενέργειας σε θέρμανση να μειώνεται κατά 34% σε παγκόσμιο επίπεδο έως το 2100, γεγονός το οποίο αποτελεί γινόμενο της κλιματικής αλλαγής, ενώ η ζήτηση ενέργειας για κλιματισμό κατοίκων θα αυξηθεί κατά 72%, για τον ίδιο λόγο.



Εικόνα 6.1.1: Διάγραμμα Χαρακτηριστικών Πρόβλεψης Ενεργειακής Ζήτησης για Θέρμανση – Κλιματισμό μέχρι 1970-2100 (Πηγή τροποποιημένο από: Isaac & van Vuuren, 2009).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Επιπρόσθετα, η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση για λόγους ψύξης στις κτιριακές εγκαταστάσεις προβλέπεται ότι θα ξεπεράσουν την ενεργειακή ζήτηση που χρειάζονται οι κτιριακές υποδομές για θέρμανση των χώρων έως το 2070, όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω διάγραμμα Εικόνα 6.1.1. Επίσης, οι απαιτήσεις ενεργειακής ζήτησης για θέρμανση, για την Ε.Ε. θα αποκτήσουν φθίνουσα τάση λόγω της μείωσης του πληθυσμού, της χαμηλότερης έντασης για θέρμανση και λόγω του θερμότερου κλίματος. Όμως, για την Κίνα και τις Η.Π.Α., οι απαιτήσεις για ενεργειακή ζήτηση στον οικιακό τομέα θα αποκτήσουν αυξητική τάση ως το τέλος του αιώνα. Η ετήσια αύξηση της τάξεως του 0,7%, για ενεργειακή ζήτηση για κατανάλωση στη θέρμανση στις Η.Π.Α. θα οδηγήσει σε γενική αύξηση των πληθυσμών και των κτιριακών υποδομών, παράλληλα η αύξηση της θερμικής έντασης θα οδηγήσει σε ετήσια αύξηση της ενεργειακής ζήτησης στην Κίνα σε ποσοστό της τάξεως του 1,7% πριν το 2040. Η ενεργειακή ζήτηση για ψυκτικά φορτία θα αυξηθούν δραματικά στις αναπτυσσόμενες χώρες όπως είναι η Κίνα και η Ινδία λόγω της ολοένα και μεγαλύτερης αυξανόμενης ιδιοκτησίας κλιματισμού, καθώς επίσης, λόγω του όλο και περισσότερο θερμότερου κλίματος.

Σε αντίθεση, τα ψυκτικά φορτία που θα παρουσιαστούν στις Η.Π.Α. και στην Ε.Ε. θα αυξηθούν οριακά για τον επόμενο αιώνα. Μπορεί να συμπεραθεί, ότι το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις τοπικές κλιματικές και οικονομικές συνθήκες. Ενώ, το σύνολο της ενεργειακής ζήτησης για θερμικά και ψυκτικά φορτία, κατά κύριο λόγο, θα αυξηθεί στις περιοχές οι οποίες είναι λιγότερο ανεπτυγμένες και η ανάγκη ενεργειακής ζήτησης για ψύξη τις κατατάσσει σε ηγέτιδες. Οφείλεται να αναφερθεί, ότι με τις κατάλληλες προσεγγίσεις για εξοικονόμηση ενέργειας υπάρχει η πιθανότητα μετριασμού των τάσεων για υπερθέρμανση του πλανήτη και να υπάρξουν φθίνουσες τιμές των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων του θερμοκηπίου.

Στην αναφορά της ΙΕΑ, με τίτλο, Ενεργειακές Τεχνολογικές Προοπτικές για το 2012, αναφέρονταν σε δυο σενάρια με σκοπό την αξιολόγηση της μελλοντικής κατανάλωσης ενέργειας των κτιριακών υποδομών, το σενάριο 6 °C ή 6DS (Degrees) και το σενάριο 2 °C ή 2DS (Degrees). Η πρώτη περίπτωση 6DS (6 °C ή 6 Degrees Scenario), χρησίμευσε ως το βασικό σενάριο για την ανάλυση κτιρίων. Αποτελεί σε μεγάλο βαθμό μια επέκταση των τρεχουσών τάσεων, χωρίς να υπάρχει προσπάθεια από τις κυβερνήσεις, την βιομηχανία ή γενικότερα το ευρύ κοινό να περιορίσει τις εκπομπές. Μέχρι το 2050, η παγκόσμια χρήση ενέργειας στο 6DS θα μπορέσει σχεδόν να διπλασιαστεί (σε σύγκριση με τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την αναφορά, μέχρι το 2010), ενώ οι συνολικές εκπομπές θα έχουν την τάση να αυξάνονται όλο και περισσότερο. Με την έλλειψη προσπαθειών για σταθεροποίηση της κατάστασης ως προς την συγκέντρωση των ατμοσφαιρικών ρύπων του

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

θερμοκηπίου, η μέση αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας προβλέπονταν να αγγίξει τουλάχιστον τους 6 °C μακροπρόθεσμα. Ενώ παρατηρήθηκε αυτόνομη ενεργειακή απόδοση, στο συγκεκριμένο σενάριο δεν αναμένονταν σημαντικές αλλαγές στην τεχνολογία ή στο μίγμα της ενεργειακής κατανάλωσης για τον τομέα των κτιριακών εγκαταστάσεων. Ως αποτέλεσμα, οι παγκόσμιες άμεσες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από το γενικό σύνολο των κτιρίων να συγκεντρώνουν περίπου ένα ποσοστό της τάξεως του 25% υψηλότερο για το 2050 σε σχέση με τα δεδομένα του 2010, φτάνοντας τους 3,5 Gt CO₂. Από την άλλη πλευρά, το σενάριο 2DS (2 °C ή 2 Degrees Scenario), βρέθηκε να είναι πιο στοχευμένο. Δηλαδή είχε στόχο να περιορίσει την αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας στους 2 °C και αναφέρονταν οι περιπτώσεις εξέτασης, για το πως μπορεί να καταστεί δυνατό να υπάρξει επιτυχία μέσα από βαθιές περικοπές εκπεμπόμενων αέριων ρύπων (συμπεριλαμβανομένου του CO₂, CH₄ και NO_x), τα οποία απαιτούνται να μειωθούν τουλάχιστον κατά το ήμισυ οι παγκόσμιες εκπομπές τους μέχρι το 2050, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ο κτιριακός τομέας οφείλει να μειώσει τις εκπομπές του πάνω από το 50%. Παρά μόνο, να φτάσει στην επίτευξη του στόχου, με τον πιο οικονομικά αποτελεσματικά τρόπο τον οποίο απαιτεί από κάθε οικονομικό τομέα κάθε χώρας να συνεισφέρει σε αυτό το εγχείρημα. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο σενάριο, οι ετήσιες παγκόσμιες άμεσες εκπομπές κτιρίων θα αγγίζουν το 1,9 Gt CO₂ ως το 2050, δηλαδή περίπου 35% λιγότερο από τα δεδομένα του 2010.

Αντίθετα, στην αναφορά της για το 2020 η IEA, αναφέρει χαρακτηριστικά, ότι η Συμφωνία του Παρισιού (2015) έθεσε ως στόχο «να κρατήσει την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα από τους 2 °C, δηλαδή πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα και να καταβάλει προσπάθειες για να περιορίσει την αύξηση θερμοκρασίας στους 1,5°C χωρίς να ξεπεράσει τα προβιομηχανικά επίπεδα». Επίσης, ζητεί οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου να κορυφωθούν όσο γίνεται πιο σύντομα και να επέλθει μια ταχεία μείωση του φαινομένου μετά, προκειμένου να επιτευχθούν καθαρότερες μηδενικές εκπομπές, στο δεύτερο μισό αυτού του αιώνα. Για την επίτευξη των καθαρών μηδενικών εκπομπών απαιτείται κάθε εναπομείναν ανθρωπογενής εκπομπή, να αντισταθμιστεί με ανθρωπογενής απορροφητές άνθρακα, όπως αλλαγές στο σύστημα χρήσης γης ή αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) μέσω βιοενέργειας που θα μπορεί να κατακρατεί τον παραγόμενο άνθρακα και θα τον αποθηκεύει (BECCS) ή απευθείας δέσμευση αέρος με αποθήκευση.

Όπως και στις προηγούμενες εκδόσεις (IEA) Ενεργειακές Τεχνολογικές Προοπτικές η έκθεση, για το έτος 2020, υιοθετεί μια σεναριακή προσέγγιση για την διερεύνηση των προοπτικών για τεχνολογίες καθαρής ενέργειας και πιο συγκεκριμένα, για την ενεργειακή μετάβαση που θα απαιτηθεί για την επίτευξη

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

κλιματικών και ευρύτερων ενεργειακών στόχων βιωσιμότητας. Στη συγκεκριμένη έκδοση παρουσιάζονται οι προβλέψεις για δυο βασικά σενάρια, τα οποία χρησιμοποιούνται επίσης στην κυρίως δημοσίευση του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας- Παγκόσμια Ενεργειακή Προοπτική. Παρακάτω θα αναπτυχθούν δυο σενάρια διαφορετικής χαρτογράφησης ως προς τα μονοπάτια των ενεργειακών τεχνολογιών για όλη την περίοδο μέχρι το 2070, ενώ διαφοροποιούνται κυρίως λόγω των υποθέσεων που εκφράζονται για τις κυβερνητικές πολιτικές.

6.1.1 Σενάριο Βιώσιμης Ανάπτυξης

Αυτό είναι το σενάριο το οποίο βρίσκεται στο επίκεντρο της έκθεση Ενεργειακές Τεχνολογικές Προοπτικές 2020 και χρησιμοποιείται για να απεικονίσει τις τεχνολογικές ανάγκες για την επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπεμπόμενων ρύπων από τον τομέα της ενέργειας. Επίσης, περιγράφεται η ευρεία εξέλιξη του ενεργειακού τομέα που απαιτείται για την επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών που σχετίζονται περισσότερο με την ενέργεια όπως:

- ✓ Επίτευξη καθολικής πρόσβασης στην ενέργεια
- ✓ Μείωση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- ✓ Και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Έχει σχεδιαστεί για να αξιολογεί τη απαιτείται για την επίτευξη αυτών των στόχων, συμπεριλαμβανομένης της Συμφωνίας του Παρισιού, με ρεαλιστικό και οικονομικά αποδοτικό τρόπο.

Η πορεία για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που μπορεί να σχετίζονται με την ενέργεια και τη βιομηχανία, στο σενάριο βιώσιμης ανάπτυξης, είναι συνεπής με την επίτευξη παγκόσμιων καθαρών μηδενικών εκπομπών CO₂ από τον ενεργειακό τομέα για το 2070.

6.1.2 Σενάριο Καθορισμένων Πολιτικών

Αυτό το σενάριο χρησιμοποιείται σαν ορόσημο για το πως προβάλετε το σενάριο βιώσιμης ανάπτυξης. Μπορεί να αξιολογεί την εξέλιξη του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος, με την παραδοχή, ότι εφαρμόζονται όλες οι κυβερνητικές πολιτικές και δεσμεύσεις που έχουν ήδη υιοθετηθεί ή σε δεύτερο χρόνο έχουν ανακοινωθεί σχετικά με την ενέργεια και το περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων των δεσμεύσεων που έχουν αναληφθεί στις εθνικά καθορισμένες συνεισφορές στο πλαίσιο της Συμφωνίας του Παρισιού. Οι συγκεκριμένες δεσμεύσεις, βρίσκονται να είναι φιλόδοξες (όπως ο στόχος επίτευξης καθαρών μηδενικών εκπομπών), κρίνεται ως προς την πιθανότητα πλήρους εκπλήρωσης των δεσμεύσεων αυτών, εκτιμώντας το μέγεθος του αντίκτυπου των μέτρων που έχουν συμφωνηθεί μέχρι και σήμερα.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Αυτό το σενάριο δεν προϋποθέτει, μελλοντικές αλλαγές στις υπάρχουσες και ανακοινωμένες πολιτικές καθώς και μέτρα που λαμβάνονται. Ο αντίκτυπος τους θεωρείται, στη μακροχρόνια εξέλιξη της τεχνολογίας, ως μέσο καθοδήγησης των προσδοκιών των σεναρίων που πρόκειται να υλοποιηθούν.

Σύμφωνα με την τελευταία αναφορά της IEA για το 2020, ο κτιριακός τομέας, συμπεριλαμβανομένων κατοικιών, γραφείων, καταστημάτων, ξενοδοχείων, σχολείων και άλλων δημοσίων και εμπορικών χώρων, στις μέρες μας αντιπροσωπεύει άμεσα και έμμεσα το 30% της τελικής ενέργειας που καταναλώνεται σε παγκόσμιο επίπεδο, το οποίο περίπου αναλογεί σε 3100 Μtoe, συμπεριλαμβανομένου σχεδόν και του 55% της παγκόσμια κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Λαμβάνονται υπόψη τόσο οι κατασκευές, όσο και οι διάφορες φάσεις χρήσης, οι οποίες συμβάλλουν και οι δυο κατηγορίες ταυτόχρονα περίπου στο 37% της σημερινής παγκόσμιας καύσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) μέσω των καυσίμων από τις κτιριακές εγκαταστάσεις. Οι εκπεμπόμενοι ρύποι που προέρχονται από ορυκτά καύσιμα και χρησιμοποιούνται για την ψύξη και θέρμανση νερού, καθώς επίσης και άλλες οικιακές εφαρμογές ή υπηρεσίες, ανήλθαν για το έτος 2019 περίπου στους 3 Gt CO₂ σε παγκόσμιο επίπεδο.

Οι έμμεσες εκπομπές από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από την τεράστια ποικιλία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών που καθημερινά χρησιμοποιούνται στις κατοικίες (π.χ. κλιματιστικά, αντλίες θερμότητας, οικιακές συσκευές) αγγίζουν τους 9,8 Gt CO₂ εκπεμπόμενους ρύπους. Παράλληλα, η παραγωγή υλικών και η κατασκευή κτιρίων περιλαμβάνει επιπρόσθετα 3,5 Gt CO₂ εκπεμπόμενων ρύπων, οι οποίοι συσχετίζονται με την ενέργεια και τη διαδικασία παραγωγής στον τομέα της βιομηχανίας, η οποία κυρίως εκπροσωπείται από τον κλάδο της βιομηχανίας του τσιμέντου και του χάλυβα.

6.2 Η Επίδραση του Κελύφους του Κτιρίου και η Ποιότητα του Εσωτερικού Αέρα στη Θέρμανση και Ψύξη της Εγκατάστασης

Σε παγκόσμιο επίπεδο, πολλοί οργανισμοί προχωρούν σε βελτιωτικές διαδικασίες των κτιρίων ως μέρος ενός ολοκληρωμένου προγράμματος ενεργειακής απόδοσης. Στην πραγματικότητα, αυτές οι βελτιώσεις των κελυφών των κτιριακών εγκαταστάσεων, πολύ συχνά κατατάσσονται στην κορυφή ή πολύ κοντά στην κορυφή της λίστας των κατασκευαστικών εταιριών, καθώς γενικά παρέχεται μια ελκυστική απόδοση της επένδυσης. Μελέτες προσομοίωσης που διεξήχθησαν υπό την αιγίδα του Εθνικού Ινστιτούτου Τυποποίησης και Τεχνολογίας για το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. έδωσαν σαν αποτέλεσμα, ότι οι βελτιωτικές

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

κινήσεις που μπορεί να γίνουν σε ένα κτίριο μπορούν να μειώσουν το ετήσιο κόστος ενέργειας έως και 36% σε περιοχές όπου οι κλιματικές συνθήκες που κυριαρχούν είναι η ζέστη. Παράλληλα, το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας του Καναδά, εκτιμά ότι η διαρροή αέρα αποτελεί έως και το ήμισυ των τοπικών θερμικών απωλειών ενός κτιρίου κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου.

Μερικές από τις πιο ικανοποιητικές μεθόδους προστασίας της κτιριακής υποδομής από διαφεύγοντα θερμικά και ψυκτικά φορτία προς το περιβάλλον, αλλά και αυτό να συνεπάγεται ταυτόχρονη αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, είναι τα συστήματα στεγανοποίησης του αέρα καθώς και τα ιδιαίτερα μονωμένα ανοίγματα του κτιρίου. Αποτελούν τους δυο πιο οικονομικότερους και πιο αποδοτικές τεχνολογίες για τη μείωση των απαιτήσεων θέρμανσης και ψύξης του χώρου. Σε περιπτώσεις όπου, μπορεί να υπάρξει μείωση της θερμικής ή της ψυκτικής ισχύς, αυτομάτως μέσω αυτού του φαινομένου η εγκατάσταση οδηγείται σε περαιτέρω οφέλη, όπως η συρρίκνωση του εξοπλισμού, παρουσιάζοντας εν δυνάμει εξοικονόμηση ενέργειας.

Παρόλου που καταναλώνουν πάνω από το 30% της συνολικής παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας, οι περισσότερες κτιριακές εγκαταστάσεις εξακολουθούν να υποφέρουν από κακής ποιότητας αέρα στους εσωτερικούς χώρους. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), πολλά εκατομμύρια ανθρώπων κάθε χρόνο λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του αέρα στους εσωτερικούς χώρους αποβιώνουν. Η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των Η.Π.Α. πρότεινε τρία βασικά μέτρα για προσπάθεια βελτίωσης της ποιότητας του αέρα εσωτερικών χώρων:

1. Έλεγχο των πηγών ρύπανσης εσωτερικών χώρων,
2. Βελτιωτικές κινήσεις για τον καλύτερο αερισμό των χώρων,
3. Και τοποθέτηση συσκευών καθαρισμού του αέρα.

Όταν υπάρχει επαρκής καθαρός αέρας ο οποίος εισέρχεται στο χώρο από το εξωτερικό περιβάλλον έχει την δυνατότητα να απομακρύνει και να αραιώσει τους ατμοσφαιρικούς ρύπους που προέρχονται από εσωτερικές πηγές. Με αυτό τον τρόπο υπάρχει η ικανότητα μείωσης των συγκεντρωμένων ρύπων του χώρου και ταυτόχρονα βελτιώνει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

Με τα παραπάνω παραδείγματα μπορεί να εξασφαλίζεται ο καθαρός αέρας ο οποίος βρίσκεται να είναι σημαντικός για τον ανθρώπινο παράγοντα, ωστόσο, ο καθαρός αέρας έχει και αρνητικές συνέπειες ως προς την κατανάλωση ενέργειας των αεριζόμενων κτιρίων. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται αυξάνεται, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού αέρα και εξωτερικού αέρα και της διαφοράς θερμοκρασίας που έχουν. Σύμφωνα με τις

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

παλιότερες προδιαγραφές της ASRAE 1989, περί αερισμού των χώρων, η δυναμική αερισμού χαρακτηρίστηκε ελλιπής, καθώς τα ποσοστά του αέρα που ανακυκλώνονταν συνεχόμενα ήταν πολύ μεγάλα, με αποτέλεσμα οι ένοικοι των χώρων να υποφέρουν από ιώσεις ή από σύνδρομα κτιριακών αρρωστιών.

Μεταγενέστερα, έρευνες που ήρθαν στην επιφάνεια έδειξαν ότι η εισαγωγή περισσότερο καθαρού αέρα βρέθηκε να είναι ένας αποτελεσματικότερος τρόπος βελτίωσης της ποιότητας του αέρα και καταπολέμησης των συμπτωμάτων. Πλέον, ο κανονισμός περί εισαγωγής αέρα από την ASRAE στους χώρους διαμονής αυξήθηκε από 2 σε 5 cfm/άτομο. Σαν συνέπεια αυτού του δεδομένου παρουσιάστηκε, ότι η ενέργεια που καταναλώθηκε σε κτιριακά γραφεία ήταν 1,5 φορές υψηλότερη από ότι ήταν το 1989. Ωστόσο, για την καταπολέμηση της ενεργειακής κατανάλωσης σημαντικό ρόλο έπαιξαν οι εξαερισμοί θερμικής εξοικονόμησης, ένας αποτελεσματικό τρόπος για να υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής εξωτερικού νωπού αέρα στο κτίριο με όσο γίνεται χαμηλότερο ενεργειακό κόστος.

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Joo et al., με βάση τις καιρικές συνθήκες, όπως επίσης, τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, επιτυγχάνοντας την σταθερή εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού, στην πρωτεύουσα της Κορέας (Σεούλ). Βάση αυτού του είδους συστήματος εξαερισμού που εισήχθη, διασφαλίστηκε η ποιότητα του εσωτερικού αέρα, καθώς και επιτευχθεί η βέλτιστη κατανάλωση ενέργειας εάν η αναλογία αναμορφωμένου αέρα προς ανακυκλοφορία είναι 1,2 (ρυθμός ροής μάζας αναμορφωμένου αέρα $Q_M = \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ / ειδική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ανακυκλοφορία $Q_R = \text{kW/kW}$). Τα αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας για την καλοκαιρινή περίοδο ήταν 526,4 kW/h και αντίστοιχα για την χειμερινή περίοδο 2764,9 kW/h, ποσοστιαία μείωση η οποία άγγιξε περίπου το 22,1% σε σύγκριση με εκείνη του υπάρχοντος συστήματος. Ωστόσο, δεν λήφθηκαν υπόψη η αλληλεπίδραση του φρέσκου καθαρού αέρα με τους υπόλοιπους ρύπους του αέρα όπως είναι οι διάφορες πτητικές ενώσεις (VOCs), γεγονός το οποίο δηλώνει πως αυτομάτως οι ενεργειακές καταναλώσεις θα παρουσιάσουν αυξητικές τάσεις.

6.3 Βέλτιστο Σχεδιαστικό Κόστος ΚΜΕΙ

Στην περίπτωση των Κτιρίων Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια που μπορούν να αντιμετωπίσουν είναι το υψηλό αρχικό κόστος κατασκευής τους. Λόγω, της βέλτιστης ενσωμάτωσης διαφορετικών τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας και παραγωγής που ικανοποιούν την ενεργειακή ζήτηση

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

των κτιρίων με ελάχιστο κόστος βρίσκεται να αποτελεί την πρωταρχική αρχή ώστε να υπάρξει η περαιτέρω στοχευμένη επίτευξη ενός ΚΜΕΙ.

Κατά τον σχεδιασμό χρειάζεται να εφαρμοστούν διάφορες ολιστικές αρχές σχεδιασμού, ώστε να γίνει εφικτή η εξασφάλιση ενός οικονομικά αποδοτικού, φιλικού προς το περιβάλλον, καθώς και ενεργειακά ισορροπημένου ΚΜΕΙ παρέχοντας παράλληλα ένα άνετο περιβάλλον διαβίωσης για του ενοίκους. Σε γενικές γραμμές, οι στρατηγικές σχεδιασμού θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη πολλούς παράγοντες όπως οι τοπικές συνθήκες του μικροκλίματος κατά τόπους, οι μελλοντικές τάσεις κλιματικής αλλαγής (αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος), οι τύποι κτιρίων (π.χ. οικιακά κτίρια, βιομηχανικά κτίρια, κτιριακές εγκαταστάσεις γραφείων, αθλητικές εγκαταστάσεις κ.α.), το ενεργειακό κόστος που καταναλώνει η εγκατάσταση και ενεργειακές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εξοικονόμηση ενέργειας της εγκατάστασης με συστήματα ΑΠΕ, η λειτουργία των συστημάτων και η τεχνο-οικονομικά στοιχεία.

Ωστόσο, υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την βελτιστοποίηση των σχεδιαστικών λύσεων διαφορετικών ΚΜΕΙ και πολλές προσπάθειες έχουν γίνει για μοντέλα βελτιστοποίησης ενός ή και πολλαπλών στόχων, σχέδια υβριδικών ενεργειακών συστημάτων. Ένα λογισμικό το οποίο προωθεί την βελτιστοποίηση σχεδιασμού και χρησιμοποιείται για την διευκόλυνση της απαιτούμενης βελτιστοποίησης και σχεδιασμό των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με βάση το τρέχον καθαρό κόστος είναι το Υβριδικό Μοντέλο Βελτιστοποίησης για Ηλεκτρικές Ανανεώσιμες Πηγές (HOMER).

Με την συμβολή και χρήση του HOMER, υπάρχει η δυνατότητα σχεδίασης βέλτιστων αυτόνομων υβριδικών ενεργειακών συστημάτων, επιτρέποντας στον σχεδιαστή να μπορεί να πραγματοποιήσει την ελαχιστοποίηση του καθαρού τρέχοντος κόστους της κτιριακής εγκατάστασης. Μέσω βάσης δεδομένων του προγράμματος και επιτρέποντας στον σχεδιαστή, επίσης, να αποφασίσει την κατάλληλη και βέλτιστη για το κτίριο λύση συστήματος, έχοντας ως αποτέλεσμα, να δίνεται η ικανότητα εξοικονόμησης χρημάτων από το συνολικό κόστος της εγκατεστημένης ισχύς με προεπιλεγμένα μοτίβα συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή εναλλακτικές λύσεις, σε σχέση με την απαιτούμενη παραγόμενη ενέργεια του συστήματος βάσει των προϋποθέσεων και περιορισμών που έχουν τεθεί από τον σχεδιαστή.

6.4 Έξυπνη Διαχείριση των Ενεργειακών Αναγκών στα Κτίρια (BEMS)

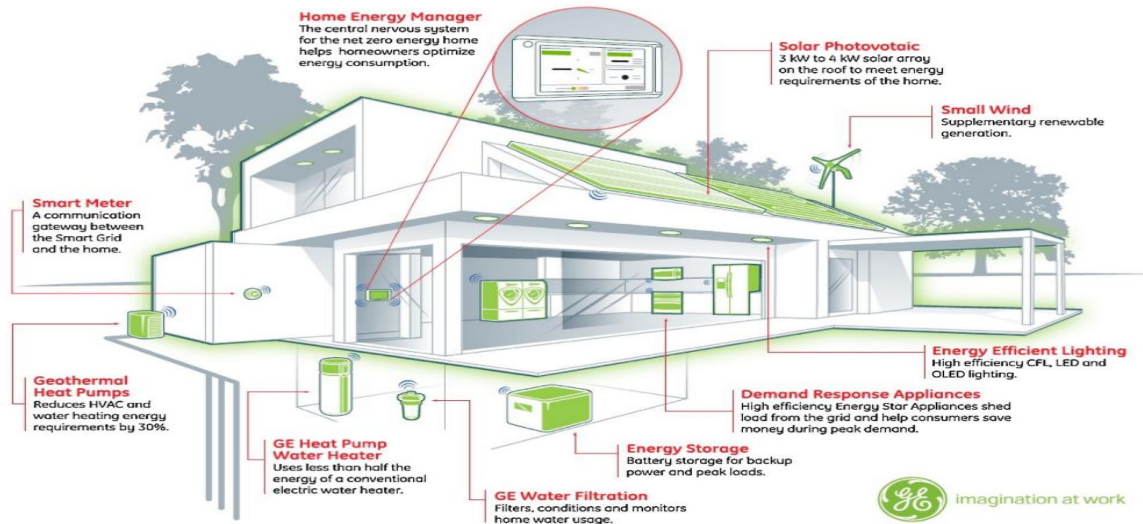
Η αποτελεσματική και έξυπνη διαχείριση των ενεργειακών και άλλων αναγκών στα κτίρια μπορεί να έχει σημαντικά οφέλη ως προς τις καταναλώσεις

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούνται. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας κτιρίου (BEMS) αποτελεί μια εξελιγμένη μέθοδος για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Παράλληλα με τη διαχείριση ενέργειας, το σύστημα μπορεί να ελέγχει και να παρακολουθεί μια μεγάλη ποικιλία άλλων πτυχών του κτιρίου, ανεξάρτητα από το αν είναι οικιστικού ή εμπορικού χαρακτήρα. Μερικά παραδείγματα αυτών λειτουργιών είναι η θέρμανση, ο εξαερισμός και ο κλιματισμός (HVAC), ο φωτισμός (τεχνητός-φυσικός) καθώς και τα μέτρα ασφαλείας.

Τα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίων (ΣΔΕΚ-BEMS), διαθέτουν την ικανότητα να ελέγχουν τις λειτουργίες του κτιρίου, επιτρέποντας ταυτόχρονα, την ομαλή και αποτελεσματική λειτουργία τους. Οι στρατηγικές ελέγχου και προγραμματισμού βρίσκονται να είναι ζωτικής σημασίας για τη συνολική απόδοση των ΚΜΕΙ, στα οποία είναι εγκατεστημένα υβριδικά συστήματα ενέργειας. Συνδυαστικά αποτελούν τα BEMS, ανάμεσα στα ΚΜΕΙ και το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα BEMS είναι υπεύθυνα για την επικοινωνία και τον ενεργειακό συντονισμό, μεταξύ κτιρίου και δικτύου. Χαρακτηριστικά, συνοδεύονται από τρεις (3) κύριες λειτουργίες ώστε να είναι ικανά να επιτύχουν εξοικονόμηση ενέργειας, οι οποίες είναι, ο έλεγχος και προγραμματισμός διαδικασιών του κτιρίου, κόστος και έλεγχος φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας και η εφαρμογή τους σε έξυπνα σπίτια ή εγκαταστάσεις, δημιουργώντας ένα όφελος εξοικονόμησης ενέργειας της τάξεως του 11,4% έως 16,2%. Στην παρακάτω Εικόνα 6.4.1 παρουσιάζεται χαρακτηριστικά η εφαρμογή ενός BEMS σε ένα σπίτι Κτίριο Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου. Ένα Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίου έχει την ικανότητα να συνδέσει και να ελέγξει διαφορετικές οικιακές συσκευές (οικιακές συσκευές, φωτισμός και HVAC), συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες και γεωθερμικά συστήματα) και να αλληλοεπιδρά με ένα έξυπνο δίκτυο (έξυπνο μετρητή και σύστημα αποθήκευσης ενέργειας).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 6.4.1: Αποτύπωση Συστήματος BEMS-ΣΔΕΚ σε Κτίριο Μηδενικού Ενεργειακού Ισοζυγίου (Πηγή: Cao et al., 2016).

Ο προγραμματισμός υβριδικών συστημάτων μπορεί να βελτιστοποιηθεί με ένα ΣΔΕΚ, αποφεύγοντας με αυτό τον τρόπο προβλήματα τα οποία μπορούν να προκύψουν, σε ένα συμβατικό σπίτι, με ζητήματα υψηλής ενεργειακής ζήτησης αιχμής. Συνεπώς, οφείλεται να αναφερθεί ότι μέσω μιας εφαρμογής BEMS σε συνδυασμό με έξυπνους μετρητές μπορεί να επιτρέψει στους ενοίκους καθώς και στα συστήματα να τροποποιούν τις ρυθμίσεις παραμέτρων με σκοπό την επιτυχημένη ενεργειακή ισορροπία του κτιρίου, διατηρώντας ταυτόχρονα την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, παρέχοντας έξυπνες πληροφορίες στο ηλεκτρικό δίκτυο διανομής. Ένα σύστημα BEMS για να μπορεί να έχει την ικανότητα να επικοινωνεί με τις διάφορες οικιακές ηλεκτρικές συσκευές καθώς επίσης και με το ηλεκτρικό δίκτυο απαιτούνται κατάλληλες ασύρματες τεχνολογίες δικτύωσης του συστήματος, οι οποίες σίγουρα ορίζονται ως οι καταλληλότερες συνθήκες για την παροχής επικοινωνίας εσωτερικής δικτύωσης σε ένα έξυπνο σπίτι.

Όπως είναι γνωστό τα συστήματα παραγωγής ενέργειας και κυρίως στην πλειοψηφία των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, βρίσκονται άμεσα εξαρτώμενα από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν κατά τόπους με αποτέλεσμα να προσδίδουν ένα βαθμό δυσκολίας, ώστε να ελεγχθούν και να εξασφαλίσουν τις απαιτούμενες ενεργειακές ανάγκες κάλυψης των κτιρίων κατά τη λειτουργία τους. Βάση της δεδομένης κατάστασης, λόγω, των διακυμάνσεων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η ταυτόχρονη ζήτηση ενέργειας των κτιρίων οδηγούν στην αστάθεια ενός συμβατικού μονόδρομου επικοινωνίας με το δίκτυο διανομής.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Στην περίπτωση ενσωμάτωσης των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις κτιριακές εγκαταστάσεις, επίσης προκαλεί μεγάλη πρόκληση για τους διαχειριστές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, διότι, ένα συμβατικό δίκτυο διανομής δεν μπορεί να εξυπηρετήσει τις επικοινωνιακές απαιτήσεις των Συστημάτων Διαχείρισης Ενέργειας των Κτιρίων. Σε αυτό το σημείο απαραίτητο κρίνεται ένα έξυπνο δίκτυο διανομής ώστε οι εφαρμογές των ΚΜΕΙ να μπορούν να λειτουργήσουν σωστά. Ένα έξυπνο δίκτυο, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί μια ενσωματωμένη λύση όπου νοητικά αποτελείται από αμφίδρομη επικοινωνία ή αλληλεπίδραση μεταξύ των κτιρίων και του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε η επικοινωνία των εφαρμογών των ΚΜΕΙ να υλοποιείται υπό ομαλές συνθήκες και κανονικότητα.

7. Τεχνικές Τεχνητής Νοημοσύνης

7.1 Τεχνητή Νοημοσύνη

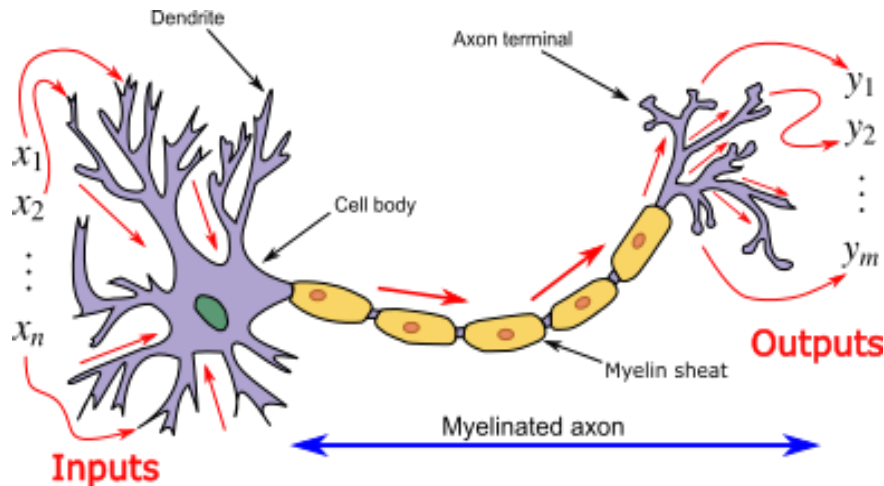
Στις αρχές της δεκαετίας του 1950 οι Herbert Simon, Allen Newell και Cliff Shaw πραγματοποίησαν πειράματα στη συγγραφή προγραμμάτων τα οποία θα βρίσκονταν ικανά να μιμηθούν τις ανθρώπινες διαδικασίες σκέψης. Τα πειράματα είχαν σαν αποτέλεσμα να καταλήξουν σε ένα κοινό πρόγραμμα το οποίο ονομάστηκε « Λογικός Ευρετικός » (δηλαδή, Λογική Μέθοδος Αυτοδιδασχής), το οποίο αποτελείται από κανόνες ήδη αποδεδειγμένων αξιωμάτων. Όταν του δόθηκε μια νέα λογική έκφραση, έγινε αναζήτηση σε όλες τις πιθανές πράξεις για να ανακαλύψει μια απόδειξη της νέας έκφρασης, χρησιμοποιώντας Μέθοδο Αυτοδιδασχής. Αυτό αποτέλεσε στο να γίνει ένα σημαντικό βήμα στην αναπτυξιακή πρόοδο της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligent, AI). Ο Θεωρητικός Λογισμός ήταν ικανός να λύσει γρήγορα 38 από τα 52 προβλήματα με αποδείξεις που επινόησε το ίδιο το πρόγραμμα.

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) έχει καθιερωθεί ως ο τομέας της επιστήμης των υπολογιστών, που είναι αφιερωμένος στην παραγωγή λογισμικών τα οποία βρίσκεται να είναι ικανά για εξελιγμένους, καθώς και ευφυής υπολογισμούς όμοιους με αυτούς που έχει την ικανότητα ο ανθρώπινος εγκέφαλος να εκτελεί κατά κόρων σε επίπεδο ρουτίνας. Περιλαμβάνει μεθόδους, εργαλεία και συστήματα αφιερωμένα στην προσομοίωση των ανθρώπινων μεθόδων λογικής και επαγωγικής απόκτησης γνώσης, τον προσδιορισμό της δραστηριότητας του εγκεφάλου για την επίλυση προβλημάτων.

Υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες εξέλιξης στην τεχνητή νοημοσύνη (Πίνακας 7.1.1). Η πρώτη κατηγορία, περιλαμβάνει μεθόδους και συστήματα που προσομοιώνουν την ανθρώπινη εμπειρία και βγάζουν συμπεράσματα από ένα σύνολο κανόνων, όπως τα ειδικά συστήματα. Η δεύτερη κατηγορία, περιλαμβάνει

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

συστήματα που μοντελοποιούν τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου, όπως για παράδειγμα είναι τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks).



Εικόνα 7.1.1: Αναπαράσταση Νευρικού Κυττάρου, Αρχή Λειτουργίας ANN (Πηγή: Ιστός, Wikimedia).

Διαφορές Προσέγγισης Μεταξύ Συμβατικού Υπολογιστικού Συστήματος Και Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων		
Χαρακτηριστικά	Συμβατικό Υπολογιστικό Μοντέλο (Συμπεριλαμβανόμενου των Εξυπνων Συστημάτων)	Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα
Ικανότητα Εκμάθησης	Με Κανόνες (Διδακτικά)	Με Παραδείγματα (Σωκρατική Μέθοδος)
Λειτουργικό Μοτίβο	Λογικός Διαδοχικός	Αντιληπτικό Μοτίβο Παράλληλο

Πίνακας 7.1.1: Διαφορές Προσέγγισης Μεταξύ των Δυο Κύριων Κατηγοριών Εξέλιξης στην Τεχνητή Νοημοσύνη (Πηγή τροποποιημένο από: Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Τα **Ειδικά Συστήματα (Expert Systems)**, είναι βασισμένα στη γνώση, δηλαδή αποτελούν μία επέκταση του συμβατικού υπολογισμού, επίσης, μερικές φορές ονομάζονται ως «η πέμπτη γενιά υπολογιστών». Αυτή η βάση γνώσεων επιτρέπει στους ειδικούς να καθορίζουν, οι ίδιοι, τους κανόνες οι οποίοι προσομοιώνουν μια διαδικασία σκέψης και μέσω αυτού, παρέχεται στον χρήστη, ένας απλός τρόπος εξαγωγής συμπερασμάτων, όπως επίσης και επίλυσης προβλημάτων ακολουθώντας ένα σύνολο κανόνων. Η ιδέα των ειδικών συστημάτων είναι ότι η λογική σκέψη μπορεί να μοντελοποιηθεί μέσω δημιουργίας λιστών λογικών προτάσεων και την πραγματοποίηση λογικών μετασχηματισμών πάνω σε αυτές. Τα ειδικά συστήματα (Expert Systems) βρίσκονται χρήσιμα για περιπτώσεις ιατρικής διάγνωσης και για άλλες διαγνωστικές λύσεις προβλημάτων. Μέσω αυτών, παρέχεται ένας οδηγός για πρόβλεψη καθώς και λήψη αποφάσεων, σε περιβάλλοντα τα οποία εμπλέκονται η αβεβαιότητα και η ασάφεια.

Τα **Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks)**, αποτελούν ψηφιοποιημένα μοντέλα του ανθρώπινου εγκεφάλου σε ψηφιακή μορφή, δηλαδή είναι προγράμματα υπολογιστών που έχουν σχεδιαστεί για να προσομοιώνουν τον τρόπο σκέψης, επεξεργασίας και λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου όταν λαμβάνει πληροφορίες. Όπως αναγράφεται και στον παραπάνω πίνακα 7.1.1, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα έχουν την ιδιαιτερότητα ‘να μαθαίνουν’ (εκπαιδεύονται) μέσω εμπειρίας, με κατάλληλα παραδείγματα μάθησης όπως ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση των ανθρώπων και όχι μέσω προγραμματιστικού υπολογισμού. Επίσης, συλλέγουν τις γνώσεις τους, ανιχνεύοντας τα πρότυπα και τις σχέσεις που προκύπτουν μέσω των δεδομένων που προκύπτουν. Για παράδειγμα, ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελεί ένα εξαιρετικό εργαλείο αναγνώρισης προτύπων. Όταν κοιτάμε ένα στυλό, αυτομάτως αντιλαμβανόμαστε ότι είναι ένα στυλό διότι οι βιολογικοί μας νευρώνες σε μία συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου μας έχουν συναντήσει ένα παρόμοιο μοτίβο εισόδου σε προηγούμενες περιπτώσεις και έχουν μάθει να συνδέουν αυτό το συγκεκριμένο μοτίβο με την περιγραφή του αντικειμένου «στυλό». Δεδομένου ότι ο εγκέφαλος μας περιέχει δισεκατομμύρια νευρώνες που βρίσκονται πλήρως διασυνδεδεμένοι έχουμε την ικανότητα να μαθαίνουμε και να αναγνωρίζουμε μια σχεδόν ατελείωτη ποικιλία μοτίβων εισόδου.

Πιο συγκεκριμένα, ο μέσος ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από περίπου 100 δισεκατομμύρια νευρώνες, από τους οποίους ο κάθε ένας διαθέτει 1000 έως 10000 ενώσεις με άλλους νευρώνες. Οι νευρώνες, αποτελούνται από το κυτταρικό σώμα στο οποίο περιλαμβάνει τον πυρήνα, ο οποίος ελέγχει την κυτταρική δραστηριότητα. Τα πολλά και λεπτά πέλματα που σχηματίζονται γύρω από το κυρίως σώμα, ονομάζονται δένδριτες. Οι δένδριτες, είναι υπεύθυνοι για την μεταφορά των πληροφοριών στο κύτταρο, ενώ ένα μεγάλου μήκους στέλεχος το

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

οποίο μοιάζει με νήμα, είναι γνωστό ως άξονας, ο οποίος μεταφέρει το σήμα (πληροφορία). Τα ερεθίσματα, μεταφέρονται διαμέσου του άξονα στη σύναψη. Η κομβική ένωση μεταξύ ενός νευρώνα με τον επόμενο και τα σήματα περνούν, από το ένα στο επόμενο με τρόπο που ή όλα ή κανένα δεν θα μεταφερθεί. Οι νευρώνες είναι οργανωμένοι σε ένα πλήρως διασυνδεδεμένο δίκτυο μεταξύ τους και λειτουργούν σαν αγγελιοφόροι οι οποίοι δέχονται και αποστέλλουν ερεθίσματα. Σαν αποτέλεσμα σε ένας νοήμον εγκέφαλος είναι ικανός να μαθαίνει, προβλέπει και να αναγνωρίζει (Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000).

7.2 Υπολογιστική Νοημοσύνη

Η Υπολογιστική Νοημοσύνη ονομάζεται επίσης και μη συμβολική ή συνδυαστική Τεχνητή Νοημοσύνη, η οποία βασίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος στη μίμηση βιολογικών διεργασιών όπως η λειτουργία του εγκεφάλου, η διαδικασία εξέλιξης των ειδών κ.α. Επίσης, βρίσκεται να είναι ο συνδυασμός της ασαφούς λογικής, των νευρωνικών δικτύων και των γενετικών αλγόριθμων, σε μία ενιαία μεθοδολογία επίλυσης γνωστικών προβλημάτων χωρίς να είναι απαραίτητη η διαθεσιμότητα μαθηματικών μοντέλων, παρά μόνο δεδομένων εισόδου – εξόδου.

Υπολογιστική νοημοσύνη είναι με λίγα λόγια ο επιστημονικός χώρος που προσφέρει τις τεχνικές για την προσπάθεια επίλυσης δύσκολων προβλημάτων, μέσω της μηχανικής μίμησης σε απλό επίπεδο, με βιολογικές διεργασίες και χωρίς να κρίνεται απαραίτητο να επιδεικνύει γενική νοημοσύνη. Τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνται για την υπολογιστική νοημοσύνη είναι:

✓ *Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks)*

Είναι μαθηματικά μοντέλα που προσομοιώνουν τον ανθρώπινο εγκέφαλο κατά την επεξεργασία πληροφοριών. Ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο αποτελείται από επίπεδα νευρώνων που συνδέονται μεταξύ τους με βάρη ενώ, σαν δομικά στοιχεία ελέγχονται από προσαρμοσμένες παραμέτρους και είναι ικανά να μαθαίνουν, να γενικεύουν και να αποκρίνονται με «ευφυΐα» σε νέα ερεθίσματα. Επίσης, πρόκειται για μοντελοποίηση « Μαύρου Κουτιού». Στα ΤΝΔ δεν χρίζεται απαραίτητη η υποστήριξη αρχικής γνώσης στη δομή τους, παρά μόνο η ύπαρξη δεδομένων εισόδου – εξόδου.

✓ *Έμπειρα Συστήματα (Expert Systems)*

Πρόκειται για πρόγραμμα υπολογιστή που ενσωματώνει γνώσεις που προέρχονται από εμπειρογνώμονες σε ένα συγκεκριμένο θέμα ώστε να έχει την ικανότητα να παρέχει ανάλυση προβλημάτων στους εκάστοτε

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

χρήστες. Επίσης, παρέχει συστάσεις στους χρήστες που έχουν μικρή εμπειρία στην επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος.

✓ *Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms)*

Προσομοιώνουν διεργασίες της εξελικτικής βιολογίας όπως η κληρονομικότητα (inheritance), η επιλογή (selection), η μετάλλαξη (mutation) και η διασταύρωση (crossover). Ακόμη, αποβλέπουν στη δημιουργία απλών τρόπων αναζήτησης λύσεων σε προβλήματα, που κατά κύριο λόγο επικρατούν η βελτιστοποίηση και η χρονοδρομολόγηση, τα οποία εξαρτώνται απόλυτα από μεγάλο πλήθος παραμέτρων, με αποτέλεσμα να καταλήγει στη βέλτιστη ή στην προσεγγιστική βέλτιστη λύση προβλημάτων βελτιστοποίησης.

✓ *Ασαφή Λογική (Fuzzy Logic)*

Αποτελούν μαθηματικά μέσα για να περιγράψουν την αοριστία με γλωσσικούς όρους μία συγκεκριμένη μαθηματική περιγραφή. Θεωρούνται, ιδανικά να αντιμετωπίζουν αβεβαιότητες και κατά προσέγγιση συλλογιστικές. Επίσης, χρησιμοποιούν συναρτήσεις συμμετοχής (membership functions) με τιμές μεταξύ 0 και 1 για να αντιπροσωπεύουν τον βαθμό αληθείας μερικών γεγονότων ή συνθηκών (Παπαγεωργίου 2019-2020).

7.3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks)

Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο αποτελεί ένα βιολογικό καλώς εμπνευσμένο υπολογιστικό μοντέλο διαμορφωμένο από εκατοντάδες μονά στελέχη, τεχνητών νευρώνων, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με συντελεστές (Weights-Βάρη), όπου με τη σειρά τους αποτελούν τη νευρωνική δομή του συστήματος. Επίσης, είναι γνωστά και ως στοιχεία επεξεργασίας (Processing Elements, PE), λόγω της ιδιότητας τους να επεξεργάζονται πληροφορίες. Κάθε στοιχείο επεξεργασίας (PE) διαθέτει σταθμισμένες εισόδους, συνάρτηση μεταφοράς και μια έξοδο. Δηλαδή, μια σταθμισμένη είσοδος μπορεί να χαρακτηριστεί και ως μια εισερχόμενη σύνδεση, η οποία έχει δυο τιμές που σχετίζονται με αυτή, μια τιμή εισόδου και ένα βάρος (Weight, W_i). Η συνάρτηση μεταφοράς ($\sum x_i w_i$) πάντα εξαρτάται από το είδος του προβλήματος τον αριθμό των εισόδων καθώς και των βαρών που τίθενται για διερεύνηση. Στην περίπτωση της εξόδου, αποτελεί την συνάρτηση της συνολικής τιμής του συστήματος.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, ενώ εφαρμόζονται σε υπολογιστές, δεν είναι, ωστόσο, προγραμματισμένα να εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες. Αντίθετα, εκπαιδεύονται σε σχέση με τα σύνολα δεδομένων που έχουν εισαχθεί στο σύστημα,

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

μέχρι να μπορούν να αντιλαμβάνονται τα μοτίβα που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι. Μόλις εκπαιδευτούν, υπάρχει η δυνατότητα να τους παρουσιαστούν νέα μοτίβα, ώστε να γίνει η πρόβλεψη και η ταξινόμηση των δεδομένων. Επίσης, μπορούν αυτόματα να εκπαιδευτούν, να αναγνωρίζουν μοτίβα δεδομένων από πραγματικά συστήματα ή φυσικά μοντέλα, υπολογιστικά προγράμματα ή άλλες πηγές.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN), μπορούν να θεωρηθούν ως απλοποιημένα μαθηματικά μοντέλα, παρόμοια με τα συστήματα λειτουργίας του εγκεφάλου, και λειτουργούν ως παράλληλα καταναμημένα υπολογιστικά δίκτυα. Ωστόσο, σε αντίθεση με τους συμβατικούς υπολογιστές, οι οποίοι είναι προγραμματισμένοι να εκτελούν συγκεκριμένες συνθήκες και εργασίες, τα περισσότερα νευρωνικά δίκτυα πρέπει να διδάσκονται ή να εκπαιδεύονται για να μπορούν να είναι πιο αποτελεσματικά. Μπορούν να μάθουν νέες συσχετίσεις, νέες συναρτήσεις εξάρτησης, καθώς και νέα μοτίβα. Τα Νευρωνικά Δίκτυα αποφεύγουν την ανάγκη χρήσης σύνθετων μαθηματικών μοντέλων, υπολογιστικών μεθόδων, όπως επίσης μη πρακτικών και δαπανηρών φυσικών μοντέλων.

Η επιτυχία των Νευρωνικών Δικτύων οφείλεται σε μερικά χαρακτηριστικά που τα κάνουν να διακρίνονται από τις συμβατικές υπολογιστικές μεθόδους-τεχνικές, αυτές είναι:

- ✓ Ο άμεσος τρόπος με τον οποίο τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα αποκτούν πληροφορίες και γνώσεις σχετικά με έναν συγκεκριμένο τομέα προβλημάτων (εκμάθηση ενδιαφέρων και πιθανώς μη γραμμικών σχέσεων) μέσω της φάσης «εκπαίδευσης».
- ✓ Τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να λειτουργήσουν με αριθμητικά ή αναλογικά δεδομένα, όπου σε άλλες περιπτώσεις θα ήταν δύσκολο να αντιμετωπιστούν με άλλα μέσα λόγω της μορφής των δεδομένων ή επειδή υπάρχουν τόσες πολλές μεταβλητές.
- ✓ Στην περίπτωση της διαδικασίας ανάλυσης των νευρωνικών δικτύων, αυτή η φάση μπορεί να εκληφθεί ως μια προσέγγιση «μαύρου κουτιού», με τον χρήστη να μην απαιτεί εξελιγμένες μαθηματικές γνώσεις.
- ✓ Η ενιαία μορφή με την οποία οι αποκτηθείσες πληροφορίες και γνώσεις αποθηκεύονται στο εκπαιδευόμενο δίκτυο και η ευκολία με την οποία μπορεί να έχει ο χρήστης πρόσβαση και να την χρησιμοποιήσει.
- ✓ Οι λύσεις των νευρωνικών δικτύων μπορεί να είναι ισχυρές ακόμη και στην περίπτωση όπου στα δεδομένα εισόδου δύναται να υπάρχει παρουσία «θορύβου».
- ✓ Ενώ μεγάλος βαθμός ακρίβειας, αναφέρεται γενικευμένα, όταν τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα επεξεργάζονται δεδομένα που δεν έχουν

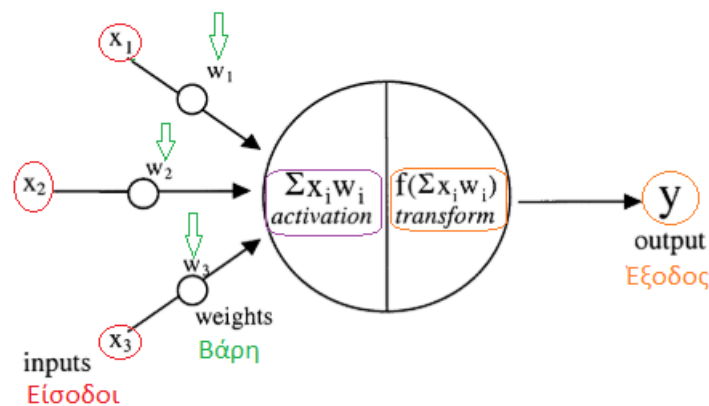
Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

ξανά εισαχθεί (δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για τη φάση «εκπαίδευσης») από τον τομέα προβλημάτων.

Ωστόσο, όλα τα μοντέλα νευρωνικών δικτύων που κατά περιόδους έχουν προταθεί στην επιστημονική κοινότητα κατά το πέρασμα των χρόνων, διαθέτουν ένα κοινό δομικό στοιχείο, γνωστό ως νευρώνας και δομή δικτυακής συσχέτιση. Είναι γεγονός ότι υπάρχουν πολλοί τύποι νευρωνικών δικτύων που έχουν σχεδιαστεί μέχρι τώρα, ενώ παράλληλα κάθε μέρα που περνάει όλο και αυξάνονται, όμως όλα μπορούν να περιγραφούν από τις λειτουργίες μεταφοράς των νευρώνων, όπως, επίσης από τον κανόνα μάθησης και από την σύνθεση της σύνδεσης.

7.3.1 Τεχνητός Νευρώνας (Neuron)

Ο τεχνητός νευρώνας είναι το δομικό συστατικό του τεχνητού νευρωνικού δικτύου που είναι έτσι σχεδιασμένο για να μπορεί να προσομοιώνει τη λειτουργία του βιολογικού νευρώνα. Τα σήματα τα οποία έρχονται σαν ερεθίσματα, ονομάζονται είσοδοι και πολλαπλασιάζονται με τα βάρη σύνδεσης (προσαρμοζόμενα), αφού γίνει αθροιστικό σύνολο (ενοποίηση) εν συνεχεία προωθούνται μέσω μιας συνάρτησης μεταφοράς, παράγοντας την έξοδο του νευρώνα (Εικόνα 7.3.1.1). Η συνάρτηση ενεργοποίησης είναι το άθροισμα βαρών των εισόδων του νευρώνα και η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη συνάρτηση μεταφοράς είναι η σιγμοειδής συνάρτηση (Sigmoid Function).



Εικόνα 7.3.1.1: Μοντέλο Τεχνητού Νευρώνα (Πηγή τροποποιημένο από: Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000).

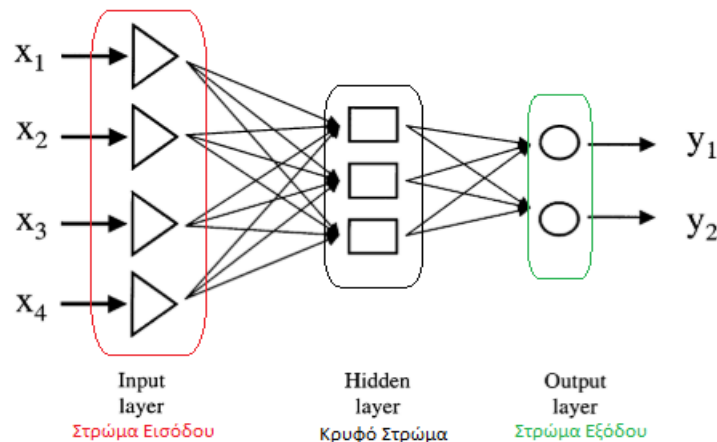
7.3.2 Τύπος Σύνδεσης (Connection Formula)

Ο τρόπος με τον οποίο οι νευρώνες συνδέονται μεταξύ τους, έχει σημαντικό αντίκτυπο κατά την διάρκεια της διεργασίας του τεχνητού νευρωνικού δικτύου. Όπως ακριβώς οι «πραγματικοί» νευρώνες, οι τεχνητοί νευρώνες έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν είτε διεγερτικές ή ανασταλτικές εισόδους.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Οι διεγερτικές είσοδοι αλληλοεπιδρούν με τον αθροιστικό μηχανισμό του επόμενου νευρώνα δημιουργώντας συνθήκες στο σύστημα να προσθέσει, αντίθετα, όταν υπάρχουν ανασταλτικές είσοδοι προδιαθέτουν το σύστημα να αφαιρέσει. Ένας νευρώνας μπορεί επίσης να αναστείλει άλλους νευρώνες στο ίδιο στρώματος. Αυτό ονομάζεται “πλευρική αναστολή”. Η πιο κοινή χρήση αυτού είναι στο επίπεδο εξόδου. Για παράδειγμα, στην αναγνώριση κειμένου εάν η πιθανότητα ενός χαρακτήρα που μπορεί να είναι το “P” με 0,85 και η εναλλακτική πιθανότητα χαρακτήρα να είναι το “F” με 0,65, το δίκτυο θέλει να «επιλέξει» τη μεγαλύτερη πιθανότητα εμποδίζοντας τις άλλες. Μπορεί να το κάνει με πλευρική αναστολή. Αυτή η έννοια ονομάζεται επίσης «ανταγωνισμός».

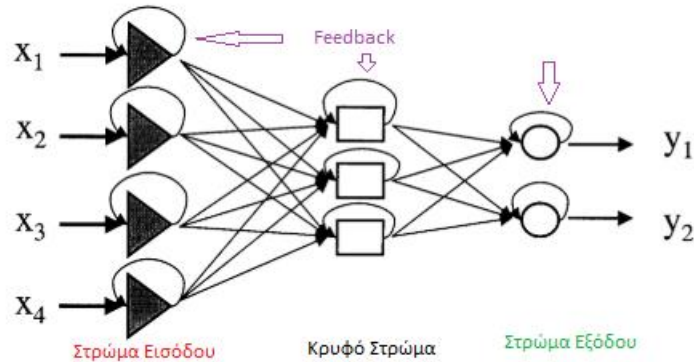
Δυο τύποι αρχιτεκτονικής μπορούν να προσδιορίσουν ανάλογα με την απουσία ή την παρουσία μιας σύνδεσης ανάδρασης σε ένα δίκτυο. Η αρχιτεκτονική Feedforward (προώθησης) δεν έχει σύνδεση πίσω από την έξοδο στους νευρώνες εισόδου και επομένως δεν έχει την ιδιότητα να διατηρεί αρχείο των προηγούμενων τιμών εξόδου όπως εμφανίζεται στην Εικόνα 7.3.2.1.



Εικόνα 7.3.2.1: Feedforward Δίκτυο (Πηγή προσαρμοσμένο από: Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000).

Η αρχιτεκτονική Feedback (Ανατροφοδότησης), έχει συνδέσεις στις εξόδους των εισόδων των νευρώνων. Η ανατροφοδότηση είναι ένας άλλος τύπος σύνδεσης όπου η έξοδος ενός στρώματος επιστρέφει στην είσοδο ενός προηγούμενου στρώματος ή στο ίδιο στρώμα. Κάθε νευρώνας έχει ένα επιπλέον βάρος ως είσοδο που θα επιστρέψει έναν επιπλέον βαθμό ελευθερίας τη στιγμή που θα προσπαθήσει να ελαχιστοποιήσει το λάθος της εκπαίδευσης Εικόνα 7.3.2.2.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 7.3.2.2: Feedback Δίκτυο (Πηγή προσαρμοσμένο από: Agatonovic-Kustrin & Beresford, 2000).

Ένα τέτοιο δίκτυο (Feedback) έχει την ικανότητα να διατηρεί μνήμη από την προηγούμενη κατάσταση, έτσι ώστε να μην εξαρτάται μόνο από τα σήματα εισόδου, αλλά και από τις προηγούμενες καταστάσεις που προ υπήρξαν στο δίκτυο.

7.3.3 Κανόνες Εκμάθησης

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί κανόνες εκμάθησης, αλλά οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι είναι ο κανόνας Delta και ο κανόνας Back propagation,

✓ Delta Rule

Στη μηχανική μάθηση, ο κανόνας Delta είναι ένας κανόνας εκμάθησης κλίσης για την ενημέρωση των βαρών εισόδου προς τους τεχνητούς νευρώνες ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου μίας στρώσης. Είναι μια ειδική περίπτωση του γενικού αλγορίθμου Backpropagation.

$$\Delta w_{ji} = a(t_j - y_j)g'(h_j)x_i$$

Όπου:

a : είναι μια μικρή σταθερά που ονομάζεται ρυθμός εκμάθησης

$g(x)$: είναι η λειτουργία ενεργοποίησης του νευρώνα

g' : είναι το παράγωγο του g

t_j : είναι η ο στόχος εξόδου

h_j : είναι το σταθμισμένο άθροισμα των εισόδων του νευρώνα

y_j : είναι η πραγματική έξοδος

x_i : είναι οι i th εισοδοι

✓ Backpropagation Rule

Ο κανόνας Backpropagation, είναι μια συντομογραφία του “backwards propagation of errors” (οπισθοδρομική διάδοση των λαθών). Είναι ένας αλγόριθμος για την εποπτευόμενη εκμάθηση τεχνητών νευρωνικών

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

δικτύων χρησιμοποιώντας ενισχυμένη κλίση. Δεδομένου ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου και μιας συνάρτησης σφάλματος, η μέθοδος υπολογίζει τη κλίση της συνάρτησης σφάλματος σε σχέση με τα βάρη του δικτύου. Είναι δηλαδή μια γενίκευση του κανόνα Delta για τα perceptrons (ένα μοντέλο υπολογιστή ή μηχανογραφημένο μηχάνημα που σχεδιάστηκε για να αντιπροσωπεύει ή να προσομοιώνει την ικανότητα του εγκεφάλου να αναγνωρίζει και να κάνει διακρίσεις), σε πολυστρωματικά feedforward νευρωνικά δίκτυα.

Το "backwards" μέρος του ονόματος προέρχεται από το γεγονός ότι ο υπολογισμός της κλίσης προχωρά προς τα πίσω μέσω του δικτύου, με την κλίση του τελικού στρώματος βαρών να υπολογίζεται πρώτη και την κλίση του πρώτου στρώματος βαρών να υπολογίζεται τελευταία. Μερικοί υπολογισμοί της κλίσης από ένα επίπεδο επαναχρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της κλίσης για το προηγούμενο επίπεδο. Αυτή η αντίστροφη ροή των πληροφοριών σφάλματος επιτρέπει τον αποτελεσματικό υπολογισμό της κλίσης σε κάθε στρώμα έναντι της αφελούς προσέγγισης του υπολογισμού της κλίσης κάθε στρώματος ξεχωριστά.

Ένα νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύεται για τη χαρτογράφηση ενός συνόλου δεδομένων εισόδου με επαναλαμβανόμενη προσαρμογή των βαρών. Η χρήση των σταθμισμένων συνδέσμων βρίσκεται να είναι απαραίτητη ώστε να γίνει η αναγνώριση των εκάστοτε ικανοτήτων του τεχνητού νευρωνικού δικτύου (ΤΝΔ). Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τις εισόδους, εν συνεχεία τροφοδοτούνται μέσω του δικτύου για τη βελτιστοποίηση των βαρών μεταξύ των νευρώνων. Το ΤΝΔ διαβάζει τις τιμές εισόδου και εξόδου στο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης και αλλάζει την τιμή των σταθμισμένων συνδέσμων για να μειώσει τη διαφορά προβλεπόμενων και των τιμών στόχου (Target Values). Το σφάλμα πρόβλεψης ελαχιστοποιείται, μετά από πολλούς κύκλους εκπαίδευσης, έως ότου το δίκτυο φτάσει στο καθορισμένο επίπεδο ακριβείας.

7.3.4 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα και Εποπτείες Εκπαίδευσης

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες ενότητες, υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ), μερικοί από τους οποίους βρίσκονται να είναι δημοφιλής και κάποιοι όχι τόσο. Όταν τα ΤΝΔ χρησιμοποιούνται για την ανάλυση δεδομένων, χρίζεται σημαντικό να γίνεται διάκριση μεταξύ των ΤΝΔ μοντέλων (διάταξη δικτύου) και των αλγορίθμων (υπολογισμοί οι οποίοι θα προσφέρουν στο τελικό αποτέλεσμα των εξόδων). Μόλις, το δίκτυο το ΤΝΔ δομηθεί για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, αυτομάτως χρίζεται έτοιμο προς εκπαίδευση.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Υπάρχουν τρεις (3) προσεγγίσεις για το σκέλος της εκπαίδευσης των τεχνητών νευρωνικών δικτύων:

εποπτευόμενης εκπαίδευσης

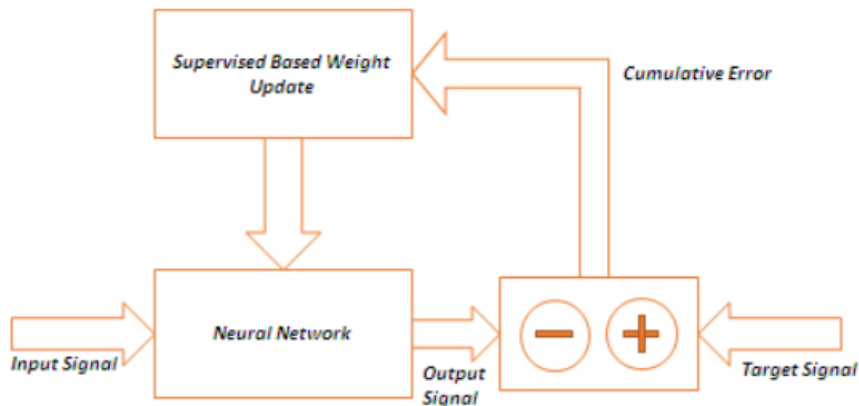
Η εποπτευόμενη μάθηση βασίζεται στην εκπαίδευση ενός δείγματος δεδομένων από την πηγή δεδομένων με σωστή ταξινόμηση που έχει ήδη καταχωρηθεί. Τέτοιες τεχνικές χρησιμοποιούνται σε μοντέλα feedforward (τροφοδότησης) ή multilayer perceptron (πολυστρωματικό αντιληπτικό νευρώνα). Αυτά τα Multilayer Perceptron (MLP) διαθέτουν τρία διακριτικά χαρακτηριστικά:

1. Ένα ή περισσότερα στρώματα κρυφών νευρώνων που δεν αποτελούν μέρος των επιπέδων εισόδου ή εξόδου του δικτύου που επιτρέπουν στο εκάστοτε δίκτυο να μάθει και να λύσει τυχόν σύνθετα προβλήματα.
2. Η μη γραμμικότητα που αντικατοπτρίζεται στην νευρωνική δραστηριότητα του δικτύου είναι διαφοροποιήσιμη και
3. το μοντέλο διασύνδεσης του δικτύου παρουσιάζει υψηλό βαθμό συνδεσιμότητας.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά μαζί με την εκμάθηση του συστήματος μέσω εκπαιδευτικών δεδομένων, προσδίδουν την ικανότητα στο δίκτυο να επιλύει δύσκολα και ποικίλα προβλήματα (Sathya & Abraham, 2013). Η εκμάθηση μέσω εκπαίδευσης σε υπό επίβλεψη ΤΝΔ-μοντέλο ονομάζεται επίσης αλγόριθμος επαναφοράς του σφάλματος. Επίσης, η εποπτευόμενη μάθηση έχει καθήκον να υποθέτει, ποια συνάρτηση θα επιλεγεί από τα επισημασμένα δεδομένα εκπαίδευσης τα οποία αποτελούν ένα σύνολο μοντέλων εκπαίδευσης. Σε αυτό το σύστημα εκπαίδευσης, η εξωτερική πηγή μεταφέρει το δίκτυο μέσω ενός συνόλου ερεθισμάτων ανάδρασης για τα οποία η έξοδος αναγνωρίστηκε προηγουμένως και για την περίοδο της διαδικασίας εκτέλεσης, τα αποτελέσματα εξόδου σχετίζονται συνεχώς με τις επιθυμητές πληροφορίες.

Όταν έχουν πλέον πραγματοποιηθεί ορισμένες επαναλήψεις, ο κανόνας ομαλής κλίσης χρησιμοποιεί το σφάλμα μεταξύ της πραγματικής εξόδου και των πληροφοριών στόχου για να ομαλοποιήσει τα βάρη σύνδεσης, με αποτέλεσμα να επιτευχθεί η πλησιέστερη αντιστοίχιση μεταξύ του σήματος στόχου (+) και του πραγματικού σήματος εξόδου (-), στο αθροιστικό σφάλμα (error) και προς τα κάτω για να ενημερωθούν τα βάρη όπως παρουσιάζεται στη Εικόνα 7.3.1.1. Επομένως, η εποπτευόμενη εκπαίδευση βασίζεται κατά κύριο λόγο στα γεγονότα όπου τα δεδομένα αποτελούν μια πραγματική κατηγορία και είναι γνωστά (Dike et al., 2019).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 7.3.1.1: Εποπτευόμενη Εκπαίδευση ΤΝΔ (Πηγή: Dike et al., 2019).

Τα βήματα ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεση ενός εποπτευόμενου δικτύου ΤΝΔ και να υπάρξει επίλυση ορισμένων ζητημάτων απαιτούνται τα ακόλουθα:

- Επιλογή Δεδομένων Εκπαίδευσης
- Συλλογή Συνόλου Εκπαίδευσης
- Ορισμός της Απεικόνισης Δεδομένων Εισόδου της Εκπαιδευόμενης (trained) Συνάρτησης
- Έλεγχος της Διαμόρφωσης της και του Προσαρμοσμένου Αλγόριθμου Εκπαίδευσης
- Ολοκλήρωση του Σχεδιασμού και Εκτέλεση του Αλγόριθμου Εκμάθησης στα Συλλεγμένα Δεδομένα Εκπαίδευσης
- Εκτίμηση της Ορθότητας της Διδαγμένης Εργασίας.

Ένα υπόδειγμα εποπτευόμενης εκπαίδευσης ενός ΤΝΔ, είναι αποτελεσματικό και ικανό να βρίσκει λύσεις σε πολλά γραμμικά και μη, προβλήματα. Όπως η ταξινόμηση, ο έλεγχος κτιριακών εγκαταστάσεων, προβλέψεις (καιρού, κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κ.α.), η ρομποτική κ.λπ.

εξαναγκασμένη εκπαίδευση

Το είδος αυτό της μηχανικής μάθησης υποκινείται από μια συμπεριφοριστική ψυχολογία. Η Ενισχυμένη Εκμάθηση (Reinforcement Learning) εκπαιδεύεται μέσω υπερσυνδέσεων με τα περιβάλλοντα αντικείμενα ή το περιβάλλον. Μια ενισχυμένη εκμάθηση (RL) διαχειρίζεται ή εποπτεύει μαθήσεις από την σπουδαιότητα των δραστηριοτήτων του δικτύου, παρά από το να έχει εκπαιδευτεί, σαφώς, από έτοιμα δεδομένα εκπαίδευσης, επίσης επιλέγει τις ενέργειες του για να βασίσει τις προηγούμενες πληροφορίες που έχει δεχθεί μέσω νέων επιλογών, οι οποίες βασικά είναι τεχνικές εκμάθησης δοκιμής (trial) και λάθους (error). Δηλαδή, έχει την

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

ικανότητα να αυτοπροσδιορίζει τον τρόπο επίλυσης ενός προβλήματος μέσω συστημάτων και δικτύων τα οποία στο παρελθόν είχαν την δυνατότητα να οδηγήσουν σε αποδεκτά-επιθυμητά αποτελέσματα. Η ενίσχυση που λαμβάνει ο εποπτεύον κανόνας είναι μια αριθμητική ανταμοιβή, η οποία κωδικοποιεί την επιτυχία του αποτελέσματος μιας ενέργειας, ενώ ο επόπτης προσπαθεί να μάθει να επιλέγει ενέργειες που μεγιστοποιούν τη συσσωρευμένη ανταμοιβή με την πάροδο του χρόνου.

Αυτό διαφέρει από την κλασική εποπτευόμενη μάθηση καθώς, δεν παρουσιάζονται ακριβή σύνολα δεδομένων εισόδου/εξόδου. Αντ' αυτού, η έμφαση δίνεται στην παρουσίαση, η οποία περιλαμβάνει την εξεύρεση ισορροπίας μεταξύ της εξερεύνησης (του αχαρτογράφητου μέρους) και της εκμετάλλευσης των τρεχόντων δεδομένων.

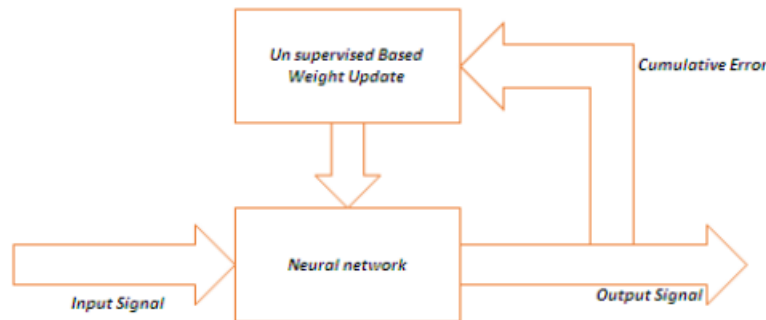
μη εποπτευόμενη εκπαίδευση (Self-Organizing Neural Networks)

Η μη εποπτευόμενη εκπαίδευση ή τα αυτό-οργανωτικά νευρωνικά δίκτυα, όπως διαφορετικά μπορούν να ονομαστούν, εκπαιδεύονται χρησιμοποιώντας αλγόριθμο ο οποίος μπορεί να εκπαιδεύσει το δίκτυο χωρίς επίβλεψη να μπορεί να εντοπίζει κρυφά μοτίβα σε δεδομένα για τα οποία δεν υπάρχει αναφορά προέλευσης. Η μη εποπτευόμενη εκπαίδευση είναι ένα σύστημα μηχανικής μάθησης το οποίο ενεργοποιεί μια υποθετική συνάρτηση για να μπορέσει να καθορίσει την κρυφή δομή των μη επισυναπτόμενων δεδομένων. Αυτό δεν αποτελεί τίποτα άλλο πέρα από έναν αλγόριθμο μάθησης ο οποίος δεν περιέχει έτοιμα δεδομένα για την επίβλεψη της μάθησης/κατάρτισης του. Στον αλγόριθμο, ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων και χαρακτηριστικών από κάθε παρατήρηση του συστήματος, παρέχεται με εισόδους αλλά όχι με επιθυμητή έξοδο.

Η μη εποπτευόμενη μάθηση, χρησιμοποιείται συνήθως, για τον διαχωρισμό των εικόνων σε δυο σύνολα (ομαδοποιήσεις) ή συστάδες με βάση ορισμένα έμφυτα χαρακτηριστικά των εικόνων, όπως το χρώμα, το μέγεθος, το σχήμα κ.λπ.

Εξίσου υποδηλώνεται ως αλγόριθμος αυτό-οργάνωσης ή προσαρμοσμένης μάθησης λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχει εξωτερική βάση δεδομένων για την παροχή πληροφοριών στο δίκτυο (Εικόνα 7.3.1.2).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 7.3.1.2: Μη Εποπτευόμενο Δίκτυο ΤΝΔ (Πηγή: Dike et al., 2019).

Αυτό βασίζεται στα τοπικά γεγονότα και τον εσωτερικό μηχανισμό (δηλαδή, το σύστημα αποκτά γνώσεις από μόνο του, μαθαίνοντας και εξοικειώνοντας τις ζωτικές πληροφορίες στα επίπεδα εισόδου). Τα εκπαιδευτικά σχήματα και τα πρότυπα εισόδου προσφέρονται προς το σύστημα, το οποίο με την σειρά του ταξινομεί αυτά τα δεδομένα σε κατηγορίες ή ομάδες. Μια ομάδα προτύπων εκπαίδευσης ή δεδομένων δίνεται στο σύστημα στο στάδιο της εισόδου. Τα συσχετιζόμενα βάρη με το δίκτυο προσαρμόζονται σε κάποιο είδος αντιπαλότητας μεταξύ των κόμβων στο επίπεδο της εισόδου, όπου ο κόμβος με την υψηλότερη τιμή θα παρουσιαστεί και σαν ο επιτυχημένος υποψήφιος.

Η μη εποπτευόμενη μάθηση βρίσκεται κυρίως να είναι χρήσιμη για την εφαρμογή αλγορίθμων ομαδοποίησης (Clustering), συσχέτισης (Correlation), αναγνώριση ομιλίας (Speech Recognition), διανυσματική κωδικοποίηση (Vector Coding) κ.α. Επίσης, η έλλειψη κατεύθυνσης για τον αλγόριθμο εκπαίδευσης της μη εποπτευόμενης μάθησης μπορεί ορισμένες φορές να αποτελεί και προτέρημα, καθώς επιτρέπεται στον αλγόριθμο να αναζητήσει στο παρελθόν μοτίβα τα οποία δεν είχαν ληφθεί υπόψη. Τα κύρια χαρακτηριστικά της μη εποπτευόμενης μάθησης ή των δικτύων με αλγόριθμους αυτό-οργάνωσης είναι:

- Να μετατρέπει ένα εισερχόμενο σήμα ενός μοτίβου αυθαίρετης διάστασης σε χάρτη ενός ή δυο διαστάσεων και να εκτελεί τον μετασχηματισμό του προσαρμοστικά.
- Το δίκτυο αντιπροσωπεύει τη δομή τροφοδότησης, με ένα μόνο υπολογιστικό στρώμα αποτελούμενο από νευρώνες διατεταγμένους σε σειρές και στήλες.
- Σε κάθε στάδιο αναπαράστασης, κάθε εισερχόμενο σήμα κρατάτε σε κατάλληλο πλαίσιο.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

- Οι νευρώνες που ασχολούνται με στενά συνδεδεμένα μέρη των τροφοδοτούμενων πληροφοριών είναι πολύ κοντά μεταξύ τους και επικοινωνούν μέσω συναπτικών (Synaptic) συνδέσεων.

Το υπολογιστικό στρώμα, επίσης, καλείται ως και ανταγωνιστικό στρώμα αφού οι νευρώνες στο στρώμα ανταγωνίζονται ο ένας τον άλλο για το ποιος θα γίνει ενεργός. Ως εκ τούτου, αυτός ο αλγόριθμος εκπαίδευσης ονομάζεται ανταγωνιστικός αλγόριθμος. Ο μη εποπτευόμενος αλγόριθμος σε ένα αυτό-οργανωμένο χάρτη λειτουργεί σε τρεις φάσεις:

- i. Τη φάση Ανταγωνισμού (Competition Phase)
- ii. Τη φάση Συνεργασίας (Cooperative Phase)
- iii. Και τη φάση Προσαρμογής (Adaptive Phase)

Επίσης, τελειώνοντας θα αναφερθούμε στο τι περιλαμβάνουν οι αλγόριθμοι της μη εποπτευόμενης μάθησης:

- Ομαδοποίηση:
Η ομαδοποίηση είναι η διαδικασία ευθυγράμμισης ενός συνόλου οντοτήτων έτσι ώστε οι οντότητες να μοιάζουν με την ομάδα (που ονομάζεται σύμπλεγμα) και να μοιάζουν μεταξύ τους παρά με αυτές των άλλων ομάδων. Η ομαδοποίηση είναι το κύριο μέρος της διερευνητικής εξόρυξης δεδομένων και ακολουθεί μια κοινή διαδικασία ανάλυσης αριθμητικών δεδομένων, που χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς όπως η μηχανική μάθηση, ανάκτηση πληροφοριών κ.α.
- Ανίχνευση Ανωμαλιών:
Στον τομέα της εξόρυξης δεδομένων, η ανίχνευση ανωμαλίας που μπορεί επίσης να περιγραφεί ως εξωγενείς, θόρυβος, απόκλιση, πρωτοπορία και εξαίρεση, είναι η αναγνώριση στοιχείων, παρατηρήσεων ή γεγονότων, που δεν προσαρμόζεται σε ένα προβλεπόμενο σχέδιο ή άλλα στοιχεία, σε ένα σύνολο δεδομένων.
- Νευρωνικά Δίκτυα:
Στην τακτική των Νευρωνικών Δικτύων περιλαμβάνεται:
 - Οι αυτό-κωδικοποιητές (autoencoders):
Αυτοκωδικοποιητές, επίσης είναι γνωστοί ως αυτοσυσχέτισης (autoassociator), χρησιμοποιούνται σε μη εποπτευόμενη μάθηση για να επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερη κωδικοποίηση. Ωστόσο, ο κύριος σκοπός ενός αυτόματου κωδικοποιητή είναι μελετήσει κωδικοποιήσεις ή αναπαραστάσεις ενός συνόλου δεδομένων, ειδικότερα σε σκοπούς που αφορούν την μείωση των διαστάσεων.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

- Τα Δίκτυα Βαθιάς Πίστης (deep belief networks):
Πρόκειται για μια κατηγορία Βαθέων Νευρωνικών Δικτύων, αποτελείται από διάφορα στρώματα κρυφών μονάδων ή λανθανουσών μεταβλητών, με ορισμένες συνδέσεις μεταξύ των στρωμάτων αλλά όχι μεταξύ των μονάδων που βρίσκονται μέσα σε κάθε στρώμα.
- Hebbian Learning:
Αυτό το είδος δικτύου, προτείνει εξηγήσεις για την διαφοροποίηση των νευρώνων στον εγκέφαλο κατά την διάρκεια του σταδίου της εκπαίδευσης. Η απεικόνιση βασίζεται στο μηχανισμό συναπτικής πλαστικότητας, όπου συναντάται αυξητική τάση της σύναψης (η ακεραιότητα της μετάδοσης των σημάτων εξαρτάται από αποτελεσματικότητα των συνάψεων) από τα προσυναπτικά κύτταρα, με συνεχόμενη και σταθερή διέγερση του μετασυναπτικού κυττάρου.
- Γενεσιουργά Αντιπαλόμενα Δίκτυα (generative adversarial networks):
Αυτό το δίκτυο, επιτυγχάνεται με μια δομή δυο νευρωνικών δικτύων, που ανταγωνίζονται μεταξύ τους, μετατρέποντας την διαδικασία σε ένα είδος διαγωνιστικού παιχνιδιού μηδενικού αθροίσματος. Και έχει την ικανότητα, να δημιουργήσει φωτογραφίες, που φαίνονται υπερφυσικά ακριβής στο ανθρώπινο μάτι, ενώ ταυτόχρονα διαθέτει πολλές ρεαλιστικές δομές.
- Αυτο-οργανωτικοί Χάρτες (self-organizing maps):
Αυτό το είδος δικτύου αποτελεί μια κλάση τεχνητού νευρωνικού δικτύου το οποίο εκπαιδεύεται μέσω μη εποπτευόμενης μάθησης αλγόριθμους, ώστε να αποδώσει μια εικόνα χαμηλής ανάλυσης από τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν για εκπαιδευτικό παράδειγμα. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι επίσης γνωστά ως χάρτες ή δίκτυα Kohonen (Dike et al., 2019).

7.4 Έμπειρα Συστήματα (Expert Systems)

Ένα έμπειρο σύστημα είναι ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικών υπολογιστών που χρησιμοποιεί τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης (AI) για να προσομοιώσει την κρίση και τη συμπεριφορά ενός ανθρώπου ή ενός οργανισμού που έχει ειδικές γνώσεις και εμπειρία σε έναν συγκεκριμένο τομέα.

Συνήθως, ένα έμπειρο σύστημα ενσωματώνει μια βάση γνώσεων που περιέχει συσσωρευμένη εμπειρία και μια γεννήτρια (engine) συμπερασμάτων ή κανόνων.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Ένα σύνολο κανόνων για την εφαρμογή της βάσης γνώσεων σε κάθε συγκεκριμένη κατάσταση που περιγράφεται στο πρόγραμμα. Οι δυνατότητες του συστήματος μπορούν να ενισχυθούν με προσθήκες στη βάση γνώσεων ή στο σύνολο κανόνων. Τα τρέχοντα συστήματα μπορεί να περιλαμβάνουν δυνατότητες μηχανικής μάθησης που τους επιτρέπουν να βελτιώνουν την απόδοσή τους με βάση την εμπειρία, όπως κάνουν και οι άνθρωποι.

Ο Feigenbaum εξήγησε ότι ο κόσμος μετακινείται από την επεξεργασία δεδομένων στην "επεξεργασία γνώσης", μια μετάβαση που ενεργοποιείται από τη νέα τεχνολογία επεξεργαστών και αρχιτεκτονικές υπολογιστών. Επίσης, ορίζει τα συστήματα εμπειρογνώμων ως «ένα έξυπνο πρόγραμμα ηλεκτρικών υπολογιστών που χρησιμοποιεί γνώσεις και διαδικασίες συμπερασμάτων για την επίλυση προβλημάτων που είναι αρκετά δύσκολο να απαιτήσουν σημαντική ανθρώπινη εξειδίκευση για την επίλυση τους».

Τα Έμπειρα Συστήματα (Expert Systems) εκτελούν συλλογισμούς χρησιμοποιώντας θεμελιωμένους κανόνες από καλά καθορισμένους και στενούς τομής. Οι συνθήκες των "Έμπειρων Συστημάτων" και η θεμελιωμένη γνώση τους, έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν και εναλλακτικά. Μέσω των θεμελιωμένων γνώσεων των έμπειρων συστημάτων πραγματοποιήθηκε, η πρώτη έρευνα στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης, υπό την μορφή λογισμικού. Για πολλούς κλάδους επαγγελμάτων (ιατρική, μηχανική κ.α.) βοήθησε στον τρόπο λήψης αποφάσεων για το λόγο ότι πλέον οι ειδικοί δεν είχαν να αντιμετωπίσουν αριθμούς αλλά σύμβολα με αποτέλεσμα να διευκολύνει την λήψη αποφάσεων. Κατά την διάρκεια μιας στενής εξέτασης οποιασδήποτε διαδικασίας λήψης αποφάσεων από ένα εμπειρογνώμονα αποκαλύπτει ότι χρησιμοποιεί τεκμήρια (facts) και ευρέσεις (heuristics) για να καταλήξει σε μια απόφαση. Στην περίπτωση που, η απόφαση που πάρθηκε βασίζεται σε απλά θεμελιώδη τεκμήρια, το λογισμικό χρησιμοποιεί εύρετρα του εμπειρικού κανόνα, τότε, μπορεί να είναι μια ασήμαντη διαδικασία.

Στην περίπτωση που ένας ευρετικός τύπος γνώσης, καθώς και άλλοι εμπειρικοί κανόνες ή οδηγίες, καθορίζουν τους σχεδιαστικούς κανόνες οι οποίοι κάλλιστα μπορούν να αναπαρασταθούν με τη μορφή των προγραμματιστικών IF – THEN οι οποίοι με την σειρά τους ονομάζονται και παραγωγικοί κανόνες. Αντιλαμβανόμεστε, πως τα παραπάνω βρίσκονται να είναι σχετικά εύκολα και κατανοητά ωστόσο, το σημαντικότερο τμήμα των έμπειρων συστημάτων είναι ότι η αναπαράσταση τους είναι απλή, με αποτέλεσμα την εύκολη εφαρμογή σε ένα υπολογιστή (Mellit & Kalogirou, 2008).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Τα Έμπειρα Συστήματα, διαθέτουν δυο κύρια συστατικά που μπορούν να προσδιοριστούν ως:

- a) Βάση Γνώσεων (Knowledge Base): Εδώ πραγματοποιείται η συλλογή γνώσεων για την επίλυση του προβλήματος. Στη Βάση Γνώσεων, δημιουργείτε μια βάση δεδομένων στην οποία συγκρατούνται συγκεκριμένες πληροφορίες και κανόνες για ένα συγκεκριμένο θέμα. Μπορεί να δοθεί η οπτική, ότι η Βάση Γνώσεων χρησιμοποιείται σαν συλλέκτης **αντικειμένων-θεμάτων** (object) και των **χαρακτηριστικών** (attribute) τους (Εικόνα 7.4.1).

Δηλαδή:

- ◆ Αντικείμενο ή θέμα είναι το συμπέρασμα που καθορίζεται από κάθε σχετικό κανόνα, ποιος είναι ο στόχος.
- ◆ Χαρακτηριστικό είναι μια συγκεκριμένη ποιοτική συλλογή κανόνων οι οποίοι με την σειρά τους βοηθούν στον να καθοριστεί το αντικείμενο-στόχος.



Εικόνα 7.4.1: Διάγραμμα Knowledge Base

- b) Μηχανή Συμπερασμάτων (Inference Engine): Η μηχανή συμπερασμάτων αποτελεί το κύριο στοιχείο επεξεργασίας των έμπειρων συστημάτων (ES). Έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει πληροφορίες από τη βάση γνώσεων προσεγγίζοντας συμπεράσματα από διαφορετικές περιπτώσεις. Λαμβάνοντας υπόψη τη βάση γνώσεων σαν συλλέκτη αντικειμένων-στόχων και των χαρακτηριστικών τους, η μηχανή συμπερασμάτων προσπαθεί να χρησιμοποιήσει κάθε πληροφορία που μπορεί να συλλέξει από τους χρήστες ώστε να

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

καταφέρει να καταλήξει στο τελικό ταίριασμα. Επίσης χωρίζεται σε άλλες δυο υποκατηγορίες, οι οποίες είναι:

- ◆ Αιτιοκρατική (Deterministic) Συμπερασματική Μηχανή: Σε αυτό τον τύπο μηχανής συμπερασμάτωσης υπάρχουν κάποια στοιχεία βεβαιότητας που συσχετίζονται μαζί του. Αυτό σημαίνει ότι τα συμπεράσματα που αντλούνται από αυτό τον τύπο βρίσκονται εγγυημένα αληθή.
- ◆ Πιθανή (Probabilistic) Συμπερασματική Μηχανή: Σε αυτό τον τύπο μηχανής συμπερασμάτωσης υπάρχουν κάποια στοιχεία τα οποία προσφέρουν σαν αποτέλεσμα σχετική αβεβαιότητα.

Επιπλέον, η κατασκευή της συμπερασματική μηχανική, έγκειται σε τρία δομικά στοιχεία:

1. Αλυσιδωτή Προώθηση

Αυτή η μέθοδος αποκαλείται και οδηγός δεδομένων (χαρακτηριστικών-attributes). Αυτή η ονομασία προκύπτει, λόγω του ότι η έναρξη της διαδικασίας γίνεται με τα διαθέσιμα δεδομένα, ενώ χρησιμοποιεί κανόνες συμπερασμάτωσης για να καταφέρει να εξορύξει περισσότερα δεδομένα μέχρι να φτάσει στον τελικό στόχο. Ενώ, μία μηχανή συμπερασμάτωσης χρησιμοποιεί την αλυσιδωτή προώθηση ώστε να ερευνά για συμπερασματικούς κανόνες μέχρι να βρεθεί ένας κανόνας ο οποίος στο παρελθόν είναι γνωστό ότι είναι πραγματικός και έχει φέρει αποτέλεσμα.

Η αλυσιδωτή προώθηση χρησιμοποιεί πληροφορίες οι οποίες παρέχονται από τον χρήστη, ώστε να εισέλθουν μέσα από ένα δίκτυο λογικών AND & OR, μέχρι τη στιγμή που θα φτάσει το τελικό σημείο στο οποίο συναντά το αντικείμενο-θέμα προς μελέτη.

2. Αλυσιδωτή Οπισθοδρόμηση

Είναι η αντίστροφη διαδικασία της αλυσιδωτής προώθησης και συνήθως την αποκαλούν οδηγό αντικειμένων-θεμάτων (object). Δηλαδή, η διαδικασία ξεκινάει από τον στόχο και δουλεύει με αντίστροφη φορά μέσω των προηγούμενων ανιχνεύοντας αν υπάρχει κάποιο δεδομένο διαθέσιμο για να υποστηρίξει τον επιλεγμένο στόχο. Αυτός ο κανόνας κατά την έναρξη του ξεκινά με υποθέσεις και ερωτήματα για να καταφέρει να πάρει την πληροφορία της επιβεβαίωσης ή της άρνησης του ερωτήματος.

3. Κανόνας Αξιώματος

Αυτός ο κανόνας ονομάζεται επίσης και βασικός κανόνας της συμπερασματικής μηχανής και είναι μια αναβαθμισμένη εικόνα του

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

κανόνα αλυσιδωτής οπισθοδρόμησης. Διαθέτει ένα αντικείμενο-θέμα προς μελέτη σαν αρχικό δεδομένο και εν συνεχεία κάνει επιλογές προς την κατεύθυνση του αντικειμένου. Η γενική θεωρητική λειτουργία βρίσκεται στο ότι το σύστημα αναζητά το κάθε επόμενο κομμάτι πληροφορίας που θα το βοηθήσει πιο εύκολα να κάνει απαλοιφή των μη αναγκαίων.

Ακόμη, τα συστήματα εμπειρογνομόνων έχουν παίξει μεγάλο ρόλο σε πολλούς κλάδους, συμπεριλαμβανομένων των χρηματοπιστωτικών υπηρεσιών, των τηλεπικοινωνιών, της υγειονομικής περίθαλψης, της εξυπηρέτησης πελατών, των μεταφορών, των βιντεοπαιχνιδιών, της κατασκευής, της αεροπορίας και της γραπτής επικοινωνίας. Εν ολίγης, το φάσμα το οποίο καλύπτουν ή εξυπηρετούν τα έμπειρα συστήματα είναι ευρύ. Μερικά από τα προβλήματα που συνήθως αντιμετωπίζονται και υπάγονται στην γενική κατηγορία προβλημάτων, είναι τα εξής:

- Αντίληψη: σχηματισμός συμπερασμάτων υψηλού επιπέδου ή παραπλάνηση από τις συλλογές ακατέργαστων δεδομένων.
- Διάγνωση: καθορίζει την αιτία των δυσλειτουργιών σε σύνθετες καταστάσεις με βάση τα παρατηρούμενα συμπτώματα.
- Πρόβλεψη: προβολή πιθανών συνεπειών των δεδομένων καταστάσεων.
- Σχεδιασμός: εύρεση στοιχείων διαμόρφωσης συστήματος τα οποία αντιπροσωπεύουν τους στόχους απόδοσης ενώ ικανοποιούν τους περιορισμούς των σχεδιαστικών ομάδων.
- Προγραμματισμός: επινόηση μιας ακολουθίας ενεργειών που θα επιτύχουν έναν καθορισμένο στόχο δίνοντας συγκεκριμένες συνθήκες εκκίνησης και περιορισμούς χρόνου εκτέλεσης.
- Παρακολούθηση: συγκρίνει παρατηρώντας την συμπεριφορά ενός συστήματος όπως αναμένεται αυτό να συμπεριφερθεί.
- Οδηγίες: ανιχνεύει και επιδιορθώνει ελλείψεις των σπουδαστών στην κατανόηση ενός τομέα θεμάτων.
- Έλεγχος: ελέγχει την συμπεριφορά ενός πολύπλοκου περιβάλλοντος (Mellit & Kalogirou, 2008).

Τέλος, μέσω της βασικής λειτουργικής ικανότητας των Έμπειρων Συστημάτων (Experts Systems) τα τελευταία χρόνια έχουν προκύψει επιπλέον δυο (2) κλάσεις συστημάτων, τα Ανεξάρτητα Έμπειρα Συστήματα (Stand-alone ES) και τα Έμπειρα Συστήματα Ακολουθίας (Tandem ES).

7.5 Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms)

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithm), εφαρμόζονται ως μια αυτοματοποιημένη διαδικασία αναζήτησης και βελτιστοποίησης, που χρησιμοποιεί τις αρχές της φυσικής γενετικής και της φυσικής επιλογής. Η βασική προσέγγιση είναι να μοντελοποιηθούν οι πιθανότητες λύσεις στο πρόβλημα αναζήτησης, σαν δυαδικού συστήματος μιας σειράς αποτελούμενο από μονάδες (1) και μηδενικά (0). Διάφορα τμήματα των σειρών bit (binary digit), αντιπροσωπεύουν παραμέτρους στο πρόβλημα αναζήτησης. Εάν ένας μηχανισμός επίλυσης προβλημάτων μπορεί να αναπαρασταθεί σε μια λογικά συμπαγή μορφή, τότε οι τεχνικές Γενετικών Αλγορίθμων (GA), μπορούν να εφαρμοστούν με τη χρήση διαδικασιών για τη διατήρηση ενός πλήθους δομημένης γνώσης, η οποία αναπαριστά τις υποψήφιες λύσεις και εν συνεχεία επιτρέπει σε αυτό το πλήθος να εξελιχθεί με το πέρασμα του χρόνου διαμέσου του ανταγωνισμού (επιβίωση των ισχυρότερων και ελεγχόμενη παραλλαγή).

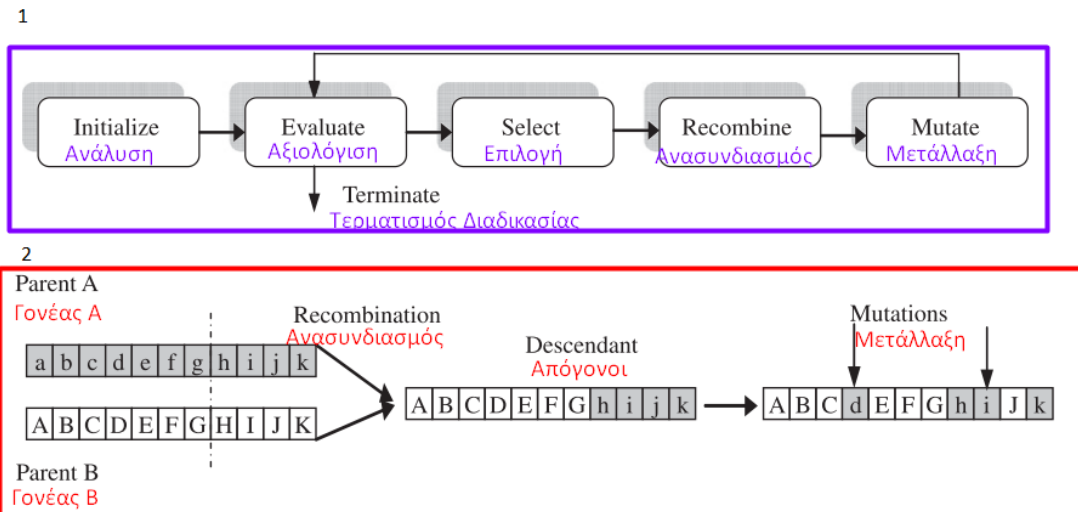
Σε αυτή την περίπτωση, μπορούμε να επικαλεστούμε ένα παράδειγμα, στο οποίο θα συμμετέχει ένας πληθυσμός χρωμοσωμάτων, ο οποίος εξελίσσεται πάνω σε μια σειρά γενεών μέσω της εφαρμογής γενετικών τελεστών, όπως είναι η διασταύρωση (crossover) και η μετάλλαξη (mutation) οι οποίες μιμούνται αυτές που βρίσκονται στη φύση. Η εξελικτική διαδικασία επιτρέπει στα καλύτερα χρωμοσώματα να επιβιώσουν και να ζευγαρώσουν από την μία γενιά στην επόμενη. Στην πραγματικότητα, οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι μια επαναληπτική διαδικασία που διατηρεί έναν πληθυσμό «P» συμμετεχόντων μέσω πολλών προσομοιωμένων γενεών.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι γενικά περιλαμβάνουν τρεις (3) θεμελιώδεις γενετικές λειτουργίες:

- I. την επιλογή (selection),
- II. την διασταύρωση (crossover),
- III. και την μετάλλαξη (mutation).

Αυτές οι λειτουργίες συνήθως τροποποιούν τις επιλεγμένες λύσεις και επιλέγουν τις πιο κατάλληλες για να τις ορίσουν ως τους καταλληλότερους απόγονους για την μετάβαση τους στις επιτυχημένες επόμενες γενιές. Ο κύκλος της ζωής τέτοιων πληθυσμών και του ανασυνδιασμού των γονικών αλγορίθμων και της μετάλλαξης τους απεικονίζεται στη Εικόνα 7.5.1 μέσω δυο διαφορετικών αναπαραστάσεων.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 7.5.1: 1) Κύκλος Ζωής του Πληθυσμού και 2) Ανασυνδιασμός και Μετάλλαξη (Πηγή **προσαρμοσμένο από** : Mellit & Kalogirou, 2008).

Οι γενετικοί αλγόριθμοι λαμβάνουν υπόψη πολλά σημεία στον χώρο αναζήτησης ταυτόχρονα και βρέθηκε ότι παρέχουν μια ραγδαία σύγκλιση σε μία σχεδόν βέλτιστη λύση σε πολλούς τύπους προβλημάτων. Ωστόσο, παρουσιάζουν μειωμένη πιθανότητα σύγκλισης στα τοπικά ελάχιστα των δεδομένων. Επίσης, είναι υποσχόμενα αλλά παράλληλα υποφέρουν από το πρόβλημα της υπερβολικής πολυπλοκότητας, εάν όμως χρησιμοποιούνται σε προβλήματα τα οποία είναι μεγάλου μεγέθους.

Οι γενικοί αλγόριθμοι είναι μια επαναληπτική διαδικασία η οποία αποτελείται από ενός σταθερού μεγέθους πληθυσμό ατόμων, όπου το κάθε ένα εκπροσωπείται από μια πεπερασμένη γραμμική σειρά συμβόλων, γνωστή και ως γονιδίωμα, κωδικοποιώντας μια πιθανή λύση σε ένα δεδομένο “χώρο” προβλημάτων. Αυτός ο “χώρος”, που αναφέρεται, στην παραπάνω παράγραφο, ως χώρος αναζήτησης, περιλαμβάνοντας όλες τις πιθανές λύσεις σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης ενός προβλήματος.

Οι τυπικοί γενετικοί αλγόριθμοι, από την άλλη πλευρά, εφαρμόζονται σε όποιο σημείο ο αρχικός πληθυσμός των ατόμων αναγεννάτε τυχαία. Σε κάθε εξελικτικό βήμα, γνωστό και σαν γενιά, τα άτομα στον προσκείμενο πληθυσμό, αποκωδικοποιούνται και αξιολογούνται σύμφωνα πάντα με την συνάρτηση καταλληλότητας έτοιμο για το δεδομένο πρόβλημα. Ο αναμενόμενος αριθμός επανάληψης ενός ατόμου επιλέγεται κατά ανάλογη προσέγγιση σύμφωνα με την σχετική του απόδοση στον πληθυσμό.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Η διασταύρωση, πραγματοποιείται ανάμεσα σε δυο επιλεγμένα άτομα, ανταλλάσσοντας μέρη των γονιδιωμάτων, σχηματίζοντας μια μορφή νέων ατόμων. Η διεργασία της μετάλλαξης παρουσιάζεται ώστε να αποτρέψει μία πρόωρη προσέγγιση. Συνεπώς, χρειάζεται να αναφέρουμε πως, κάθε μέλος από την σειρά των πληθυσμών διαθέτει μια συγκεκριμένη αξία καταλληλότητας που συσχετίζεται με αυτό, το οποίο αναπαριστά τον βαθμό ορθότητας αυτής της συγκεκριμένης λύσεις ή την ποιότητα της λύσης την οποία και αντιπροσωπεύει. Ο αρχικός πληθυσμός της χορδής-σειράς επιλέγεται τυχαία. Οι χορδές είναι διαχειρίσιμες από την ομάδα των Γενετικών Αλγορίθμων οι οποίοι χρησιμοποιούν γενετικό διαχειριστή, με αποτέλεσμα να καταλήξουν σε μια ποιοτική επίλυση του εκάστοτε προβλήματος (Mellit & Kalogirou, 2008).

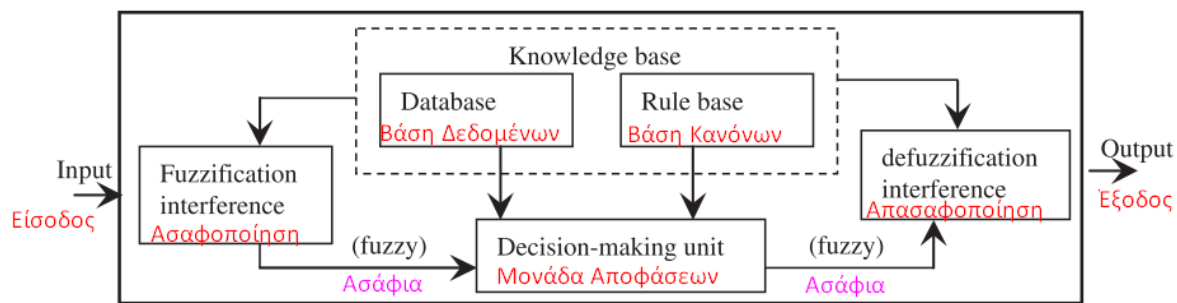
Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η λειτουργία μιας βασικής εκδοχής ενός Γενετικού Αλγόριθμου:

- i. Βήμα 1: Ορίζεται μια συνάρτηση αντικειμενικότητας, η οποία υποδεικνύει την καταλληλότητα κάθε πιθανής λύσης.
- ii. Βήμα 2: Γίνεται η επιλογή μιας κατάλληλης αναπαράστασης ή κωδικοποίησης όπου επιλέγεται ανάλογα ο κατάλληλος γενετικός τελεστής.
- iii. Βήμα 3: Τυχαία επιλέγετε ένα αρχικός πληθυσμός από P άτομα χρωμοσώματα b_i , όπου $i=1,2,3,\dots,P$.
- iv. Βήμα 4: Σε αυτό το σημείο προσδιορίζεται η συνάρτηση καταλληλότητας $f(b_i)$, όπου $i=1,2,3,\dots,P$, για κάθε χρωμόσωμα ατόμου.
- v. Βήμα 5: Ορίζεται μια πιθανότητα της αναπαραγωγής P_i , όπου $i=1,2,3,\dots,P$, στο κάθε άτομο
- vi. Βήμα 6: Σε αυτό το βήμα δημιουργείτε ένας νέος πληθυσμός από επιλεγμένα άτομα, από τον τρέχοντα πληθυσμό σύμφωνα με τις αντίστοιχες πιθανότητες αναπαραγωγής P_i , όπου $i=1,2,3,\dots,P$. Τα επιλεγμένα άτομα δημιουργούν με την σειρά τους απόγονους μέσω της χρήσης της γενετικής διαδικασίας όπως, την μέθοδο της διασταύρωσης και της μετάλλαξης με αξιοσέβαστε πιθανότητες.
- vii. Βήμα 7: Σε αυτό το σημείο αν προκύψει κάποιο δεδομένο το οποίο αναγκάσει την διεργασία να σταματήσει, σταματά εκεί και εν συνεχεία, σε εναλλακτική περίπτωση, γίνεται η επανάληψη της διεργασίας από το έκτο (6^ο) Βήμα.

Το παραπάνω πρότυπο Γενετικού Αλγόριθμου (GA), σύμφωνα με τους Mellit & Kalogirou, αποτελεί ένα γενικό σχηματισμό ο οποίος περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές μορφές επιλογής (selection), διασταύρωσης (crossover) και μετάλλαξης (mutation).

7.6 Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic)

Η Ασάφεια συνόλων, θεωρητικά είναι η γενίκευση της συμβατικής θεωρίας συνόλων και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τον Zadeh εν έτη 1965. Η συγκεκριμένη θεωρία, παρέχει ένα μαθηματικό εργαλείο για την αντιμετώπιση γλωσσικών μεταβλητών που συσχετίζονται με τις φυσικές γλώσσες. Η κεντρική έννοια της θεωρίας των ασαφών συνόλων, όπως περιγράφεται στις επόμενες ενότητες, είναι ποια από τα στοιχεία επιτρέπεται να αποτελούν στοιχεία ενός συνόλου και όχι πλήρη αριθμό μελών. Στο παρακάτω σχήμα της εικόνας 7.6.1 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής ενός συστήματος ασαφούς συμπεράσματος.



Εικόνα 7.6.1: Διάγραμμα Ροής Συστήματος Ασαφούς Συμπερασμάτωσης (Πηγή προσαρμοσμένο από : Mellit & Kalogirou, 2008).

Η ανάπτυξη ενός Ασαφούς Λογικού συστήματος βασίζεται στην ανάγκη για ένα εννοιολογικό πλαίσιο το οποίο έχει την ικανότητα να αντιμετωπίσει το ζήτημα της αβεβαιότητας και της λεξικής ανακρίβειας. Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά των Ασαφών Λογικών συστημάτων σχετίζονται με τα ακόλουθα:

- ✓ Στην Ασαφή Λογική, ο ακριβής συλλογισμός παρουσιάζεται σαν μια περιοριστική περίπτωση προς τον κατά προσέγγιση συλλογισμό.
- ✓ Όλα εξαρτώνται από τον βαθμό καταλληλότητας.
- ✓ Στην Ασαφή Λογική, επίσης, «η γνώση» ερμηνεύεται ως ένα σύνολο ελαστικών (ελαστικός περιορισμός είναι ο βαθμός στον οποίο μπορεί να «τεντωθεί – επεκταθεί» ένας περιορισμός) ή ασαφών περιορισμών σε μια συλλογή μεταβλητών.
- ✓ Το συμπέρασμα παρουσιάζεται σαν μια διαδικασία εξάπλωσης του ελαστικού περιορισμού στο σύστημα.
- ✓ Κάθε Λογικό Σύστημα μπορεί να Ασαφοποιηθεί.

Επίσης, υπάρχουν δυο κύρια χαρακτηριστικά των Ασαφών Συστημάτων τα οποία τους προσδίδουν καλύτερη απόδοση για συγκεκριμένες εφαρμογές:

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

- ✓ Τα Ασαφή Συστήματα είναι κατάλληλα για αβέβαιο ή κατά προσέγγιση συλλογισμό, ειδικά για το σύστημα με μαθηματικό μοντέλο που είναι δύσκολο να προκύψει.
- ✓ Επίσης, επιτρέπουν την λήψη αποφάσεων με εκτιμώμενες τιμές, σε περιπτώσεις που αυτές είναι ελλιπείς ή αβέβαιες πληροφορίες.

Ένα Ασαφές σύστημα προτιμά να χρησιμοποιεί βαθμονομημένες προτάσεις παρά προτάσεις οι οποίες βρίσκονται να είναι αυστηρά αληθείς ή ψευδείς. Επίσης, κάνει προσπάθειες ώστε να ενσωματώσει προσεγγιστικά τον «εμπειρικό κανόνα» που κατά κόρον χρησιμοποιείται ευρέως από τους ανθρώπους για τη λήψη αποφάσεων. Με αυτό τον τρόπο, η ασαφής λογική παρέχει μια απρόσμενη αλλά αποτελεσματική δίοδο επεξήγησης της συμπεριφοράς του συστήματος, η οποία δεν είναι και ιδιαίτερα εύκολο να περιγραφεί με ακρίβεια.

Στην περίπτωση των Ασαφών Λογικών συστημάτων οι ελεγκτές, για παράδειγμα, αποτελούν επεκτάσεις των κοινών Έμπειρων Συστημάτων (ES) οι οποίες χρησιμοποιούν παραγωγικούς κανόνες όπως οι δηλώσεις «If-Then». Ωστόσο, με τους ασαφούς ελεγκτές, οι γλωσσικές μεταβλητές όπως «ψηλό» και το «πολύ ψηλό» ενδέχεται να ενσωματωθούν με το παραδοσιακό Έμπειρό Σύστημα.

Σαν αποτέλεσμα προκύπτει ότι η Ασαφής Λογική έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε ελεγκτές οι οποίοι είναι ικανοί να λαμβάνουν έξυπνες αποφάσεις ελέγχου ορισμένες φορές για ασταθή και ταχέως μεταβαλλόμενα προβληματικά περιβάλλοντα. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούν, έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε πολλές εφαρμογές, όπως η υπολογιστική όραση, η λήψη αποφάσεων καθώς και ο σχεδιασμός συστημάτων, όπου εδώ συμπεριλαμβάνονται και Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα. Η πιο εκτεταμένη χρήση της ασαφούς λογικής έγκειται στον τομέα του ελέγχου, όπου τα παραδείγματα περιλαμβάνουν ελεγκτές για χειρισμούς κλιβάνων τσιμέντου, συστήματα πέδησης, ανελκυστήρες, πλυντήρια, θερμοσίφωνες, κλιματιστικά, βιντεοκάμερες κ.α.

7.6.1 Μεθοδολογίες Ασαφών Συστημάτων

Τόσο οι προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης Ασαφής Επαγωγικός Λογισμός (Fuzzy Inductive Reasoning, FIR) όσο και το Προσαρμοστικό Νευρο-Ασαφές Σύστημα Συμπερασμάτων (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS), είναι δυο από τα πιο γνωστά συστήματα των Ασαφών Συστημάτων τα οποία και σε πολλές περιπτώσεις προτείνονται σε έρευνες. Ωστόσο, αποτελούν υβριδικές μεθοδολογίες που συνδυάζουν κυρίως τεχνικές μικρών υπολογιστικών συστημάτων. Το FIR συνδυάζει ασαφή λογική k-πλησιέστερους γείτονες ενώ το ANFIS συνδυάζει ασαφή λογική με νευρωνικά δίκτυα. Και τα δυο σαν ασαφείς

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

μεθοδολογίες παρουσιάζονται μερικές βασικές διαφορές που παρουσιάζονται παρακάτω:

- Το ANFIS, είναι ένα αγνό ασαφές σύστημα συμπερασμάτων, δηλαδή, ένα ασαφές σύστημα εκπαίδευσης και μια ασαφή συμπερασματική διαδικασία εκτελείται για να πραγματοποιηθεί μια πρόβλεψη. Ωστόσο, το FIR προσδιορίζει ένα ασαφές μοντέλο που αντιπροσωπεύει το υπό μελέτη σύστημα, με την πρόβλεψη όμως να πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μια υβριδική προσέγγιση k-πλησιέστερου γείτονα (δηλαδή με το k καθορίζεται το πλήθος των γειτονικών δεδομένων το οποίο θα καθορίσει μετέπειτα την κλάση στην οποία θα ανήκει το εκάστοτε δεδομένο για το οποίο γίνεται η πρόβλεψη, kNN).
- Τα μοντέλα ANFIS εκπαιδεύονται μέσω αλγορίθμων εκπαίδευσης νευρωνικών δικτύων. Τα μοντέλα FIR συντίθεται και δεν εκπαιδεύονται, αυτό σημαίνει ότι πραγματοποιείται μια διαδικασία βελτιστοποίησης για την κατάλληλη οργάνωση των δεδομένων εκπαίδευσης.
- Τα μοντέλα ANFIS είναι ασαφή συστήματα τύπου Sugeno όπου τα προηγούμενα ασαφή σύνολα και τα επακόλουθα δεν σχηματίζουν ένα ασαφές σύνολο, αλλά μια συνάρτηση. Αντιθέτως το FIR, χρησιμοποιεί ασαφή σύνολα για να μπορέσει να αντιπροσωπεύει τόσο τα προηγούμενα όσο και τα επακόλουθα, καθώς δύναται να είναι πιο χρήσιμα για την λήψη εξηγήσιμων μοντέλων στα οποία υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη αποφάσεων.
- Το FIR διαθέτει μια εσωτερική διαδικασία επιλογής χαρακτηριστικών η οποία επιτρέπει τον προσδιορισμό των μεταβλητών εισόδου οι οποίες βρίσκεται να είναι συναφείς στη διαδικασία συμπερασμάτων και με τον βαθμό ατομικής του συνάφειας. Το ANFIS δεν διαθέτει ενσωματωμένη την "επιλογή χαρακτηριστικών" στη δομή του και βρίσκεται απαραίτητο να εφαρμοστεί ένας αλγόριθμος "επιλογής χαρακτηριστικών" ως προεργασία, εάν αυτό είναι επιθυμητό.

Στη συνέχεια της ενότητας θα αναλυθούν οι δυο προαναφερόμενες μεθοδολογίες.

7.6.2 Ασαφής Επαγωγικός Λογισμός (Fuzzy Inductive Reasoning, FIR)

Το FIR προσφέρει μια μοντελοποιημένη βάση η οποία προσεγγίζει την πρόβλεψη είτε με μονές μεταβλητές, είτε με πολλές μεταβλητές χρονοσειρών. Το Visual-FIR (Οπτικό-Ασαφής Επαγωγικός Λογισμός), είναι ένα εργαλείο το οποίο βασίζεται στην μεθοδολογία FIR (το οποίο λειτουργεί σε περιβάλλον Matlab),

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

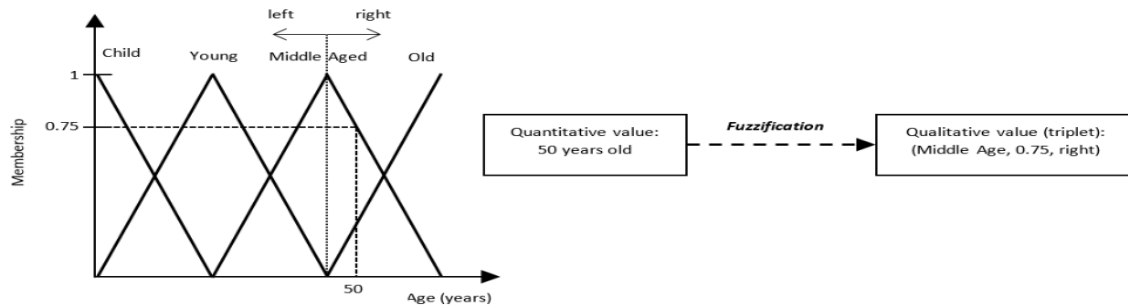
προσφέροντας μια νέα οπτική στην μοντελοποίηση και προσομοίωση των πολύπλοκων συστημάτων. Το FIR, αποτελείται από τέσσερις κύριες διεργασίες:

- **Ασαφοποίηση:** Η διαδικασία της ασαφοποίηση (fuzzification) μετατρέπει τα ποσοτικά δεδομένα που προέρχονται από το σύστημα σε ασαφή δεδομένα.
- **Ποιοτική Αναγνώριση:** Η διαδικασία της ποιοτικής αναγνώρισης (Qualitative model identification) φέρει την ευθύνη για την εύρεση αιτιωδών και προσωρινών συσχετίσεων μεταξύ των μεταβλητών (διαδικασία επιλογής χαρακτηριστικών, Feature selection process) και χρησιμοποιείται για την απόκτηση του βέλτιστου μοντέλου που αντιπροσωπεύει το σύστημα.
- **Ασαφή Πρόβλεψη:** Μέσω της διαδικασίας της ασαφής πρόβλεψης (Fuzzy forecasting), μόλις το μοντέλο FIR μπορεί να είναι διαθέσιμο, το σύστημα πρόβλεψης μπορεί να συμμετάσχει χρησιμοποιώντας τη μηχανή συμπερασμάτωσης του FIR. Η μηχανή συμπερασμάτωσης είναι μια εξειδικευμένη μορφή του αλγορίθμου k-nearest-neighbor (k-πλησιέστερου γείτονα) η οποία χρησιμοποιείται συνήθως στο πεδίο της αναγνώρισης μοτίβων.
- **Αποσαφοποίηση:** Η διαδικασία της αποσαφοποίησης (Defuzzification), είναι η αντίστροφη διαδικασία της ασαφοποίησης, δηλαδή έχει την ιδιότητα να επιτρέπει την μετατροπή της ποιοτικά αναμενόμενης εξόδου, με ποσοτικές τιμές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν είσοδοι σε ένα εξωτερικό ποσοτικό μοντέλο.

Fuzzification (Ασαφοποίηση)

Η ασαφοποίηση βρίσκεται να είναι μια ποσοτική τιμή η οποία συγχωνεύεται σε μια ποιοτική τριπλέτα (τιμή κλάσης, τιμή ασαφούς συμμετοχής, πλευρική τιμή). Η πλευρική τιμή υποδεικνύει τις ποιοτικές τιμές οι οποίες ανήκουν στην αριστερή η δεξιά πλευρά της μέγιστης τιμής, από την κορυφή της πυραμίδας (όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 7.6.2.1), της σχετικής συνάρτησης συσχέτισης (membership function).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 7.6.2.1: Ασαφής Επαγωγικός Λογισμός (Fuzzy Inductive Reasoning, FIR), Διαδικασία Ασαφοποίησης Μεταβλητής Ανθρώπινης Ηλικίας (Πηγή: Nebot & Mugica, 2020).

Η δευτερεύουσα τιμή, βρίσκεται να είναι η υπεύθυνη για τη διατήρηση της ποιότητας της τριπλέτας. Σε αυτή την τιμή, συμπεριλαμβάνεται η πλήρης γνώση η οποία εμπεριέχεται στην πρωτότυπη μορφή της ποσοτικής τιμής. Για παράδειγμα, σύμφωνα λοιπόν με το σχήμα της εικόνας παρακάτω, ένας άνθρωπος ηλικίας 50 χρονών θα μπορούσε να ασαφηθεί στην κατηγορία της Μέσης Ηλικίας (δηλαδή, τάξη όπου η τιμή των 50 ετών έχει την υψηλότερη τιμή συμμετοχής), μια ασαφή συσχετισμένη τιμή 0,75 καθώς επίσης και μια πλευρική τιμή της δεξιάς πλευράς (επειδή τα 50 έτη βρίσκονται στη δεξιά πλευρά της μέγιστης συσχέτισης της τάξεως Μέσης Ηλικίας).

Προσδιορισμός Ποιοτικού Μοντέλου (Qualitative Model Identification)

Ένα μοντέλο Ασαφούς Επαγωγικού Λογισμού (FIR), κατ' ουσία συντίθεται από μια δομή, η ονομαζόμενη "μάσκα" (mask), καθώς και ένα μοτίβο βασικού κανόνα ο οποίος ονομάζεται «μήτρα συμπεριφοράς» του συστήματος. Η μάσκα υποδηλώνει τη δυναμική σχέση μεταξύ των ποιοτικών μεταβλητών. Για να γίνει πιο αντιληπτό παρακάτω δίδεται ένα παράδειγμα όπου παρουσιάζεται αναλυτικότερα η δομή λειτουργίας της "μάσκας".

Στη δομή λειτουργίας της μάσκας, κάθε στοιχείο της ονομάζεται m-είσοδος (mask input). Αυτό το στοιχείο υποδηλώνει μια αιτιώδη συσχέτιση με την έξοδο του συστήματος, δηλαδή, επηρεάζει το εξερχόμενο αποτέλεσμα (έξοδο) μέχρι και σε κάποιο βαθμό. Η απαρίθμηση των εκάστοτε m-εισόδων είναι άσχετη και δεν υπάρχει καμία συνάφεια.

Για παράδειγμα, στον πίνακα της εικόνας 7.6.2.2, η μοναδική τιμή με θετικό πρόσημο υποδηλώνει μία m-έξοδο(+). Η μάσκα του πίνακα δείχνει να περιέχει στο σύνολο της τέσσερις m-εισόδους (-). Αναλυτικότερα, σε αυτό το παράδειγμα εμφανίζονται η πρώτη και η δεύτερη m-είσοδοι (i_1 και i_2), οι οποίοι ανταποκρίνονται στις μεταβλητές εισόδου (input variable, u) u_1 και u_4 , δυο

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

δειγματοληπτικών διαστημάτων πίσω στο χρόνο (δυο μέρες πριν), όπου για $\mathbf{u1} = (\mathbf{t-2\delta t})$ καθώς επίσης και $\mathbf{u4} = (\mathbf{t-2\delta t})$. Η τρίτη μεταβλητή m-είσοδος (i3), αναφέρεται στη μεταβλητή εξόδου (output variable, y) $y1$, ενός διαστήματος δειγματοληψίας στο παρελθόν (μια μέρα πίσω), όπου $\mathbf{y1} = (\mathbf{t-\delta t})$. Η τέταρτη μεταβλητή m-είσοδος (i4), αναφέρεται πάλι στη μεταβλητή εισόδου όπως η μεταβλητές $u1$ και $u2$, ωστόσο εδώ η δειγματοληψία έγινε την ίδια μέρα $\mathbf{u2} = (\mathbf{t})$ που δημιουργήθηκε η δομή της μάσκας.

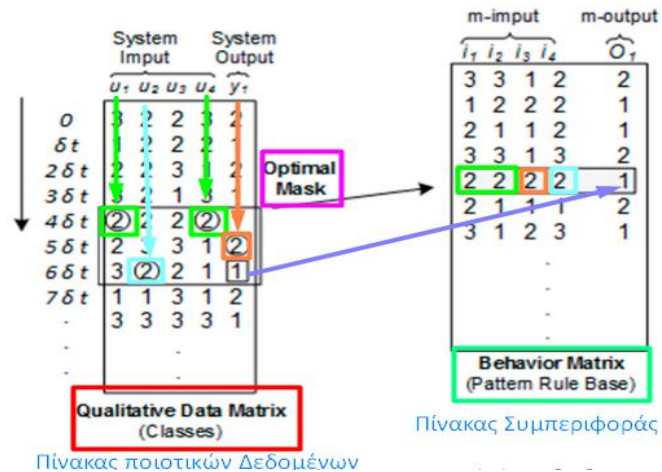
x \ t	u1	u2	u3	u4	y1
t-2δt	-1	0	0	-2	0
t-δt	0	0	0	0	-3
t	0	-4	0	0	+1

Εικόνα 7.6.2.2: Παράδειγμα μάσκας στη μεθοδολογία FIR (Πηγή προσαρμοσμένο από : Nebot & Mugica, 2020).

Οι m-είσοδοι μιας βέλτιστης μάσκας είναι τα χαρακτηριστικά τα οποία θα χρησιμοποιηθούν κατά την διαδικασία της πρόβλεψης. Επομένως, η αναγνώριση της μάσκας μπορεί να θεωρηθεί ως αλγόριθμος επιλογής χαρακτηριστικών του συστήματος. Την στιγμή που γίνει ο εντοπισμός της βέλτιστης μάσκας, υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για να ληφθεί ως μοτίβο βασικού κανόνα.

Η μάσκα συνήθως εξομαλύνει (flatten) τις δυναμικές σχέσεις σε ψευδοστατικές σχέσεις. Στο επόμενο παράδειγμα στο σχήμα της εικόνας 7.6.2.3, παρουσιάζεται ένα απόσπασμα των ποιοτικών δεδομένων σε πίνακα matrix όπου αποθηκεύονται οι τιμές της κλάσης, όπου εκεί εμφανίζονται οι αριθμητικές παρά οι συμβολικές τιμές κλάσης. Το πλαίσιο στον πίνακα matrix συμβολίζει την βέλτιστη επιλογή μάσκας η οποία μετατοπίζεται προς τα κάτω κατά μήκος των ποιοτικών δεδομένων του σχετικού πίνακα.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 7.6.2.3: Παράγωγή βάση κανόνα προτύπου FIR (Πηγή προσαρμοσμένο από : Nebot & Mugica, 2020).

Μέσα στο πλαίσιο της μάσκας το κυκλικό μοτίβο, ορίζονται ως θέσεις m-εισόδων, ενώ από το τετράγωνο μοτίβο υποδεικνύει τη θέση της m-εξόδου. Οι τιμές κλάσης αντιγράφονται απευθείας από τον πίνακα τιμής κλάσης (class value matrix), που βρίσκονται μέσα στο κυκλικό μοτίβο της μάσκας, ενώ στη συνέχεια τοποθετούνται ο ένας δίπλα σε ένα διαφορετικό πίνακα, τον πίνακα συμπεριφοράς όπως εμφανίζεται στη εικόνα. Κάθε σειρά του πίνακα συμπεριφοράς, του συστήματος, αντιπροσωπεύει μια ψευδοστατική ποιοτική κατάσταση ή διαφορετικά μπορεί να αναφερθεί και ως ποιοτικός κανόνας (επίσης, καλείται και κανόνας προτύπου).

Για παράδειγμα, ο κανόνας του πλαισίου του σχήματος μπορεί να διαβαστεί ως εξής: «Εάν όλες οι εισοδοί m (i_1, i_2, i_3, i_4) έχουν τιμή 2 (αντιστοιχεί στη μεσαία κατηγορία), τότε η έξοδος m, O_1 , υποθέτει τιμή 1 (που αντιστοιχεί στη χαμηλή κατηγορία) (Nebot & Mugica, 2020).

Ασαφή Πρόβλεψη (Fuzzy Forecasting)

Όταν ο μελετητής βρίσκεται στη φάση πρόβλεψης, υπάρχει η δυνατότητα οι μελλοντικές ποιοτικές καταστάσεις εξόδου να προβλεφθούν χρησιμοποιώντας το μοντέλο, μέσω της συμπερασματικής μηχανής. Η συμπερασματική μηχανή είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για την λήψη λογικών συμπερασμάτων σχετικά με τα στοιχεία που πλεονεκτούν στον τομέα της γνώσης. Επίσης, βασίζεται σε μια παραλλαγή του αλγόριθμου k-πλησιέστερου γείτονα (K-Nearest Neighbor). Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο k-NN ασαφούς συμπεράσματος, οι κανόνες προτύπου k με το μικρότερο μέτρο απόστασης επιλέγονται από τη βάση κανόνα προτύπου, οι οποίοι αποτελούν και μέρος του μοντέλου FIR.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Η πρόβλεψη της μεταβλητής εξόδου λαμβάνεται ως σταθμισμένος μέσος όρος των δυναμικών συμπερασμάτων του πρότυπου κανόνα k με τις μικρότερες αποστάσεις. Η ποιοτική διαδικασία προσομοίωσης προβλέπει ολόκληρη την ποιοτική τριπλέτα, μέσω της οποίας η ποσοτική τιμή μπορεί να ληφθεί όποτε θεωρηθεί απαραίτητο μέσω της διαδικασίας αποσαφοποίησης (Defuzzification) (Nebot & Mugica, 2020).

7.6.3 Προσαρμοστικό Νευρο-Ασαφές Σύστημα Συμπερασμάτων (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS)

Το προσαρμοστικό νευρο-ασαφές σύστημα συμπερασμάτων, αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα και δημοφιλή υβριδικά νευρο-ασαφή συστήματα για προσεγγιστικές συναρτήσεις. Επίσης, βρίσκεται να είναι μια απλή τεχνική εκμάθησης δεδομένων που χρησιμοποιεί Fuzzy Logic για να μπορεί να μετατρέπει τις δεδομένες εισόδους του συστήματος σε μια επιθυμητή έξοδο μέσω πολλών διασυνδεδεμένων στοιχείων επεξεργασίας νευρωνικού δικτύου και συνδέσεων πληροφοριών, οι οποίες σταθμίζονται για να χαρτογραφήσουν τις αριθμητικές εισόδους σε μια έξοδο.

Το Προσαρμοστικό Νευρο-Ασαφές Σύστημα Συμπερασμάτων (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS), αντιπροσωπεύει ένα νευρο-ασαφές σύστημα Sugeno. Ένα τέτοιο σύστημα ανήκει στην οικογένεια των ασαφών συστημάτων το οποίος όμως χρησιμοποιεί μεθόδους μάθησης που προέρχονται από νευρωνικά δίκτυα και ασαφή λογική, με αποτέλεσμα να μπορεί να βρίσκει τις δικές του παραμέτρους. Είναι συναφές ότι η διαδικασία εκπαίδευσης δεν βασίζεται σε βασιζόμενη-γνώση, αλλά ουσιαστικά βασίζεται σε δεδομένα που έχουν καταχωρηθεί, δηλαδή το ANFIS λειτουργεί εφαρμόζοντας μεθόδους εκμάθησης νευρωνικού δικτύου για να ρυθμίσει τις παραμέτρους ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμάτωσης όπως γίνεται και με την μεθοδολογία FIR.

Στην έρευνα που έγινε από τους Al-Hmouz et al., 2012, αναφέρεται ότι υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά που επιτρέπουν στο ANFIS να πραγματοποιήσει με μεγάλη επιτυχία, μερικά από αυτά είναι τα εξής:

- Καθορισμός των Ασαφών κανόνων «If-Then» για να μπορεί να περιγραφεί η συμπεριφορά ενός πολύπλοκου συστήματος.
- Δεν απαιτείται να προϋπάρχει ανθρώπινη εμπειρογνωμοσύνη.
- Εφαρμόζεται εύκολα.
- Επιτρέπει την γρήγορη και ακριβή εκμάθηση.
- Έχει την ικανότητα να προσφέρει το επιθυμητό σύνολο δεδομένων, δηλαδή μεγαλύτερη επιλογή συνάρτησης συμμετοχής που θα

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

χρησιμοποιηθούν, καθώς επίσης ισχυρές ικανότητες γενίκευσης, εξαιρετικές διευκρινίσεις μέσω ασαφών κανόνων.

- Και τέλος είναι εύκολο να ενσωματωθούν τόσο γλωσσικές όσο και αριθμητικές γνώσεις για την επίλυση προβλημάτων.

Ωστόσο, οι διαφορετικοί κανόνες δεν μπορούν να μοιράζονται την ίδια συνάρτηση συμμετοχής εξόδου. Ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής πρέπει να ισούται με τον αριθμό των κανόνων. Για την παρουσίαση του Προσαρμοστικού Νευρο-Ασαφές Συστήματος Συμπερασμάτων (ANFIS), λαμβάνονται υπόψιν, το «If-Then», δηλαδή δυο ασαφής κανόνες οι οποίοι είναι βασισμένοι στο μοντέλο Sugeno πρώτης τάξεως και είναι ως εξής:

$$\text{Rule}(1) = \text{IF } x \text{ is } A1 \text{ AND } y \text{ is } B1, \text{ THEN}$$

$$f1 = p1 * x + q1 * y + r1$$

$$\text{Rule}(2) = \text{IF } x \text{ is } A2 \text{ AND } y \text{ is } B2, \text{ THEN}$$

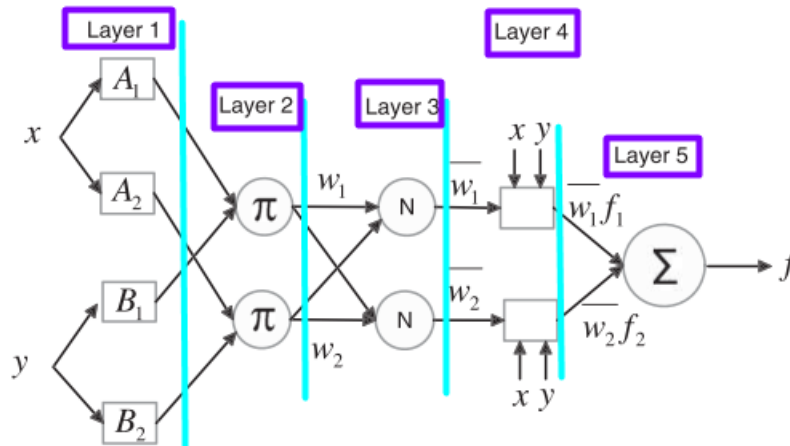
$$f2 = p2 * x + q2 * y + r2$$

Όπου:

- ✓ Το x και y είναι είσοδοι,
- ✓ Τα A_i και B_i είναι τα ασαφή σύνολα,
- ✓ Το f_i είναι οι έξοδοι που καθορίζονται στην ασαφή περιοχή με τον ασαφή κανόνα,
- ✓ Και το p_i , q_i και r_i είναι οι παράμετροι σχεδιασμού οι οποίοι καθορίζονται κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης διαδικασίας.

Η αρχιτεκτονική ANFIS που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή αυτών των δυο κανόνων (IF-THEN) απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα 7.6.3.1. Επίσης, μέσω αυτής της απεικόνισης του συστήματος παρουσιάζεται και ο μηχανισμός συλλογισμού του μοντέλου Sugeno (αναφέρθηκε παραπάνω), το οποίο επί της ουσίας βρίσκεται να αποτελεί τη βάση του μοντέλου ANFIS.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 7.6.3.1: Αρχιτεκτονική ANFIS (Πηγή: Al-Hmouz et al., 2012)

Στο σχήμα (Εικόνα 7.6.3.1), ο κάθε κύκλος που απεικονίζεται υποδηλώνει έναν σταθερό κόμβο (fixed node), ενώ σε αντίστοιχη περίπτωση κάθε τετράγωνο απεικονίζει έναν προσαρμοσμένο κόμβο (adaptive node) στο σύστημα μας. Ωστόσο, η αρχιτεκτονική ANFIS αποτελείται από πέντε επίπεδα (five layers), όπου διεξάγονται οι διεργασίες από την εισαγωγή των δεδομένων εισόδου μέχρι τα αποτελέσματα δεδομένων εξόδου, τα οποία είναι και τα ακόλουθα:

Layer 1

Στο Πρώτο επίπεδο, όλοι οι κόμβοι αποτελούν προσαρμοστικούς κόμβους (τετράγωνο σχήμα). Οι έξοδοι του πρώτου επιπέδου, αποτελούν τους ασαφής βαθμούς συμμετοχής των εισόδων, οι οποίοι δίνονται από τις ακόλουθες εξισώσεις (1 & 2), όπου x και y αποτελούν τις εισόδους των κόμβων i , ενώ A_i και B_i είναι οι γλωσσικές επισημάνσεις (υψηλό, χαμηλό κτλ.) οι οποίες συσχετίζονται με τους κόμβους συνάρτησης, $\mu_{A_i}(x)$ και $\mu_{B_{i-2}}(y)$ και μπορούν να υιοθετούν οποιαδήποτε συνάρτηση ασαφούς συμμετοχής.

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), i = 1,2 \quad (1)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), i = 3,4 \quad (2)$$

Για παράδειγμα, αν η συνάρτηση συμμετοχής η οποία απασχολείται στο πρόβλημα μας είναι σε σχήμα καμπάνας (bell-shaped membership function), σε αυτή την περίπτωση το $\mu_{A_i}(x)$ διαμορφώνεται ως:

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}}, i = 1,2 \quad (3)$$

ή η Gaussian συνάρτηση συμμετοχής για το $\mu_{A_i}(x)$ διαμορφώνεται ως:

$$\mu_{Ai}(x) = \exp \left[-\left(\frac{x-c_i}{a_i} \right)^2 \right], \quad (4)$$

τα οποία a_i , b_i και c_i αποτελούν τις παραμέτρους της συνάρτησης συμμετοχής.

Layer 2

Στο Δεύτερο επίπεδο, οι κόμβοι είναι σταθεροί (στρόγγυλο σχήμα). Σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνονται όλοι ο ασαφής τελεστές, οι οποίοι χρησιμοποιούν τον τελεστή AND για να μπορεί να πραγματοποιήσει ασάφεια των εισόδων. Αυτοί επισημαίνονται με το γράμμα π το οποίο με την σειρά του υποδηλώνει ότι λειτουργούν ως απλοί πολλαπλασιαστές. Η έξοδος αυτού του επιπέδου μπορεί να αναπαρασταθεί ως :

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{Ai}(x) * \mu_{Bi}(y), i = 1,2 \quad (5)$$

αυτές είναι οι επονομαζόμενες δυνάμεις πυροδότησης των κανόνων.

Layer 3

Στο Τρίτο επίπεδο, οι κόμβοι που σχηματίζονται είναι επίσης σταθεροί κόμβοι (fixed nodes) επονομαζόμενοι με το γράμμα N , το οποίο υποδηλώνει ότι ο ρόλος τους είναι για την ομαλοποίηση στις δυνάμεις πυροδότησης από το προηγούμενο στρώμα (Layer 2). Η έξοδος αυτού του στρώματος μπορεί να αναπαρασταθεί ως :

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1+w_2}, i = 1,2 \quad (6)$$

Οι έξοδοι που δημιουργούνται σε αυτό το στρώμα ονομάζονται ομαλοποιημένες δυνάμεις πυροδότησης.

Layer 4

Στο Τέταρτο επίπεδο, οι κόμβοι που συμμετέχουν είναι απόλυτα προσαρμόσιμοι. Η έξοδος κάθε κόμβου σε αυτό το επίπεδο βρίσκεται απλά να είναι προϊόν της ομαλοποίησης της ισχύος πυροδότησης παράλληλα με ένα πολυώνυμο πρώτης τάξης (λόγω μοντέλου Sugeno). Η έξοδος αυτού του επιπέδου δίνεται από το :

$$O_{3,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), i = 1,2 \quad (7)$$

όπου \bar{w}_i αποτελεί την έξοδο Τρίτου επιπέδου, ενώ p_i , q_i και r_i αποτελούν τις επακόλουθες παραμέτρους.

Layer 5

Τέλος, το Πέμπτο επίπεδο αποτελείται από ένα και μόνο ανεξάρτητο σταθερό κόμβο ο οποίος επονομάζεται ως Σ . Δηλαδή αποτελεί τον κόμβο ο οποίος εκτελεί το άθροισμα όλων των εισερχόμενων σημάτων του συστήματος. Η συνολική απόδοση του μοντέλου δίνεται από τον :

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}, \quad (8)$$

7.7 Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο (Fuzzy Cognitive Map)

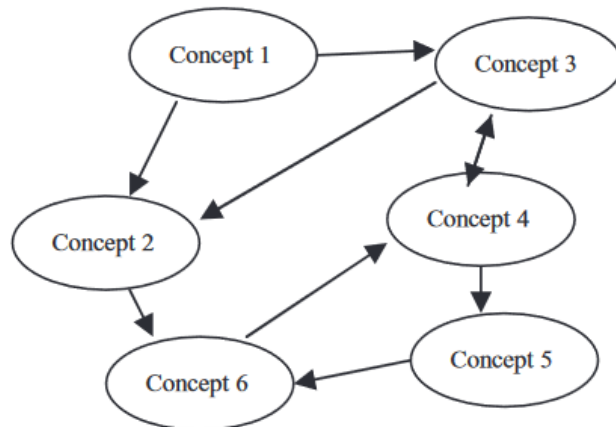
Οι Ασαφείς Γνωστικοί Χάρτες (FCM) αποτελούν μια υπολογιστική μεθοδολογία που είναι σε θέση να εξετάσει καταστάσεις κατά τις οποίες η ανθρώπινη διαδικασία σκέψης περιλαμβάνει ασαφείς ή αβέβαιες περιγραφές. Ένα ασαφές γνωστικό δίκτυο παρουσιάζει μια γραφική αναπαράσταση μέσω ενός κατευθυνόμενου γραφήματος συμβόλων (πρόσημα) με ανατροφοδότηση που αποτελείται από κόμβους και σταθμισμένα τόξα.

Οι κόμβοι του γραφήματος αντιπροσωπεύουν έννοιες που χρησιμοποιούνται από τους ειδικούς για να περιγραφούν (μέσω αιτιών και αποτελεσμάτων) οι σχέσεις και η συμπεριφορά του συστήματος με ένα απλό και συμβολικό τρόπο. Οι σύνδεσμοι μεταξύ των εννοιών φέρουν πρόσημα με + ή - για να υπάρχει η ευελιξία να δηλώνεται η αντιπροσώπηση της θετικής ή της αρνητικής σχέσης μεταξύ των κόμβων, ενώ η προσέγγιση που βασίζεται στην ασαφή λογική περιγράφει τον βαθμό αιτιότητας. Κάθε Ασαφής Γνωστικός Χάρτης αποτελείται από n έννοιες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν ένα πίνακα (matrix) $n \times n$ διαστάσεων. Γενικά, χρειάζεται να αναφερθεί ότι η αιτιώδης συνάφεια μεταξύ των εννοιών περιγράφεται από μη γραμμική συνάρτηση $e(C_i, C_j)$, η οποία περιγράφει τον βαθμό, στον οποίο το C_i επηρεάζει το C_j (E.I. Papageorgiou and C.D. Stylios, 2008). Δηλαδή, η κάθε έννοια της μεταβλητής (C_i), χαρακτηρίζεται από ένα αριθμό που αντιπροσωπεύει τις τιμές της και υπολογίζεται μέσω του μετασχηματισμού μιας ασαφούς τιμής ή της προσαρμογής μιας αριθμητικής τιμής, στο επιθυμητό διάστημα $[0,1]$. Οι τιμές των βαρών των διασυνδέσεων, οι οποίες αποκαλούνται και συναρτήσεις επιρροής, αρχικά καθορίζονται γλωσσικά από ειδικούς και στη συνέχεια μετατρέπονται σε τιμές που ανήκουν στο διάστημα $[-1,1]$ μέσω ενός ειδικά σχεδιασμένου αλγόριθμου. Με αυτό τον τρόπο τα FCM ενσωματώνουν τη συσσωρευμένη γνώση και εμπειρία από ειδικούς που γνωρίζουν πώς συμπεριφέρεται το σύστημα σε διαφορετικές περιστάσεις (Mpelogianni et al., 2019).

Χαρακτηρίστηκα, μπορεί να παρατηρηθεί από την εικόνα 7.7.1, στην οποία παρουσιάζεται παρακάτω μέσω παραδείγματος απλού πίνακα (matrix) ΑΓΔ, ο οποίος προτείνεται από τον Kosko, όπου τα βάρη λαμβάνουν μόνο δίπολες τιμές (0 ή 1), ενώ στο σχήμα της επόμενης εικόνας 7.7.2 απεικονίζεται ένα ΑΓΔ με ασαφή βάρη. Αν υποθεθεί ότι ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο αποτελείται από n έννοιες, τότε κατασκευάζονται δυο πίνακες οι οποίοι αποτελούνται : α) από $1 \times n$ έννοιες, όπου, το A αντιπροσωπεύει τις αριθμητικές τιμές των n εννοιών, β) ενώ ένας ακόμη πίνακας $n \times n$ ο οποίος θα αντιπροσωπεύει τα W και θα δηλώνει την αιτιότητα των σχέσεων. Στον πίνακα βαρών (weight matrix) η σειρά i αντιπροσωπεύει την αιτιότητα για κάθε έννοια i όλων των υπολοίπων εννοιών στο χάρτη. Επίσης, καμία έννοια δεν

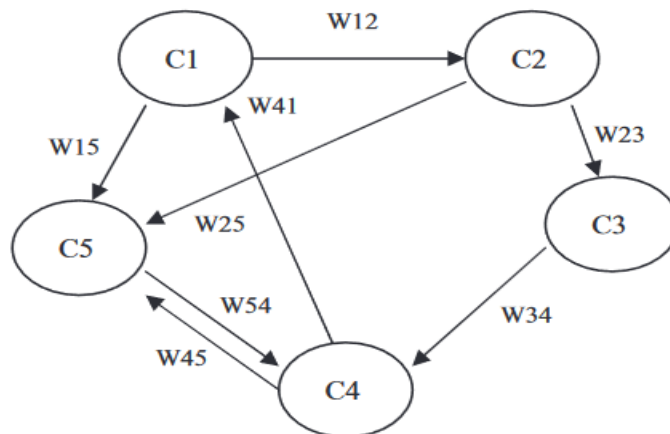
Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

θεωρείται ότι προκαλεί αιτιότητα στον εαυτό της, με αυτό τον τρόπο η διαγώνιος του ολικού πίνακα, όπου γίνεται η αντικατάσταση, μηδενίζεται. Εν συνεχεία, κάθε στοιχείο w_{ji} του πίνακα W δείχνει την τιμή του βάρους (w_{ji}) μεταξύ των εννοιών C_j και C_i .



To/From	Concept 1	Concept 2	Concept 3	Concept 4	Concept 5	Concept 6
Concept 1	0	1	1	0	0	0
Concept 2	0	0	0	0	0	1
Concept 3	0	1	0	1	0	0
Concept 4	0	0	1	0	1	0
Concept 5	0	0	0	0	0	1
Concept 6	0	0	0	1	0	0

Εικόνα 7.7.1: Απλό Σύστημα Πινάκων FCM με Διπολική Αλληλεπίδραση των Βαρών (Πηγή : E.I. Papageorgiou and C.D. Stylios, 2008).



Εικόνα 7.7.2: Απλή Αναπαράσταση FCM (Πηγή: E.I. Papageorgiou and C.D. Stylios, 2008).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Στην παρακάτω εξίσωση (1) υπάρχει η δυνατότητα να μετατραπεί ως εξής για να περιγράψει τη λειτουργία των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, χρησιμοποιώντας μια συμπαγή μαθηματική εξίσωση:

$$A^{(k)} = f(A^{(k-1)} + A^{(k-1)} * W) \quad (1)$$

Όπου $A^{(k)}$ είναι η στήλη του πίνακα με τιμές των εννοιών του βήματος προσέγγισης k , ενώ f είναι το όριο της συνάρτησης. Επίσης, στην περίπτωση των μοντέλων των ασαφών γνωστικών χαρτών οποιουδήποτε συστήματος, λαμβάνει τις αρχικές τιμές των εννοιών που βασίζεται σε μετρήσεις από το πραγματικό σύστημα και είναι ελεύθερο να αλληλοεπιδρά. Αυτού του είδους η αλληλεπίδραση μπορεί να προκαλείται επίσης από την αλλαγή της αξίας μίας ή και περισσότερων εννοιών σε ένα σύστημα. Ωστόσο όταν υπάρχουν αλληλεπιδράσεις σε ένα μοντέλο FCM τότε αυτές συνεχίζονται μέχρι να:

- Καταφέρει το σύστημα μας να φτάσει σε ένα σταθερό σημείο ισορροπίας, με τις τιμές εξόδου να σταθεροποιούνται και να γίνονται ισχυρές (σταθερές) αριθμητικές τιμές.
- Να παρουσιάζουν οριακή κυκλική συμπεριφορά, όπου οι τιμές έννοιας εισέρχονται σε ένα βρόγχο από αριθμητικές τιμές.
- Να παρουσιάσει μια χαοτική συμπεριφορά, όπου οι έννοιες φτάνουν να διαθέτουν μια ποικιλία αριθμητικών τιμών, με έναν μη νομοτελειακό, τυχαίο τρόπο.

Συγκρίνοντας τα έξυπνα συστήματα (ES) με τους ασαφείς γνωστικούς χάρτες (FCM), τα τελευταία βρίσκονται να είναι σχετικά γρηγορότερα και ευκολότερα στον να αποκτούν γνώση και εμπειρία, ιδιαίτερα τις ανθρώπινες προσεγγίσεις, που συνήθως δεν είναι ικανές να λαμβάνουν αποφάσεις χρησιμοποιώντας μαθηματικά ακριβείας, αλλά χρησιμοποιώντας γλωσσικές μεταβλητές. Οι μέθοδοι κατασκευής των FCM αξιοποιούν διαφορετικές πηγές γνώσης οι οποίες διαθέτουν ποικίλες γνώσεις από διαφορετικούς βαθμούς εξειδίκευσης. Το κυριότερο πλεονέκτημα της μεθόδου ανάπτυξης FCM είναι ότι δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των εμπειρογνομώνων ή στον αριθμό των εννοιών, για να συσταθεί ένα σύστημα ασαφούς γνωστικού χάρτη.

7.7.1 Γενική Μεθοδολογία και Ανάπτυξη Ασαφών Γνωστικών Χαρτών

Η κατασκευαστική και εξελικτική μεθοδολογία των FCM προϋποθέτει ύψιστη σημασία για να μπορέσει να επιτύχει ένα τέτοιο μοντέλο. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία αναπαριστά την ανθρώπινη γνώση μέσω τη λειτουργικής διαδικασίας του συστήματος με τους ειδικούς να αναπτύσσουν τα FCM χρησιμοποιώντας την

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

εμπειρίας και τις γνώσεις τους στο σύστημα. Επίσης, οι ειδικοί διαθέτουν την ικανότητα να γνωρίζουν ποιοι είναι οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το σύστημα και ποια είναι τα βασικά στοιχεία του εκάστοτε συστήματος μοντέλου, καθώς, καθορίζουν τον αριθμό και το είδος των εννοιών από τις οποίες αποτελείται ένα FCM.

Οι κατασκευαστικές μεθοδολογίες, βασίζονται κυρίως στην αξιοποίηση της εμπειρίας των ειδικών ως προς την μοντελοποίηση και τη συμπεριφορά του συστήματος. Παράλληλα, ο ειδικός έχει την ιδιότητα να παρατηρεί τους κύριους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη συμπεριφορά του συστήματος, ενώ, κάθε ένας από αυτούς του παράγοντες αντιπροσωπεύεται από μια έννοια του ασαφούς μοντέλου. Σύμφωνα με την εμπειρία που συλλέγεται, οι ειδικοί καθορίζουν τις έννοιες του ασαφούς συστήματος το οποίο έχει την δυνατότητα να σταθεί ικανό αντιπροσωπεύοντας γεγονότα, ενέργειες, στόχους, αξίες και τάσεις του συστήματος. Οι περισσότεροι ειδικοί γνωρίζουν ποια στοιχεία του συστήματος επηρεάζουν άλλα στοιχεία, έτσι με αυτό τον τρόπο καθαρίζουν την αρνητική ή την θετική επίδραση μιας έννοιας στις άλλες, με ασαφή βαθμό αιτιότητας. Με λίγα λόγια, η αιτιώδης ασάφεια, αποτελεί το κλειδί στην αναπαράσταση της ανθρώπινης γνώσης, και η ανθρώπινη διέξοδος, ώστε να μπορεί να λαμβάνει μια απόφαση το σύστημα που έχει κατασκευαστεί από τον ειδικό. Με αυτό τον τρόπο, ένας ειδικός αποκωδικοποιεί τη γνώση του συστήματος και στην συνέχεια μετατρέπει αυτή την ίδια γνώση σε ένα σταθμισμένο γράφημα ασαφούς γνωστικού χάρτη.

Ταυτόχρονα, οι υπερσυνδέσεις οι οποίες υπάρχουν μεταξύ των εννοιών, έχουν την ικανότητα να εκφράζουν τη σχέση που μπορεί να υπάρχει ανάμεσα σε δυο έννοιες, χαρακτηρίζοντας τις σχέσεις αιτίας-αποτελέσματος. Αυτή η αιτιώδης σχέση χαρακτηρίζεται από ασάφεια, λόγω της φύσης της, καθώς αντιπροσωπεύει την επίδραση ενός ποιοτικού παράγοντα σε έναν άλλο και προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας γλωσσικές μεταβλητές.

Οι ακόλουθοι ορισμοί περιγράφουν την διαδικασία προσδιορισμού των σχέσεων, που προαναφέρθηκαν, αιτίας-αποτελέσματος, μεταξύ των εννοιών.

Ορισμός 1: Κατεύθυνση συσχέτισης μεταξύ δυο εννοιών.

Η αιτιώδης σχέση μεταξύ δύο εννοιών μπορεί να έχει τις ακόλουθες κατευθύνσεις:

- Η έννοια C_i επηρεάζει την έννοια C_j και σε αυτό το σημείο υπάρχει σύνδεση μεταξύ $i \rightarrow j$, άρα $\delta i, j = 1$.
- Είτε υπάρχει σύνδεση με την αντίστροφη κατεύθυνση $j \rightarrow i$, όταν η έννοια C_j επηρεάζει την έννοια C_i και με αυτό τον τρόπο προκύπτει $\delta j, i = 1$.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

- Είτε δεν υπάρχει σύνδεση αυτών των δυο εννοιών:

$$i, j = \begin{cases} \delta_{i,j} = 1 \\ \delta_{j,i} = 1 \\ 0 \end{cases}$$

Ορισμός 2: Πρόσημο συσχέτισης μεταξύ δυο εννοιών.

Η συσχέτιση μεταξύ δυο εννοιών μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική:

- $W_{ij} > 0$, όπου σημαίνει ότι όταν η τιμή της έννοιας C_i αυξάνεται, η τιμή της έννοιας C_j αυξάνεται και όταν η τιμή C_i μειώνεται, η τιμή της C_j , επίσης, μειώνεται.
- $W_{ij} < 0$, όπου σημαίνει ότι όταν η τιμή της έννοιας C_i αυξάνεται, η τιμή της έννοιας C_j μειώνεται και όταν η τιμή C_i μειώνεται, η τιμή της C_j , αυξάνεται.

Ορισμός 3: Βαθμός συσχέτισης μεταξύ δυο εννοιών.

Όταν η τιμή του βάρους για την διασύνδεση W_{ij} μεταξύ της έννοιας C_i και της έννοιας C_j , εκφράζει το βαθμό συσχέτισης της τιμής μιας έννοιας με τον υπολογισμό της τιμής της διασυνδεδεμένης έννοιας. Οι γλωσσικές μεταβλητές χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη δυναμική, της επιρροής, από τη μία έννοια στην άλλη και ο ευδιάκριτος (crisp, clear value) μετασχηματισμός των γλωσσικών τιμών των βαρών που ανήκει στο διάστημα $[-1, 1]$.

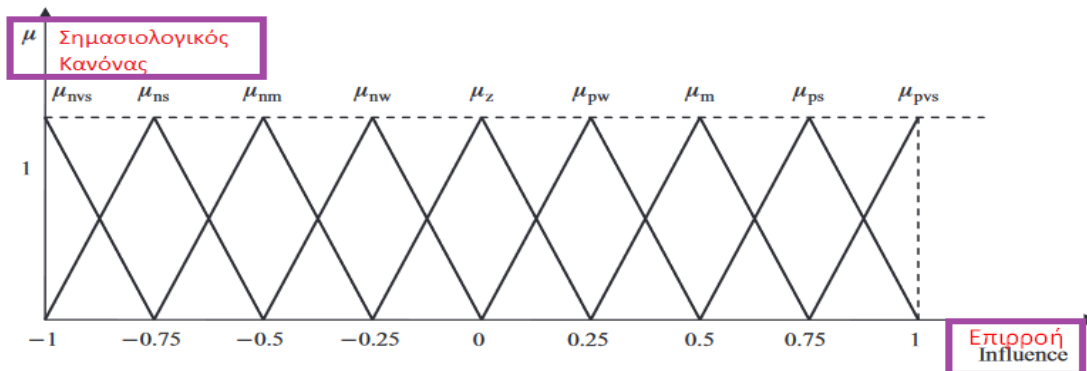
Σε αυτό το σημείο οφείλεται να αναφερθεί ότι διαφορετικές μεθοδολογίες έχουν προταθεί για την ανάπτυξη των ασαφών συστημάτων με στόχο την εξαγωγή γνώσεων από ειδικούς. Οι ειδικοί, καλούνται να περιγράψουν την αιτιότητα μεταξύ των εννοιών και την επιρροή μιας έννοιας στην άλλη, χρησιμοποιώντας γλωσσικές έννοιες. Στο πρώτο βήμα, οι ειδικοί χρησιμοποιούν τον «Ορισμό 1», για να έχουν την δυνατότητα να περιγράψουν την κατεύθυνση της αιτιότητας μεταξύ δύο εννοιών. Στη συνέχεια, καθορίζουν το είδος της σχέσης χρησιμοποιώντας τον «Ορισμό 2». Παράλληλα, περιγράφουν τον βαθμό αιτιώδους σχέσης δυο εννοιών σύμφωνα με τον «Ορισμό 3», χρησιμοποιώντας τη γλωσσική μεταβλητή. Η εκάστοτε επιρροή και ο βαθμός επιρροής περιγράφονται με μια γλωσσική μεταβλητή, όπως για παράδειγμα "ισχυρός", "αδύναμος" κ.λπ.

Η επιρροή μιας έννοιας προς μια άλλη ερμηνεύεται ως μια γλωσσική μεταβλητή η οποία λαμβάνει τιμές στο διάστημα (universe) $U = [-1, 1]$ και ο σταθερός όρος $T_{(influence)}$ προτείνεται να είναι:

- $T_{(influence)} = \{ \text{αρνητικά πολύ ισχυρή, αρνητικά ισχυρή, αρνητικά μέτρια, αρνητικά αδύναμη, μηδενική, θετικά αδύναμη, θετικά μέτρια, θετικά ισχυρή, θετικά πολύ ισχυρή} \}$

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Ο σημασιολογικός κανόνας «μ» ορίζεται όπως παρακάτω και αυτοί οι όροι χαρακτηρίζονται από τα ασαφή σύνολα των οποίων οι λειτουργίες συμμετοχής φαίνονται ευδιάκριτα στο παρακάτω σχήμα της εικόνας 7.7.1.1. Όπου $M_{(\text{negative very strong})}$ = το ασαφές σύνολο, του οποίου η «επιρροή βρίσκεται κάτω από -75%», με συνάρτηση που αποτελεί ιδιότητα μέλους του συστήματος μ_{nvs} .



Εικόνα 7.7.1.1: Οι Εννέα Συναρτήσεις Συμμετοχής που Αντιστοιχούν σε κάθε μία από τις Εννέα Γλωσσικές Μεταβλητές (Πηγή : E.I. Papageorgiou and C.D. Stylios, 2008).

Οι αντιστοιχισμένες εννέα γλωσσικές μεταβλητές που συναντώνται στο παραπάνω διάγραμμα είναι οι εξής:

- M (αρνητικά πολύ ισχυρό) = το ασαφές σύνολο για «επιρροή μεγαλύτερη από -75%» με συνάρτηση μέλους μ_{nvs} .
- M (αρνητικά ισχυρό) = το ασαφές σύνολο για «επιρροή κοντά στο -75%» με συνάρτηση μέλους μ_{ns} .
- M (αρνητικά μέσο) = το ασαφές σύνολο για «επιρροή κοντά στο -50%» με συνάρτηση μέλους μ_{nm} .
- M (αρνητικά ασθενές) = το ασαφές σύνολο για «επιρροή κοντά στο -25%» με συνάρτηση μέλους μ_{nw} .
- M (μηδέν) = το ασαφές σύνολο για «μια επίδραση κοντά στο 0» με συνάρτηση μέλους μ_z .
- M (θετικά ασθενές) = το ασαφές σύνολο για «επιρροή κοντά στο 25%» με συνάρτηση μέλους μ_{pw} .
- M (θετικά μέσο) = το ασαφές σύνολο για «μια επιρροή κοντά στο 50%» με συνάρτηση μέλους μ_m .
- M (θετικά ισχυρό) = το ασαφές σύνολο για «επιρροή κοντά στο 75%» με συνάρτηση μέλους μ_{ps} .
- M (θετικά πολύ ισχυρό) = το ασαφές σύνολο για «επιρροή άνω του 75%» με συνάρτηση μέλους μ_{pvs} .

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Οι τιμές οι οποίες ανήκουν στη εκάστη μεταβλητή επιρροής ανήκουν σε ένα σύνολο, όπως προαναφέρθηκε, εννέα μελών που μπορούν να περιγράψουν με επάρκεια τη σχέση που δημιουργείται μεταξύ δύο εννοιών. Αυτά τα εννέα μέλη βρίσκονται σε αντιστοιχία με την ανθρώπινη πραγματευση η οποία περιγράφει την αιτία σχέσης μεταξύ των εννοιών. Επίσης, το σύνολο των τιμών της γλωσσικής μεταβλητής επιρροής (influence) θα είχε την δυνατότητα να αποτελείται από ένα μεγάλο νούμερο τιμών, αλλά σε αυτή την περίπτωση η περιγραφή των σχέσεων θα βρισκόνταν να είναι πολύ λεπτομερής. Όπου ένας ειδικός, δεν θα μπορούσε να περιγράψει ή να διακρίνει, τη σχέση ως «πάρα πολύ ισχυρή επιρροή» με το «πολύ ισχυρή επιρροή». Αντιθέτως, ο ορισμός των βαθμών επιρροής θα πρέπει να είναι λεπτομερής χωρίς να διαθέτει μόλις ελάχιστες ιδιότητες μελών, όπως για παράδειγμα, τρία (3) μόλις μέλη τα οποία με την σειρά τους να περιγράφουν την επιρροή με τρεις δηλώσεις : αδύναμη, μεσαία, ισχυρή.

Στις περιπτώσεις, όπου ομάδες ειδικών αναπτύσσουν ένα Ασαφές σύστημα, για κάθε διασύνδεση του συστήματος, ο κάθε ειδικός εκχωρεί μια γλωσσική μεταβλητή που περιγράφει την επιρροή από την μια έννοια στην άλλη. Δηλαδή, για κάθε διασύνδεση το «μ» του ειδικού, εκχωρείται ως γλωσσική μεταβλητή «μ», με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα σύνολο «μ» γλωσσικών μεταβλητών οι οποίες βρίσκονται ικανές να περιγράφουν κάθε διαθέσιμη διασύνδεση του Ασαφούς συστήματος.

Οι γλωσσικές μεταβλητές «μ», συνδυάζονται με τη μέθοδο της ασαφούς λογικής min – max, με αποτέλεσμα να παράγεται ένα συνολικό γλωσσικό βάρος, το οποίο βρίσκεται να είναι αντιπροσωπευτικό της δυνάμεως για την εκάστοτε διασύνδεση. Όπου, στη συνέχεια μετατρέπεται σε αριθμητική τιμή, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αποσαφοποίησης (defuzzification) της περιοχής του κέντρου. Επίσης, η συνολική γλωσσική μεταβλητή μετασχηματίζεται στο διάστημα [-1, 1], καθώς, η ίδια διαδικασία εφαρμόζεται σε όλες τις υπάρχουσες διασυνδέσεις μεταξύ των εννοιών η του Ασαφούς συστήματος.

Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτής της μεθοδολογίας είναι ότι οι ειδικοί καλούνται να περιγράψουν της αιτιότητας μεταξύ των εννοιών χρησιμοποιώντας γλωσσικές μεταβλητές χωρίς να χρειάζεται να εκχωρήσουν αριθμητικά βάρη αιτιότητας. Με αυτό τον τρόπο, κατασκευάζοντας έναν αρχικό πίνακα όπου για Wii (Εικόνα 7.7.1.2), λαμβάνεται : $i=0, i=1, i=2...i=n$. Έτσι χρησιμοποιώντας τις αρχικές τιμές των εννοιών, A_i , και για αρχικό πίνακα $W_{(initial)}$, το Ασαφές σύστημα αλληλοεπιδρά μέσω της εφαρμογής του κανόνα της εξίσωσης (1).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

$$W^{\text{initial}} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1N} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{N1} & w_{N2} & \dots & w_{NN} \end{bmatrix}$$

Εικόνα 7.7.1.2: Αρχικός Πίνακας W (W^{initial}) (Πηγή: E.I. Papageorgiou and C.D. Stylios, 2008).

Λόγω της πιθανότητας να υπάρξει σύγκλιση των δεδομένων, σε ανεπιθύμητες σταθερές καταστάσεις, αποτελεί μια σημαντική ανεπάρκεια του συστήματος Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη. Για αυτό το λόγο τα ασαφή συστήματα συνεχώς βελτιώνονται ενισχύοντας με αυτό τον τρόπο σημαντικά την απόδοσή τους. Οι αλγόριθμοι μάθησης, χρησιμοποιούνται για την αύξηση της αποδοτικότητας και της ευρωστίας των FCM, ενημερώνοντας ταυτόχρονα των πίνακα βαρών του συστήματος, για να μπορεί να αποφευχθεί οποιαδήποτε ανεπιθύμητη κατάσταση σταθερότητας του μοντέλου.

7.7.2 Μη Εποπτευόμενη Εκμάθηση Αλγόριθμων για τα Ασαφών Γνωστικών Χαρτών (Unsupervised Learning)

Ενεργός Αλγόριθμος Εκμάθησης Hebbian

Αυτός ο αλγόριθμος (Algorithm Hebbian Learning) βασίζεται στην υποθετική αλληλουχία της επιρροής από την μία έννοια στην άλλη, όπου με αυτό τον τρόπο ο κύκλος αλληλεπίδρασης χωρίζεται σε βήματα. Κατά την διάρκεια όπου το ασαφές μοντέλο βρίσκεται στη φάση βελτίωσης, οι ειδικοί καλούνται να καθορίσουν την αλληλουχία των εννοιών ενεργοποίησης, τα βήματα ενεργοποίησης και τον κύκλο ενεργοποίησης. Στη συνέχεια, σε κάθε βήμα ενεργοποίησης, μίας ή πολλών εννοιών, γίνεται ενεργοποίηση, πυροδοτώντας τις άλλες διασυνδεδεμένες έννοιες, κατά την επαναφορά του επόμενου βήματος προσομοίωσης, υπάρχει η δυνατότητα να ανέλθουν ως έννοιες ενεργοποίησης. Όταν πλέον, όλες οι έννοιες έχουν ενεργοποιηθεί, ο κύκλος προσομοίωσης κλείνει και αμέσως μετά ένα καινούριος ξεκινά μέχρι το σύστημα να συγκλίνει σε μια περιοχική ισορροπία.

Εκτός από τον προσδιορισμό της ακολουθίας των εννοιών ενεργοποίησης, οι ειδικοί επιλέγουν έναν περιορισμένο αριθμό εννοιών σαν εξόδους για κάθε συγκεκριμένο πρόβλημα, αυτό ορίζεται ως: οι έννοιες ενεργοποίησης αποφάσεων (activation decision concepts). Καθώς αυτές βρίσκονται στο επίκεντρο του

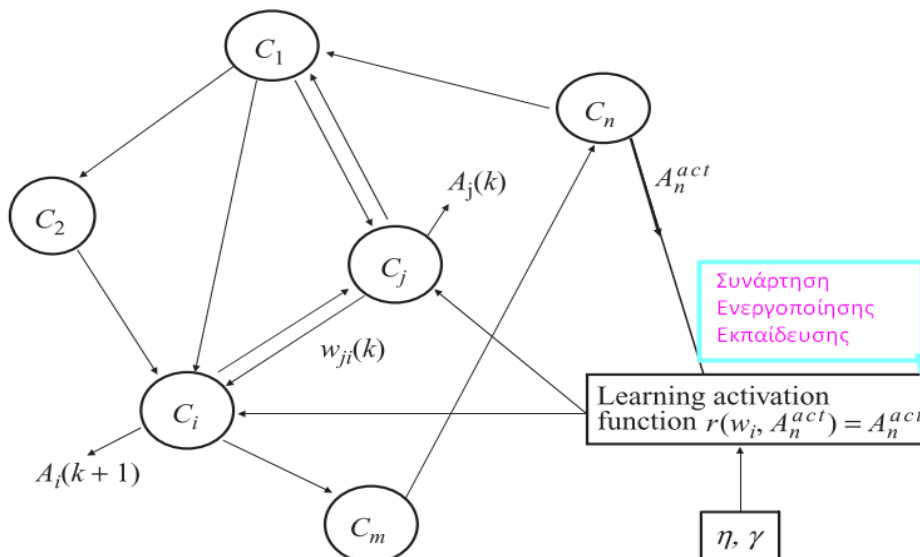
Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

ενδιαφέροντος, αντιπροσωπεύουν τους κύριους παράγοντες και χαρακτηριστικά του συστήματος, τα οποία είναι γνωστά και ως έξοδοι, ενώ οι τιμές τους αντιπροσωπεύουν την τελική κατάσταση του συστήματος.

Για να μπορέσουν να γίνουν καλύτερα αντιληπτά όλα τα παραπάνω, υποθέτουμε ότι έχουμε ένα Ασαφές σύστημα όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 7.7.2.1, όπου οι ειδικοί αποφάσισαν ότι η ακόλουθη ενεργοποίηση αλληλουχίας, είναι όπως: $C_1 \rightarrow C_2, C_j \rightarrow C_i \rightarrow C_m \rightarrow C_n$.

Στο δεύτερο βήμα του κύκλου, σύμφωνα με την αλληλουχία ενεργοποίησης της έννοιας, το C_j βρίσκεται να είναι η έννοια ενεργοποίησης η οποία επηρεάζει την έννοια C_i , όπως χαρακτηριστικά παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα της εικόνας 7.7.2.1. Δηλαδή η έννοια C_j , δηλώνεται ως η έννοια ενεργοποίησης, με την τιμή A_j^{act} να ενεργοποιεί τη διασυνδεδεμένη αντίστοιχη έννοια C_i , η οποία είναι και ενεργοποιημένη.

Στο επόμενο βήμα προσέγγισης, η έννοια C_i επηρεάζει τις άλλες διασυνδεδεμένες έννοιες (C_m, C_n) και ούτω καθεξής. Αυτός ο αλγόριθμος εκπαίδευσης διαθέτει ασύγχρονη διέγερση λειτουργίας, το οποίο σημαίνει ότι η έννοια C_j αποτελεί την έννοια ενεργοποίησης η οποία ενεργοποιεί το C_i , επίσης, το αντίστοιχο βάρος W_{ji} της αιτιώδους διασύνδεσης ενημερώνεται και το τροποποιημένο βάρος $W_{(k)ji}$ παραγωγίζεται για κάθε βήμα προσέγγισης του k .



Εικόνα 7.7.2.1: Σχήμα Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη όπου Λαμβάνει Χώρα η Διαδικασία Ενεργοποίησης του Εκπαιδευτικού Βάρους (Πηγή: E.I. Parageorgiou and C.D. Stylios, 2008).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Στο παραπάνω σχήμα το οποίο είναι και ένα παράδειγμα ασαφούς μοντέλου κατά τη διάρκεια ενεργοποίησης της ακολουθίας. Επίσης, το μοντέλο αποτελείται από n κόμβους ενώ στο δεύτερο βήμα ενεργοποίησης, η ενεργοποίηση της έννοιας C_j επηρεάζει την ενεργοποιημένη έννοια του C_i .

Οι ακόλουθες παράμετροι απεικονίζονται στην εικόνα 7.7.2.1:

- Το C_i είναι η i th έννοια με τιμή $A_i(k)$, $1 \leq i \leq n$.
- Το W_{ji} αποτελεί το βάρος το οποίο περιγράφει την επιρροή που δημιουργείται από το C_j στο C_i .
- Το A_j^{act} αποτελεί την τιμή ενεργοποίησης της έννοιας C_j , η οποία με την σειρά της πυροδοτεί την διασυνδεδεμένη έννοια C_i .
- Το γ αποτελεί το φθίνον βάρος της παραμέτρου.
- Το η είναι ο δείκτης εκπαίδευσης της παραμέτρου, ο οποίος εξαρτάται από την προσομοίωση του κύκλου c
- Το $A_i(k)$ η τιμή ενεργοποίησης της έννοιας C_i , κατά το βήμα προσέγγισης του k .

Η τιμή $A_i(k+1)$ της ενεργοποιημένης έννοιας C_i , κατά το βήμα προσέγγισης $k+1$, υπολογίζεται, υπολογίζοντας την επιρροή που ασκείται από την έννοια ενεργοποίησης με τιμές A_l^{act} στη συγκεκριμένη έννοια C_i λόγω των τροποποιημένων βαρών $W_{li}(k)$ στο βήμα προσέγγισης k , μέσω της εξίσωσης

$$A_i(k+1) = f(A_i(k) + \sum_{l \neq i} A_l^{act}(k) * w_{li}(k)), \quad (1)$$

Όπου A_l αποτελούν τις τιμές των εννοιών C_l οι οποίες επηρεάζουν την έννοια C_i και $w_{li}(k)$, τα οποίες με την σειρά τους είναι τα αντίστοιχα βάρη τα οποία περιγράφουν την επιρροή από το C_l στο C_i .

Για παράδειγμα στο σχήμα της εικόνας 7.7.2.1, όταν το 1 πάρει τιμές 1, 2 και j , καθώς επίσης και A_1 , A_2 και A_j θα είναι οι τιμές των εννοιών C_1 , C_2 και C_j όπου επηρεάζουν το C_i . Συνεπώς, η τιμή A_i της έννοιας, μετά την πυροδότηση του βήματος $k+1$, υπολογίζεται ως εξής:

$$A_i(k+1) = f(A_i(k) + A_1^{act}(k) * w_{1i}(k) + A_2^{act}(k) * w_{2i}(k) + A_j^{act}(k) + w_{ji}(k)) \quad (2)$$

7.7.3 Μη Γραμμικός Αλγόριθμος Hebbian Εκπαίδευσης Ασαφών Γνωστικών Χαρτών (Non-Hebbian Learning Algorithm)

Ένας ακόμη αλγόριθμος του οποίου η λειτουργία είναι μη εποπτευόμενη και βρίσκεται να προτείνεται και να είναι από τους πλέον καταλληλότερους για τα συστήματα ασαφών γνωστικών χαρτών, βασίζεται στο μη γραμμικό κανόνα εκπαίδευσης τύπου Hebbian, για εκπαίδευση τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Ο

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

συγκεκριμένος κανόνας εκπαίδευσης χωρίς εποπτεία έχει υποστεί τροποποίηση και προσαρμογή για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση ενός ασαφούς συστήματος εισάγοντας τον αλγόριθμο Non-Linear Hebbian Learning (NHL) για FCM. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, βασίζεται στην παραδοχή ότι όλες οι έννοιες στο ασαφές μοντέλο έχουν την δυνατότητα συγχρονισμένα να πυροδοτούνται σε κάθε επαναληπτικό βήμα και συγχρονισμένα να αλλάζουν τις τιμές τους. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας πυροδότησης, όλα τα βάρη (W_{ji}) των αιτιωδών διασυνδέσεων των εννοιών, ενημερώνονται και τροποποιούν το βάρος τους $W_{ji}^{(k)}$ όπως αυτό προκύπτει για το επαναληπτικό βήμα (k) της διαδικασίας.

Η τιμή $A_i^{(k+1)}$ της έννοιας C_i στο επαναληπτικό βήμα $k+1$ υπολογίζεται, υπολογίζοντας την επιρροή της διασύνδεσης των εννοιών με τις τιμές A_j της συγκεκριμένης έννοιας C_j , σύμφωνα με τα τροποποιημένα βάρη $w_{ji}^{(k)}$ στο επαναληπτικό βήμα k .

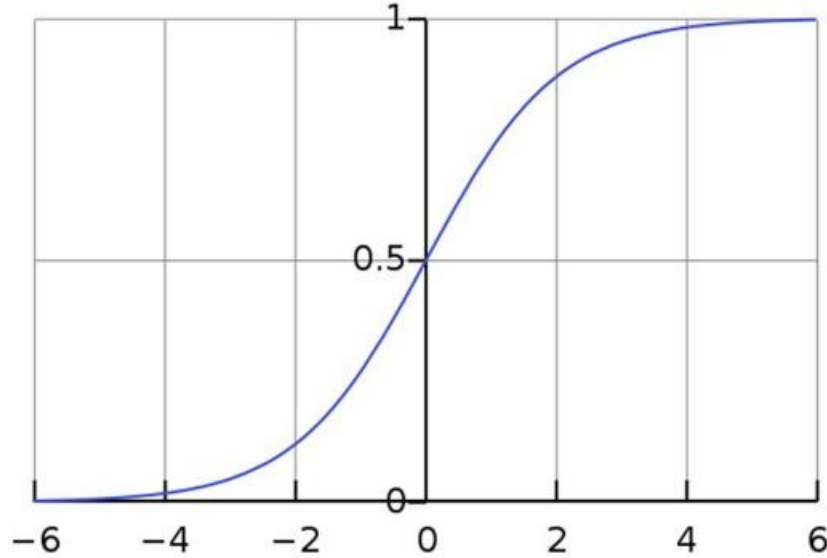
Επομένως, για να γίνει πιο αντιληπτός ο τρόπος διεξαγωγής της διεργασίας του συστήματος χρειάζεται να γίνει γνωστό πως:

- ❖ Το πρόσημο κάθε βάρους αντιπροσωπεύει τον τύπο επιρροής μεταξύ των εννοιών (θετική, αρνητική ή μηδενική).
- ❖ Το βάρος επιρροής μεταξύ των δυο εννοιών υποδεικνύεται από την απόλυτη τιμή του W_{ij} .
- ❖ Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, η τιμή κάθε έννοιας (A_i) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο κανόνα εξίσωσης:

$$A_i^{(k+1)} = f \left(A_i^{(k)} + \sum_{j \neq i, j=1}^N A_j^{(k)} * w_{ji}^{(k)} \right). \quad (1)$$

Επομένως, στον παραπάνω κανόνα, όπου εμφανίζεται το k αντιπροσωπεύει το βήμα επανάληψης, ενώ το N αποτελεί τον αριθμό των εννοιών και το f συμβολίζει την σιγμοειδή συνάρτηση που δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$f = \frac{1}{1+e^{-\lambda x}} \quad (2)$$



Εικόνα 7.7.3.1: Γράφημα Σιγμοειδή Συνάρτηση (**Πηγή:** (Mpelogianni & Groupos, 2018)

Όπου το $\lambda > 0$ και είναι αυτό το οποίο καθορίζει την απότομη κλίση της συνάρτησης f (Mpelogianni & Groupos, 2019).

Με αυτό τον τρόπο, εκμεταλλευόμενοι τον γενικό μη γραμμικό κανόνα εκπαίδευσης τύπου Hebbian (NHL) για νευρωνικά δίκτυα, παρακάτω παρουσιάζεται ο τυπικός μαθηματικός κανόνας ο οποίος ενσωματώνει τον συγκεκριμένο κανόνα εκπαίδευσης των ασαφών μοντέλων. Αυτός ο αλγόριθμος, συσχετίζει τις τιμές των εννοιών και τις τιμές των βαρών μέσα σε ένα μοντέλο ασάφειας, παίρνοντας την γενική μαθηματική μορφή, όπως φαίνεται παρακάτω (εξίσωση 3), με τον συντελεστή «η», ο οποίος είναι ένας πολύ μικρός θετικός κλιμακωτός παράγοντας, που ονομάζεται παράμετρος μάθησης. Ο συγκεκριμένος προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας την πειραματική μέθοδο δοκιμής και σφάλματος προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η τελική λύση.

$$\Delta w_{ji} = \eta A_i^{(k-1)} \left(A_j^{(k-1)} - w_{ji}^{(k-1)} * A_i^{(k-1)} \right). \quad (3)$$

Στη συνέχεια, θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση (3) έτσι, ώστε να μετατραπεί και να προσαρμοστεί, σύμφωνα με τις ανάγκες του μοντέλου Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη (FCM). Η μορφή που παίρνει η εξίσωση για το μη γραμμικό κανόνα βάρους εκπαίδευσης για το ασαφές μοντέλο, είναι:

$$w_{ji}^{(k)} = \gamma * w_{ji}^{(k-1)} + \eta A_i^{(k-1)} \left(A_j^{(k-1)} - \text{sgn} \left(w_{ji}^{(k-1)} \right) w_{ji}^{(k-1)} A_i^{(k-1)} \right), \quad (4)$$

Όπου: το γ αποτελεί το φθίνον βάρος εκπαίδευσης της συνάρτησης.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Επίσης, η τιμή κάθε έννοιας του μοντέλου, ενημερώνεται μέσω της εξίσωσης (1), εκεί δηλαδή όπου η τιμή του βάρους στου συστήματος $w_{ji}^{(k)}$ υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4). Επιπλέον, χρειάζεται να αναφερθεί το γεγονός ότι στις περιπτώσεις που οι ειδικοί αναπτύσσουν ένα ασαφές μοντέλο, συνήθως προτείνουν ένα μικρό ανεξάρτητο πίνακα βαρών (W). Έτσι χρησιμοποιώντας τον μη γραμμικό αλγόριθμο της Hebbian, τα αρχικά μη μηδενικά βάρη ανανεώνονται συγχρόνως σε κάθε επαναληπτικό βήμα μέσω της εξίσωσης (4), μέχρι τον τερματισμό του αλγορίθμου, βάση του οποίου δεν εκχωρούνται νέες διασυνδέσεις, καθώς επίσης όλα τα μηδενικά βάρη δεν υπόκεινται σε αλλαγές τιμών. Συνεπώς, όταν πληρούνται όλες οι παραπάνω προϋποθέσεις για να τον τερματισμό του αλγορίθμου, αυτομάτως προκύπτει ο τελικός πίνακας βαρών W_{NHL} .

Δηλαδή, Οι έννοιες των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, παρουσιάζουν κάποιες αρχικές αξίες-τιμές οι οποίες στη συνέχεια της διαδικασίας αλλάζουν ανάλογα με τα βάρη, ο τρόπος δηλαδή όπου τα βάρη επηρεάζουν το ένα το άλλο. Οι υπολογισμοί σταματούν όταν επιτευχθεί μια σταθερή κατάσταση, στο σημείο δηλαδή όπου οι αξίες των εννοιών γίνονται σταθερές (E.I. Parageorgiou and C.D. Stylios, 2008).

7.7.4 Η Ανάγκη για Εκπαίδευση με τον Non-linear Hebbian Learning αλγόριθμο

Η συμβατική μέθοδος κατασκευής ασαφών μοντέλων βασίζεται στις γνώσεις που διαθέτουν οι ειδικοί στον τομέα της εφαρμογής του συστήματος. Ειδικότερα, η υλοποίηση των ασαφών μοντέλων εκτελούνται από τους ειδικούς χειροκίνητα, ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- ❖ Προσδιορισμός, των βασικών προβλημάτων ή εννοιών του συστήματος.
- ❖ Προσδιορισμός, της αιτιώδους σχέσης μέσω αυτών των εννοιών.
- ❖ Εκτίμηση, των δυνάμεων της αιτιώδους σχέσης.

Όπως αναφέρουν στην έρευνα τους οι Mpelogianni & Groumpos, (2019), τα δυο πρώτα βήματα είναι σχετικά απλά, ενώ το τρίτο βήμα βρίσκεται να είναι πολύ δύσκολο, λόγω, του σχετικά μεγάλου αριθμού αριθμητικών τιμών οι οποίες μπορούν να συσχετιστούν με κάθε σχέση. Επίσης, προτείνεται ότι κατά το σχεδιασμό ενός FCM χρειάζεται να συσταθούν για κάθε ομάδα αποφάσεων τρεις (3) ειδικοί, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι μελέτες είναι συνεκτικές καθώς και έγκυρες (Mpelogianni & Groumpos, 2019).

Συνεισφέροντας προς το σκοπό αυτό οι Stylios & Groumpos, (2004), πρότειναν έναν αλγόριθμο που θα βοηθήσει στην επικύρωση των εμπειρογνομώνων, οι οποίοι θα συμμετέχουν στη διαμόρφωση ενός Ασαφούς

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Γνωστικού Χάρτη. Συνεπώς, προτείνεται μια μεθοδολογία ανάπτυξης ενός FCM βασισμένου σε ασαφείς εκφράσεις για την περιγραφή της αλληλεξάρτησης των εννοιών μεταξύ τους. Οι ειδικοί καλούνται να περιγράψουν τη σχέση μεταξύ δυο εννοιών με έναν ασαφή κανόνα ο οποίος περιγράφει την αιτία καθώς και το αποτέλεσμα και στη συνέχεια εισάγουν τον βαθμό επιρροής από την μια έννοια στην άλλη χρησιμοποιώντας τη γλωσσική έννοια. Με αυτή την μέθοδο οι ειδικοί αναγκάζονται να σκεφτούν και να περιγράψουν την υπάρχουσα σχέση μεταξύ των εννοιών, και έτσι με αυτό τον τρόπο, αιτιολογούν την πρόταση που κάνουν. Κάθε ειδικός, στην πραγματικότητα, καθορίζει την επιρροή της μιας έννοιας στην άλλη ως «αρνητική» ή «θετική» και στη συνέχεια αξιολογεί το βαθμό της επιρροής χρησιμοποιώντας μια γλωσσική μεταβλητή όπως: «ισχυρή επιρροή, μέση επιρροή, ασθενής επιρροή» κ.λπ.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη λογική του αλγόριθμο (ο οποίος βρίσκεται στο Παράρτημα σε πλήρη ανάπτυξη κειμένου). Υποτίθεται ότι υπάρχουν M εμπειρογνώμονες οι οποίοι αξιολογούν κάθε διασύνδεση και την περιγράφουν με ασαφή κανόνα και εισάγουν ένα γλωσσικό βάρος. Σύμφωνα με τον προτεινόμενο αλγόριθμο, που αναλύεται στην συγκεκριμένη έρευνα, τουλάχιστον $M=3$, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, από τους εμπειρογνώμονες χρειάζεται να συμφωνήσουν πλήρως με αυτά που προτείνουν, όπου, μέσω αυτής της διαδικασίας, υπολογίζεται ένα μέσο βάρος της διασύνδεσης. Διαφορετικά ερωτώνται, ώστε να αντιστοιχίσουν ένα συγκεκριμένο βάρος.

Στο επόμενο βήμα, τα προτεινόμενα γλωσσικά βάρη για μια διασύνδεση μπορούν να συγκεντρωθούν χρησιμοποιώντας τη γνωστή μέθοδο ασαφούς λογικής του SUM, όπου παράγεται ένα συγκεντρωτικό γλωσσικό βάρος. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η μέθοδος αποσαφοποίησης του κέντρου βάρους και ένα αριθμητικό βάρος για την διασύνδεση η οποία πρόκειται να υπολογισθεί. Ωστόσο, εάν για μια διασύνδεση, οι ειδικοί (M) έχουν προτείνει περισσότερα ($2M=3$) βάρη, τα οποία δεν ανήκουν στην ίδια γειτονία, το συνολικό βάρος δεν αντιπροσωπεύει την συνολική πρόταση του συστήματος. Με αυτό τον τρόπο, έρχεται σε αντίθεση με την ιδέα της συγκέντρωσης της ανθρώπινης γνώσης και εμπειρίας, η οποία βρίσκεται πίσω από την φιλοσοφία και θεωρία των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών.

Ο ορισμός της γειτονίας των βαρών προτείνεται εδώ:

“Ένα γλωσσικό βάρος δεν μπορεί να ανήκει σε μια γειτονική, όταν δεν επικαλύπτεται εν μέρη με ένα τουλάχιστον άλλο γλωσσικό βάρος που προτείνεται από άλλο ειδικό εμπειρογνώμονα.” (Stylios & Groupos, 2004)

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Ωστόσο, δεδομένου ότι οι άνθρωποι εμφανίζουν έναν εγγενή παράγοντα υποκειμενικότητας, σε ορισμένες περιπτώσεις δεν εμφανίζονται και πολύ αποτελεσματικοί στην ανάπτυξη ασαφών μοντέλων, όταν το σύστημα που πρόκειται να περιγραφεί, χαρακτηρίζεται από υψηλή πολυπλοκότητα. Δηλαδή, ένα τεράστιο αριθμητικό σύνολο εννοιών και υψηλή πυκνότητα σχέσεων. Αυτοί οι σκόπελοι υποδηλώνουν ότι όσο και αν είναι απαραίτητο αποτελεί για τον εντοπισμό των καταστάσεων που προκύπτουν όταν το σύστημα λειτουργεί υπό μεγάλη αβεβαιότητα, υπάρχει μια πραγματική ανάγκη να καταλήξουν οι ειδικοί σε ένα πρόγραμμα εκμάθησης προκειμένου να βελτιωθεί η ανταπόκριση του συστήματος.

Αυτού του είδους οι αλγόριθμοι, τροποποιούν τους πίνακες βαρών των ασαφών μοντέλων, καθώς επίσης έχει αποδειχθεί ότι αποτελούν τα απαιτούμενα μέρη ενός ασαφούς συστήματος, προκειμένου να βελτιωθεί η λειτουργικότητα και η ακρίβεια σε μια σειρά εργασιών μοντελοποίησης και πρόβλεψης. Ο στόχος της συνδυαστικής ασαφούς μεθοδολογίας με τους αλγόριθμους εκπαίδευσης είναι ο υπολογισμός του πίνακα βαρών που μπορεί να ταιριάζει καλύτερα στα προβλήματα λήψης αποφάσεων και πρόβλεψης.

Ο αλγόριθμος της μη γραμμικής Hebbian εκπαίδευσης, προτάθηκε από την Parageorgiou (2012), και αποτελεί επέκταση του βασικού κανόνα της Hebbian, τροποποιώντας την φόρμουλα ενημέρωσης βαρών. Η μέθοδος NHL, απαιτεί από τους ειδικούς να καθοριστούν οι κόμβοι των ασαφών συστημάτων και ο αρχικός πίνακας βαρών. Η αρχική μορφή του γραφήματος που επιβάλλεται από τους ειδικούς διατηρείται κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής διαδικασίας, διατηρώντας με αυτό τον τρόπο τη φυσική ερμηνεία. Εν συνεχεία, τα βάρη προσαρμόζονται έως ότου εκπληρωθεί το κριτήριο διακοπής, το οποίο με την σειρά του βασίζεται σε περιορισμούς που επιβάλλονται σε ορισμένους ή και σε όλους του κόμβους συστήματος.

Κατά συνέπεια, αυτές οι μέθοδοι δεν στοχεύουν στην εύρεση ενός μοντέλου που θα συγκλίνει σε μια δεδομένη σταθερή κατάσταση (fixed-point attractor), επίσης, είναι πολύ γρήγορες, αφού δεν περιλαμβάνουν υπολογιστικά δαπανηρούς υπολογισμούς.

Τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί αρκετοί μέθοδοι βελτιστοποίησης της μεθόδου NHL. Μια από αυτές είναι ο αλγόριθμος ο οποίος ονομάζεται οδηγός δεδομένων μη γραμμικής Hebbian εκπαίδευσης (data-driven NHL), ο οποίος διαθέτει την ίδια λογική εκπαίδευσης (NHL), αλλά έχει την ικανότητα να εκμεταλλεύεται τα ιστορικά δεδομένα και να χρησιμοποιεί έννοιες εξόδου με σκοπό να βελτιστοποιήσει την ποιότητα εκπαίδευσης. Σε σύγκριση αυτών των δυο αλγορίθμων, που έχουν αναφερθεί, φάνηκε ότι στην περίπτωση που υπάρχουν

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

ιστορικά δεδομένα, τότε η data-driven NHL έχει την δυνατότητα να παράγει καλύτερα μοντέλα FCM, από πλευράς ποιότητας τους σε σύγκριση με αυτά που αναπτύχθηκαν με τη χρήση της γενικής μεθόδου NHL (Papageorgiou, 2012).

Ωστόσο, ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για να υλοποιηθεί η έρευνα, είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος αναπτύχθηκε από τους Mpelogianni και Groupos και περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$W_{ji}^{(k+1)} = \text{sign}(W_{ji})^k [\gamma |W_{ji}^k| + \eta A_i^k [A_j^k - \text{sign}(w_{ji}^k)] W_{ji}^k A_i^k] \quad (1),$$

Όπου:

- W είναι ο πίνακας βαρών (weight matrix)
- A είναι οι τιμές των εννοιών (values of the concepts)
- γ και η αποτελούν τις παραμέτρους εκπαίδευσης (learning parameters) οι οποίες χρησιμοποιούνται για να προσαρμοστούν τα βάρη.

Ο όρος W, που προαναφέραμε, περιγράφει ολόκληρο τον πίνακα βάρους ενός ασαφούς συστήματος. Δεδομένου ότι, στη μεθοδολογία State FCM, ο αρχικός πίνακας βάρους διαιρείται σε μικρότερους πίνακες προκειμένου να ανταποκριθεί στη διαίρεση των εννοιών εισόδου, καταστάσεις και εξόδους, όπου πρέπει να τροποποιηθεί αναλόγως.

7.7.5 Εκθετικοί Ασαφείς Γνωστικοί Χάρτες (State Fuzzy Cognitive Maps)

Ένα σύστημα Εκθετικού Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη, αποτελεί μια εξελικτική μορφή της κλασσικής μεθοδολογίας των FCM, η οποία έχει την δυνατότητα να βοηθήσει το συγκεκριμένο μοντέλο προσδίδοντας του περισσότερη ακρίβεια στα αποτελέσματα που προκύπτουν καθώς επίσης μια ευρεία ποικιλία πολύπλοκων συστημάτων. Οι ιδιότητες οι οποίες προκύπτουν από αυτή την αναβάθμιση του συστήματος, έχουν την ικανότητα να βελτιώσουν την γνώση του συστήματος, διαιρώντας τις έννοιες σε εισόδους, εκθετικά, καθώς και τις έννοιες εξόδων. Η νέα αυτή αντιπροσώπευση του Εκθετικού Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη παρουσιάζεται στην εικόνα 7.7.5.1, όπου γίνεται αντιληπτός ο διαχωρισμός των εννοιών.

Παραλλαγή Εννοιών Συστήματος

Όταν περιγράφεται η αιτία και το αποτέλεσμα μεταξύ δυο εννοιών, σε εκείνο το σημείο χρειάζεται να πραγματοποιηθεί διερεύνηση της αλλαγής (αύξηση ή μείωση) που προκαλείται σε μια έννοια (C2), όταν μια αλλαγή (αύξηση ή μείωση) προκαλείται σε μια άλλη έννοια (C1) του μοντέλου. Για αυτό το λόγο, προτείνεται να γίνει αλλαγή του τρόπου, όπου το φαινόμενο από τις υπόλοιπες έννοιες, με τον

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

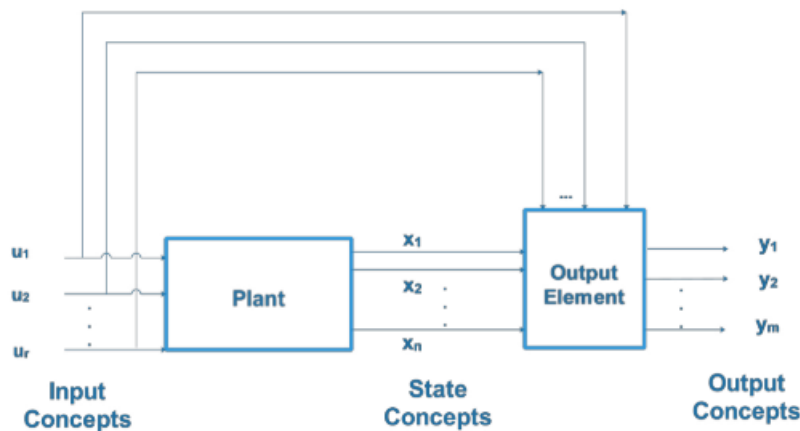
οποίο υπολογίζεται αντικαθιστώντας τον όρο $A_j(k)$ στην εξίσωση υπολογισμού της εξίσωσης:

$$A_i(k+1) = f(A_i(k) + \sum_{l \neq i} A_l^{act}(k) * w_{li}(k)),$$

με τον όρο $\Delta A_j(k)$, ο οποίος δείχνει την αλλαγή που προκαλείται σε κάθε έννοια (Νέα-Προηγούμενη).

Με αυτό τον τρόπο, υπάρχει η δυνατότητα να υπολογισθεί με περισσότερη ακρίβεια τη διακύμανση που προκαλείται σε μια έννοια από όλες τις άλλες, επιπλέον, τα αποτελέσματα στις περισσότερες των περιπτώσεων βρίσκονται εν μέσω του επιθυμητού διαστήματος. Επίσης, για να μπορέσει να υπολογισθεί η συνολική αλλαγή που προκλήθηκε από όλες τις υπόλοιπες έννοιες σε μια ερώτηση, θα χρησιμοποιηθεί την ακόλουθη εξίσωση:

$$Total\ Variation = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n \Delta C_j[k] w_{ji}}{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ji}}.$$



Εικόνα 7.7.5.1: Διάγραμμα Συστήματος Διαχωρισμού Εννοιών (Πηγή: Mpelogianni & Groumpos, 2019).

Ωστόσο, με την αλλαγή των εξισώσεων υπολογισμού το μοντέλο αποκτά μεγαλύτερη ταχύτητα σύγκλισης και αποδίδει πιο ακριβή αποτελέσματα. Η μεθοδολογία του State FCM επεξηγείται μαθηματικά από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\chi[k+1] = \chi[k] + \frac{\Delta \chi[k+1]}{\sum_{j=1, j \neq i}^n |w_{ji}|} \quad (1)$$

$$y[k+1] = y[k] + \frac{\Delta y[k+1]}{\sum_{j=1, j \neq i}^n |w_{ji}|} \quad (2)$$

όπου

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

$$\Delta\chi[k+1] = A\Delta\chi[k] + B\Delta u[k] \quad (3)$$

$$\Delta y[k] = C\Delta\chi[k] + D\Delta u[k] \quad (4)$$

Σε αυτή την αναπαράσταση, $\Delta\chi[k+1]$, $\Delta\chi[k]$, $\Delta u[k]$ και $\Delta y[k]$, είναι οι στήλες των διανυσμάτων τα οποία εμπεριέχουν τη διακύμανση των εννοιών κατάστασης εξόδου και εισόδου αντίστοιχα.

Αφού υπολογιστούν οι παραλλαγές χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (3) και (4) χρησιμοποιούμε τις εξισώσεις (1) και (2) για να υπολογισθούν οι τελικές τιμές των εννοιών.

Αυτή η διαδικασία θα τερματιστεί στην περίπτωση που πληρούνται οι δυο ακόλουθες προϋποθέσεις:

Προϋπόθεση 1

Όταν η ακόλουθη συνάρτηση κόστους ελαχιστοποιηθεί.

$$F_1 = \sqrt{\sum \|C_j(k) - T_j\|^2} \quad (5)$$

όπου, T_j αποτελεί την μέση τιμή στόχου της έννοιας C_j

$$T_j = \frac{C_j^{max} - C_j^{min}}{2}$$

Για m έννοιες οι οποίες έχουν την δυνατότητα να δρουν σαν τελική έννοια η εξίσωση (5) διαμορφώνεται ως:

$$F_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^m (C_i(k) - T_i)^2} \quad (6)$$

Προϋπόθεση 2

Όταν η διακύμανση μεταξύ δυο (2) επακόλουθων τιμών μιας έννοιας γίνεται πολύ μικρή τότε:

$$F_2 = |C_j^{n+1} - C_j^n| \leq \epsilon. \quad (7)$$

Προσαρμογή των εισόδων και ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Για να κατέστη δυνατό να εφαρμοστεί η μεθοδολογία των ασαφών μοντέλων, οι τιμές όλων των εννοιών εισόδου πρέπει να βρίσκονται μεταξύ του διαστήματος $[0,1]$, όπου 0 υποδηλώνει ότι η τιμή της έννοιας είναι πολύ μικρή και 1 ότι η τιμή της είναι πολύ μεγάλη. Για αυτό τον λόγο, χρησιμοποιείται η ακόλουθη σιγμοειδής συνάρτηση (8) ώστε, να προσαρμόζονται οι τιμές στο επιθυμητό διάστημα, επίσης, η κλίση καμπύλης μεταβάλλεται εξαρτώμενη από την μεταβλητή η οποία πρόκειται

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

να ταιριάζει. Η ανάστροφη ενέργεια ακολουθείται όταν πρόκειται να ληφθεί η πραγματική αξία μιας έννοιας (9)

$$f(x) = m + \frac{M-m}{1+e^{(-r(x-t_0))}} \quad (8)$$

όπου $x \in R$ και $f(R) = (m, M)$

$$f^{-1}(x) = t_0 - \frac{1}{r} \ln\left(\frac{M-x}{x-m}\right) \quad (9)$$

όπου $x \in (m, M)$ και $f^{-1}((m, M)) = R$

Στα παραπάνω αναφέρθηκαν:

- m είναι το χαμηλότερο όριο της καμπύλης
- M είναι το υψηλότερο όριο της καμπύλης
- και r είναι η κλίση της καμπύλης

επίσης,

- t_0 είναι η συμμετρία του άξονα y .

Στην επόμενη ενότητα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί η νέα μοντελοποίηση FCM State Space, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου. *Αναλυτικότερες πληροφορίες επί του συγκεκριμένου μοντέλου μπορούν να βρεθούν στο « Mpelogianni, V. and Groupos, P.P. (2018). Re-approaching fuzzy cognitive maps to increase the knowledge of a system».*

8. Αυτοματοποίηση Κτιρίου και Μοντελοποίηση Κατανάλωσης

8.1 Μοντέλο Κτιρίου

Η έλλειψη λειτουργικής νοημοσύνης στη διαχείριση ενέργειας σε ένα κτίριο έχει κάνει τον προγραμματισμό πολλαπλών συσκευών πιο περίπλοκο και τον χειροκίνητο έλεγχο των συσκευών αναποτελεσματικό και μη ελκυστικό προς τους ένοικους του κτιρίου. Η διαχείριση ενέργειας ενός σπιτιού οφείλει να είναι αρκετά έξυπνη ώστε, να μπορεί να βελτιστοποιεί την καλύτερη χρήση της διαθέσιμης ενέργειας προς τις συσκευές για βέλτιστη κατανάλωση.

Στην έρευνα που διεξάγουν οι Mpelogianni & Groupos, (2018), παρουσιάζεται ένα έξυπνο ενεργειακό μοντέλο σπιτιού, το οποίο μέσω της χρήσης κλιματικών δεδομένων υπολογίζει την αναμενόμενη λειτουργία του αυτοματισμού του κτιρίου για φωτισμό, εξαερισμό και κλιματισμό, καθώς και την αναμενόμενη κατανάλωση της κτιριακής υποδομής, όπου τελικά αποφασίζει εάν επιπλέον φορτίο

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

χρειάζεται να εκτελείται ή να προγραμματιστεί για ώρες εκτός αιχμής, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την κατανάλωση ενέργειας.

Στη συνέχεια θα εξεταστεί ένα σύστημα εισόδων:

- ✓ Της εσωτερικής και βέλτιστης θερμοκρασίας (Βαθμοί Κελσίου – °C)
- ✓ Της εσωτερικής και βέλτιστης ποιότητας αέρα (Μέρη ανά Εκατομμύριο-ppm)
- ✓ Της εσωτερικής και βέλτιστης φωτεινότητας (lux)
- ✓ Της ποσότητας και τον τύπο του επιπλέον φορτίου (kW)
- ✓ και τέλος την ώρα που το σύστημα μας λειτουργεί.

Ο σκοπός του συστήματος θα είναι να αποφασίσει είτε αν θα μπει σε λειτουργία, είτε αν προγραμματίσει τα φορτία για άλλη ώρα της ημέρας.

Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός, θα χρησιμοποιηθούν τα παρακάτω βήματα:

❖ **Βήμα 1^ο**

Το σύστημα θα υπολογίσει τις διαφορές μεταξύ της εσωτερικής και της βέλτιστης τιμής για την θερμοκρασία, την ποιότητα του αέρα και τη φωτεινότητα.

❖ **Βήμα 2^ο**

Επίσης, θα αποφασίσει για τη λειτουργία του κτιριακού αυτοματισμού (φωτισμός, κλιματισμός και αερισμός).

❖ **Βήμα 3^ο**

Σύμφωνα με τους προηγούμενους υπολογισμούς, καθώς και το επιπλέον φορτίο που χρειάζεται να προστεθεί στο σύστημα (κτίριο), θα υπολογισθεί η συνολική κατανάλωση του κτιρίου.

❖ **Βήμα 4^ο**

Βασιζόμενο στην κατανάλωση, ο τύπος του επιπλέον φορτίου και τα χαρακτηριστικά της ώρας θα λάβει την τελική απόφαση, ώστε να εκτελεστεί το υπάρχον φορτίο ή θα προγραμματιστεί για άλλη ώρα.

8.2 Δόμηση Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη (FCM)

Σε αυτό το σημείο θα δομηθεί ο Ασαφής Γνωστικός Χάρτης για μοντελοποίηση του συστήματος σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Βάση των προδιαγραφών που κατασκευάστηκαν σε προηγούμενη ενότητα 7.7.5, θα γίνει διαχωρισμός των εννοιών του ασαφούς συστήματος σε εισόδους (inputs), καταστάσεις (states) και εξόδους (outputs).

Οι εισοδοί θα αποτελούνται από έννοιες οι οποίες δεν θα επηρεάζονται από καμία άλλη έννοια, αλλά θα έχουν την δυνατότητα να επηρεάζουν τις καταστάσεις και τις εξόδους του συστήματος. Οι έννοιες κατάστασης, θα αποτελούνται με την

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

σειρά τους, από αυτές που θα επηρεάζονται από τις εισόδους ή άλλες έννοιες κατάστασης, ενώ θα μπορούν να επηρεάζουν και την έξοδο του συστήματος. Τέλος, οι έννοιες εξόδου, θα είναι αυτές που υπολογίζονται μέσω συνδυασμών των παραπάνω εννοιών.

8.2.1 Ορισμός Εννοιών (Concept definition)

Οι έννοιες καθώς και η κατηγορία στην οποία ανήκουν, παρατίθενται παρακάτω:

Καταστάσεις (States)

- **C1:** *αερισμός*, η διαδικασία για το κτίριο ώστε να αεριστεί
- **C2:** *φωτισμός*, η διαδικασία για το κτίριο ώστε να φωτιστεί
- **C3:** *κλιματισμός*, η διαδικασία για το κτίριο ώστε να κλιματιστεί

Είσοδοι (Inputs)

- **C4:** *steptemp*, η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής και της ιδανικής θερμοκρασίας
- **C5:** *stepair*, η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής και ιδανικής ποιότητας αέρα
- **C6:** *steplum*, η διαφορά μεταξύ του εσωτερικού και ιδανικού φωτισμού
- **C7:** *rthq*, η θερμική ποιότητα του δωματίου
- **C8:** *extraload*, το μέγεθος του επιπλέον φορτίου το οποίο πρόκειται να προστεθεί στο σύστημα

Έξοδοι (Outputs)

- **C9:** *κατανάλωση*, η κατανάλωση του κτιρίου

8.2.2 Προδιαγραφές Διασυνδέσεων (Interconnections specification)

Σε αυτό το κομμάτι του κεφαλαίου σχετίζεται με τα βάρη των διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων. Αυτή η διαδικασία θα αναληφθεί από ειδικούς (experts) όπως, ηλεκτρολόγους, μηχανικούς, πολιτικούς μηχανικούς, οι οποίοι σε συνεργασία μεταξύ τους θα αποφασίσουν ποια θα είναι τα βάρη των διασυνδέσεων.

Οι θετικές ή αρνητικές τιμές θα είναι ποικίλες, μεταξύ αυτών που φαίνονται παρακάτω:

- **W (weak):** Ασθενής διασύνδεση μεταξύ των κόμβων C_i, C_j
- **M (medium):** Μεσαία διασύνδεση μεταξύ των κόμβων C_i, C_j
- **S (strong):** Ισχυρή διασύνδεση μεταξύ των κόμβων C_i, C_j
- **VS (very strong):** Πολύ ισχυρή διασύνδεση μεταξύ των κόμβων C_i, C_j

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Αυτές οι τιμές θα αποσαφοποιηθούν και στη συνέχεια θα αντιστοιχηθούν με μια αριθμητική τιμή καταχώρησης σε κάθε μια από αυτές. Ο αρχικός πίνακας των βαρών του συστήματος εκπροσωπείται από τον Πίνακα 1 παρακάτω.

Σύμφωνα, με τον διαχωρισμό των εννοιών υπάρχει η δυνατότητα σχηματισμού των πινάκων Α,Β,Γ και Δ ως εξής:

Πίνακας Βαρών (Weight Matrix)									
A/A	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	0	0	0.12	0	0	0	0	0	1
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	1
C4	0	0	0.98	0	0	0	0	0	0
C5	0.98	0	0	0	0	0	0	0	0
C6	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
C7	0	0	-0.5	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	0	0	1
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 1: Βάρη Συστήματος Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη (Πηγή τροποποιημένο από: Mpelogianni & Groumos, 2018).

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.12 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

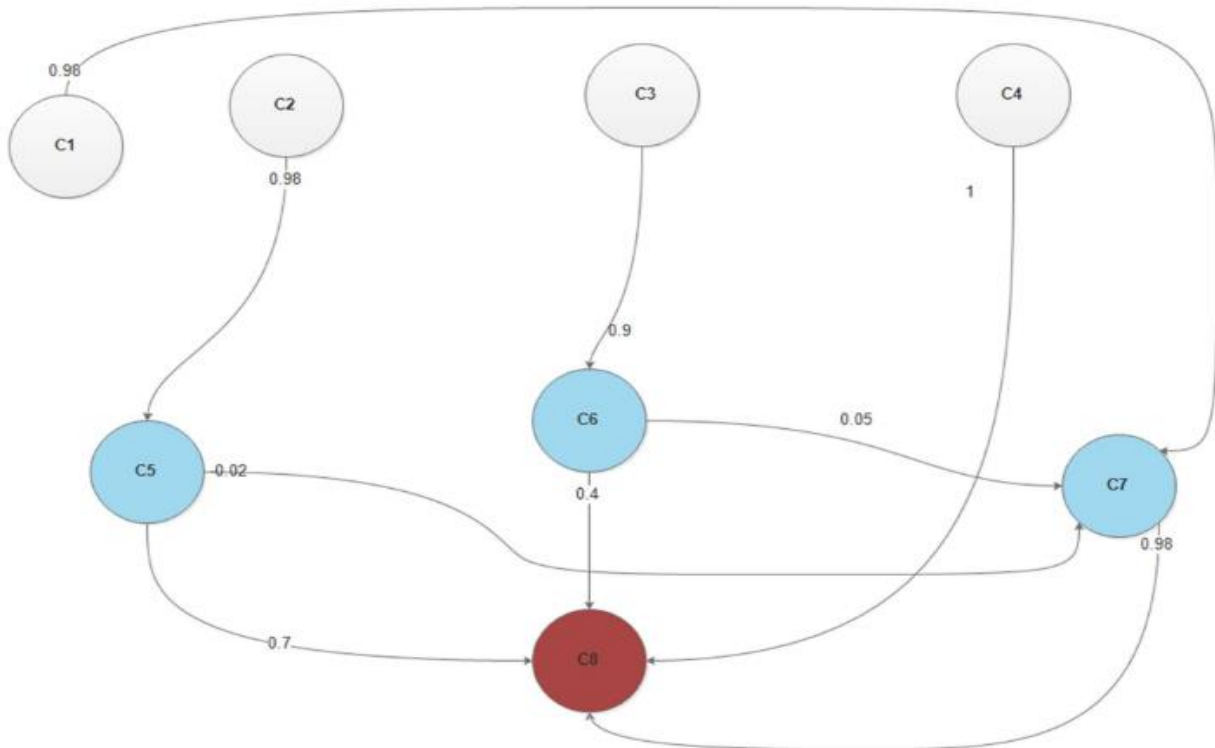
$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0.98 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0 \\ 0.98 & 0 & 0 & -0.5 \end{bmatrix},$$

$$C = [1 \quad 1 \quad 1],$$

$$D = [1]$$

Μετά τη διαδικασία αποσαφοποίησης, υπάρχει η δυνατότητα να κατασκευαστεί ο ασαφής γνωστικός χάρτης ο οποίος και παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα 8.2.2.1:

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Εικόνα 8.2.2.1: Σύστημα Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη (Πηγή: Mpelogianni & Groupos, 2018).

8.3 Αποτελέσματα

Στην ανάπτυξη αυτού το κεφαλαίου, καθώς και για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας θα γίνει επεξήγηση των διαφορών μεταξύ των δύο μεθόδων ασαφών γνωστικών χαρτών (FCM) ενώ παράλληλα θα πραγματοποιείται η εξέταση δυο διαφορετικών περιπτώσεων συνόλων ποιοτικών δεδομένων για τον χώρο του κτιρίου που μελετάται, από τα οποία θα προκύπτουν και δυο σύνολα εισόδων.

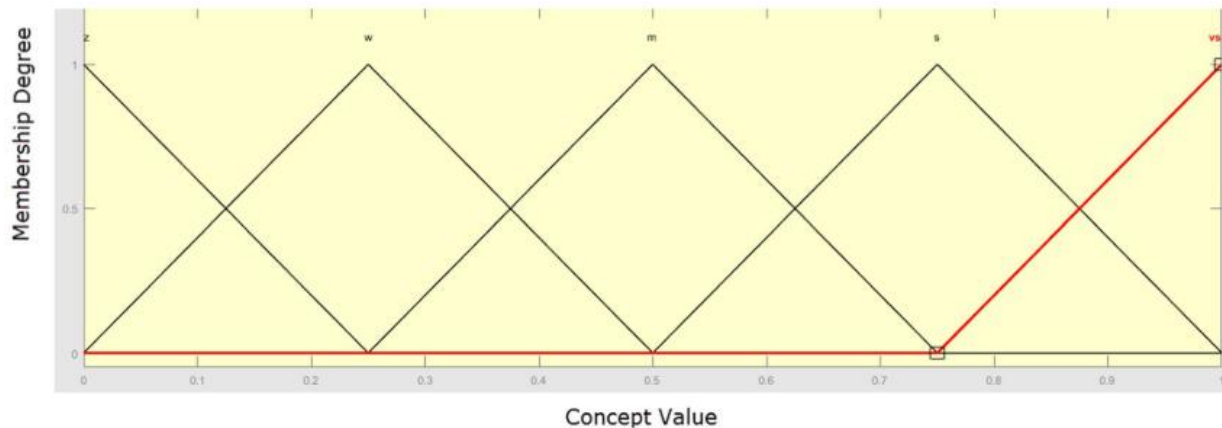
Τα δυο διαφορετικά σύνολα ποιοτικών δεδομένων, παρουσιάζονται αναλυτικότερα στον πίνακα 2 παρακάτω:

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Είσοδοι	Εξεταζόμενη Περίπτωση 1	Εξεταζόμενη Περίπτωση 2
Εσωτερική Θερμοκρασία	35	30
Βέλτιστη Θερμοκρασία	25	27
Εσωτερική Ποιότητα Αερισμού	900	1000
Βέλτιστη Ποιότητα Αερισμού	800	700
Εσωτερικός Φωτισμός	100	300
Εξωτερικός Φωτισμός	500	500
Επιπλέον Ηλεκτρικό Φορτίο	2	4
Θερμική Ποιότητα Δωματίου	Πολύ καλό	Ασθενές
Τύπος Επιπλέον Ηλεκτρικού Φορτίου	Critical	Προγραμματισμένο
Περίοδος	Ώρα Αιχμής	Ώρα Αιχμής

Πίνακας 2: Είσοδοι Συστήματος (Πηγή τροποποιημένο από: Mpelogianni & Groupos, 2018)

- ✓ Όπου με βάση αυτές τις εισόδους, ο αλγόριθμος θα αντιστοιχεί στις κατάλληλες τιμές των εννοιών σύμφωνα με την συνάρτηση συμμετοχής (membership function) που παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.3.1 παρακάτω.



Εικόνα 8.3.1: Διάγραμμα Συνάρτησης Συμμετοχής προς Τιμές Εννοιών (Πηγή: Mpelogianni & Groupos, 2018).

- ✓ Μέσω της παραπάνω συνάρτησης συμμετοχής (Σιγμοειδής) και της τεχνικής αποσαφοποίησης του κέντρου περιοχής (Center Of Area), εξέρχονται οι αρχικές τιμές των εισόδων των εννοιών.

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Εξεταζόμενη Περίπτωση 1:

1.00, 0.00, 1.00, 1.00, 0.50

Εξεταζόμενη Περίπτωση 2:

1.00, 0.66, 0.00, 0.10, 1.00

Υποθέτουμε, προς εξυπηρέτηση της μελέτης, όλες οι αρχικές τιμές των εννοιών κατάστασης είναι μηδενικές.

8.3.1 Αποτελέσματα από Υπάρχων Μοντέλο Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη

Στην πρώτη προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκε από ένα κλασσικό μοντέλο Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη, το αρχικό διάνυσμα C που διαθέτει τις τιμές για όλες τις έννοιες η οποίες είναι:

$$C_{\text{initial}} = [1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0.5 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

Μετά από μερικές επαναλήψεις, το σύστημα έφτασε σε κατάσταση ισορροπίας και το τελικό διάνυσμα C θα μετατραπεί σε:

$$C_{\text{final}} = [0.6591 \ 0.6590 \ 0.6591 \ 0.6590 \ 0.6590 \ 0.8110 \ 0.8013 \ 0.6697 \ 0.9594]$$

Ωστόσο, ακόμη και στην περίπτωση αλλαγής των εισόδων σε:

$$C_{\text{initial}} = [1 \ 0.66 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

και ενώ επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία επεξεργασίας, δίνεται αυτή την φορά το ίδιο αποτέλεσμα:

$$C_{\text{final}} = [0.6591 \ 0.6590 \ 0.6590 \ 0.6591 \ 0.6590 \ 0.8111 \ 0.8013 \ 0.6696 \ 0.9594].$$

Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό παρά το γεγονός ότι οι έννοιες εισόδου (οι τέσσερις πρώτες τιμές) αγγίζουν την ίδια σταθερή κατάσταση. Αυτό συμβαίνει λόγω της σιγμοειδούς συνάρτησης:

$$f = \frac{1}{1+e^{-\lambda x}}.$$

Ωστόσο, είναι απαραίτητο να μπορέσουμε να φτάσουμε σε μια σταθερή κατάσταση λόγω τη μη γραμμικής φύσης της σιγμοειδούς συνάρτησης, η οποία δημιουργεί ορισμένα μειονεκτήματα. Επιπλέον, εξαιτίας του κέντρου αυτής της συνάρτησης το οποίο ορίζεται $(0, 0.5)$, χρειαζόμαστε ένα κριτήριο ερμηνείας για να καταφέρουμε να λάβουμε τις τελικές τιμές του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήσαμε αυτό που περιγράφεται από την εξίσωση:

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

$$R_{(x)} = \begin{cases} 0, & x < 0.5 \\ \frac{x - 0.5}{0.5}, & x > 0.5 \end{cases}$$

Όπου το x αποτελεί την τελική τιμή της έννοιας και το $R_{(x)}$ την τελική τιμή του συστήματος.

8.3.2 Αποτελέσματα Νέας Προσέγγισης

Σε αυτό το κομμάτι του κεφαλαίου θα εξεταστεί μια νέα προσέγγιση του Ασαφούς συστήματος που μελετάμε.

Εξεταζόμενη Περίπτωση 1:

Η αρχική παραλλαγή των καταστάσεων:

$$\Delta_{x_0} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Η αρχική παραλλαγή των εισόδων όπου επηρεάζει τις καταστάσεις:

$$\Delta_{u_0^1} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Η αρχική παραλλαγή των εισόδων όπου επηρεάζουν τις εξόδους:

$$\Delta_{u_0^2} = [0.5]$$

Εξεταζόμενη Περίπτωση 2:

Η αρχική παραλλαγή των καταστάσεων:

$$\Delta_{x_0} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Η αρχική παραλλαγή των εισόδων όπου επηρεάζει τις καταστάσεις:

$$\Delta_{u_0^1} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.66 \\ 0 \\ 0.1 \end{bmatrix}$$

Η αρχική παραλλαγή των εισόδων όπου επηρεάζουν τις εξόδους:

$$\Delta_{u_0^2} = [1]$$

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Αφού προστεθούν οι παραπάνω τιμές στις εξισώσεις,

$$Total\ Variation = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n \Delta C_j[k] w_{ji}}{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ji}}, \quad (1)$$

$$\chi[k + 1] = \chi[k] + \frac{\Delta \chi[k+1]}{\sum_{j=1, j \neq i}^n |w_{ji}|}, \quad (2)$$

$$y[k + 1] = y[k] + \frac{\Delta y[k+1]}{\sum_{j=1, j \neq i}^n |w_{ji}|}, \quad (3)$$

$$\Delta \chi[k + 1] = A \Delta \chi[k] + B \Delta u[k], \quad (4)$$

$$\Delta y[k] = C \Delta \chi[k] + D \Delta u[k]. \quad (5)$$

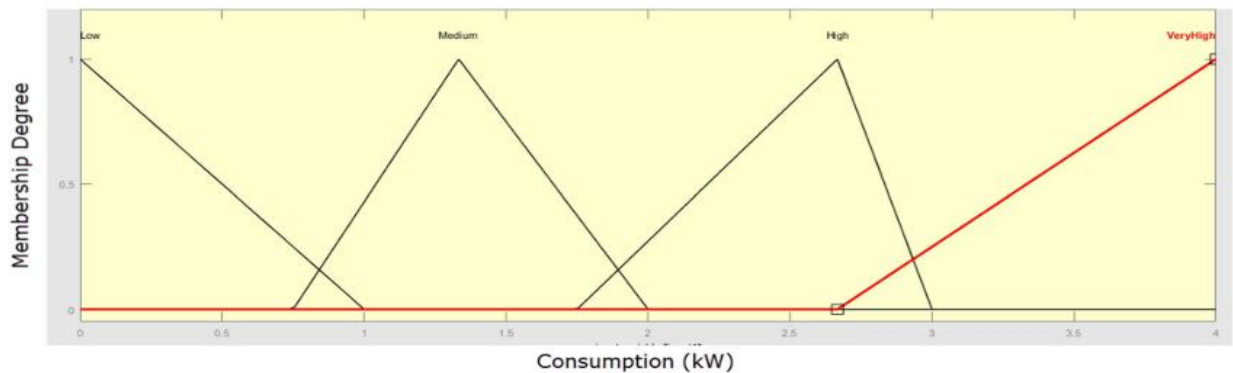
τότε παρουσιάζονται οι τελικές τιμές της πρώτης *Εξεταζόμενης Περίπτωσης* όπου:

$$x = [0.0 \ 1.0 \ 0.17] \text{ και για } y = [0.84]$$

ενώ για την δεύτερη *Εξεταζόμενη Περίπτωση*:

$$x = [0.66 \ 0.0 \ 1.79] \text{ και για } y = [1.72].$$

Για να μπορέσουμε να ερμηνεύσουμε αυτές τις τιμές, οι οποίες είναι έξω από το επιθυμητό διάστημα, θα χρησιμοποιηθεί την ακόλουθη συνάρτηση συμμετοχής της Εικόνας 8.3.1.1.



Εικόνα 8.3.1.1: Ασαφοποίηση Κατανάλωσης Κτιρίου Πηγή: (Mpelogianni & Groupos, 2018).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Στη συνέχεια, θα εκχωρηθούν, μια γλωσσική τιμή στην κατανάλωση την οποία χρησιμοποιούμε ασαφή κανόνα, ώστε να μπορέσει να αποφασίσει εάν το επιπλέον φορτίου του συστήματος χρειάζεται να μετατοπιστεί ή όχι. Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3:

Είσοδοι	Εξεταζόμενη Περίπτωση 1	Εξεταζόμενη Περίπτωση 2
Κατανάλωση	Ασθενής	Μέτρια
Τύπος Επιπλέον Ηλεκτρικού Φορτίου	Κρίσιμο	Προγραμματισμένο
Περίοδος	Ώρα Αιχμής	Ώρα Αιχμής
Μεταβολή Φορτίου	Κατανάλωση	Μετατόπιση

Πίνακας 3: Τελικά Αποτελέσματα (Πηγή τροποποιημένο από: Mpelogianni & Groupos, 2018).

Μέσω της παρατήρησης των αποτελεσμάτων μπορούμε να δούμε ότι όχι μόνο οι υπολογισμοί μας είναι πολύ πιο ακριβείς, αλλά επίσης, μπορούμε να εντοπίσουμε τις πηγές υψηλής κατανάλωσης στο κτίριο και να τις αντιμετωπίσουμε, είτε προσαρμόζοντας περαιτέρω τα βάρη μεταξύ των εννοιών για να κάνουμε τη μεθοδολογία μοντελοποίησης πιο αποτελεσματική ή με τη λήψη μέτρων σχετικά με τη λειτουργία του κτιρίου, όπως η μετατόπιση φορτίου στη δεύτερη μελέτη περίπτωσης.

Συνολικά, έχουμε επιτύχει την ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας ειδικά στην πρώτη μελέτη περίπτωσης όπου η κατανάλωση της μονάδας κλιματισμού είναι πολύ χαμηλή.

9. Επίλογος

Στη παρούσα διπλωματική εργασία και στο πρώτο κεφάλαιο της, πραγματοποιείται αποσαφήνιση της έννοιας περιβάλλον και φυσικό περιβάλλον, ώστε να μπορέσει ο αναγνώστης να αντιληφθεί τις διαφορές των δυο εννοιών, καθώς επίσης στη συνέχεια να βρίσκεται ικανός να αντιληφθεί τη σημασία και την έννοια των όρων. Στην πρόοδο του κεφαλαίου τονίστηκαν επιμέρους οι μεγαλύτερες κατηγορίες ρύπανσης (ατμοσφαιρική, υδάτων, εδάφους) καθώς επίσης οι αιτίες και τα επίζημια επακόλουθα τόσο για τον άνθρωπο σαν πρωταγωνιστή όσο και για την χλωρίδα και πανίδα του πλανήτη μας.

Πραγματοποιήθηκαν επιμέρους αναφορές για την παραγωγή ενέργειας όλων των μορφών και πόσο επίζημια βαίνει αυτή η διαδικασία για το φυσικό περιβάλλον. Επιπρόσθετα, μέσω αναφορών παρουσιάζεται έντονα το πρόβλημα κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης στην παγκόσμια κοινότητα και των προσπαθειών για κάλυψη αυτών των αναγκών. Συγκεκριμένα τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν από την επιστημονική κοινότητα εμφανίζουν σαν πρόβλημα την αυξητική τάση των πληθυσμών της γης. Αυτό το γεγονός, αναμένεται να δημιουργήσει ένα ντόμινο αυξήσεων ενεργειακής ζήτησης (θέρμανση, κίνηση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας), όπου για την κάλυψη της, εκτός από την δυσχέρεια των μονάδων παραγωγής να καλύψουν ένα τόσο μεγάλο εύρος προβλέπεται ταυτόχρονα και αύξηση της μόλυνσης στο περιβάλλον. Έντονα, αναφέρεται πως ηγέτης της ενεργειακής σκακιέρας βρίσκεται η ηλεκτρική ενέργεια, με μεγαλύτερο εξαρτώμενο της τον κτιριακός τομέας με ποσοστό της τάξεως του 40%, ποσοστό που αναμένεται να αυξηθεί μέσα τα επόμενα χρόνια (2100). Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό πως η ηλεκτρική ενέργεια βρίσκεται να είναι ζωτικής σημασίας για τις σύγχρονες οικονομίες και κοινωνίες, καθώς παρέχει ένα αυξανόμενο μερίδιο ενεργειακών υπηρεσιών.

Εν συνεχεία, γίνεται μια παράλληλη ανασκόπηση της παγκόσμιας ενεργειακής προοπτικής για τα έτη 2019-2021. Μέσα από τις αναφορές, παρουσιάζεται μια διαφορετική εικόνα για την ενεργειακή προοπτική των τελευταίων ετών. Ο λόγος γίνεται επειδή μέσα σε αυτή την τριετία όλες οι οικονομικοί ηγέτες (Ε.Ε., Η.Π.Α., Κίνα) βρισκόνταν εν μέσω πανδημίας (Covid19), η οποία δημιούργησε προϋποθέσεις και επηρέασε σημαντικά σε όλα τα επίπεδα την παγκόσμια κοινότητα, τόσο ως προς το παγκόσμιο ακαθάριστο προϊόν των χωρών, αλλά ταυτόχρονα δημιουργώντας αναπροσαρμογή ως προς το μέγεθος των καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας ανάμεσα στις διαφορετικές κτιριακές κατηγορίες (βιομηχανία, δημόσια κτίρια, οικιακά κτίρια).

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Παράλληλα με όλα όσα προαναφέρθηκαν, σημείο αναφοράς αποτελεί πώς, μέσα σε αυτή την τριετία παρουσιάστηκε μια εκτόξευση επενδύσεων προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας όπου, για τη αιολική ενέργεια και τη ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια οι οποίες για το 2020 παρουσίασαν αύξηση της τάξεως του 12% και 23% αντίστοιχα, σε παγκόσμιο επίπεδο και μια σημαντική μείωση της χρήσης άνθρακα, προϊόν αλληλένδετο με τις αυξημένες εκπομπές ρύπων στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Καθώς τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελούν θεμέλιο λίθο της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ταυτόχρονα απαρτίζουν σημαντικό κομμάτι κάθε εθνικού δικτύου. Μέσω των ΣΗΕ δίνεται η δυνατότητα είτε να κερδηθούν, είτε να χαθούν σημαντικά ποσοστά ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν παραχθεί. Μειώνοντας από μια πλευρά της εκπομπές ρύπων ή αντιθέτως αυξάνοντας τις. Για τα Ελληνικά δεδομένα, το Ελληνικό Σύστημα Διανομής Ενέργειας εμφανίζεται συνεχώς εξελισσόμενο, τόσο για το τμήμα της Ηπειρωτική Ελλάδα όσο και για το τμήμα της Νησιωτικής Ελλάδας, μέσω της ένωσης των τελευταίων με υποθαλάσσιους αγωγούς (Κρήτη, Β. Σποράδες, και μελλοντικά, 2030, Δωδεκάνησα), με την ηπειρωτική χώρα. Μειώνοντας κατά αυτό τον τρόπο, το πλήθος των θερμικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, ένα θετικό στοιχείο για το Ελληνικό Σ.Η.Ε. βρίσκεται η όλο μεγαλύτερη ανάπτυξη των Α.Π.Ε η οποία έχει πλέον αγγίζει σχεδόν το 42%.

Μετέπειτα, με περισσότερο ενδιαφέρον, το δοκίμιο εισέρχεται σε μια πιο εκβάθων ανασκόπηση για την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων ώστε να μπορέσει να γίνει αντιληπτό ποιοι παράγοντες συνεισφέρουν στο γεγονός ότι παρουσιάζονται ως οι πιο ενεργοβόροι τομέα σε παγκόσμιο επίπεδο. Με λίγα λόγια, σχεδόν το 60% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνεται σε οικιστικά και εμπορικά κτίρια. Σε εθνικό επίπεδο, η χρήση ενέργειας στα κτίρια αντιπροσωπεύει τυπικά το 20-40% της συνολικής τελικής χρήσης ενέργειας κάθε χώρας, με παγκόσμιο μέσο όρο να είναι περίπου 30%-40%. Η κατά κεφαλή τελική χρήση της ενέργειας σε κτίρια όπου επικρατεί ψυχρό είτε εύκρατο κλίμα σε μια εύπορη χώρα (π.χ. Η.Π.Α) μπορεί να είναι πενταπλάσια έως και δεκαπλάσια υψηλότερη από ότι σε περιοχές χαμηλού εισοδήματος όπου το κλίμα που επικρατεί είναι θερμό (π.χ. Αφρική). Ενώ γίνεται αναφορά στο γεγονός ότι οι Α.Π.Ε. και το φυσικό αέριο, παρά την ολοένα αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας, με αργό ρυθμό δημιουργούν συνθήκες εκτοπισμού του πετρελαίου και του άνθρακα, τα οποία πατροπαράδοτα αποτελούσαν και αποτελούν, τις κύριες πηγές παραγωγής ενέργειας.

Ωστόσο ένας αποτελεσματικός τρόπος μέσω του οποίου παρουσιάζεται αισθητή μείωση των καταναλώσεων και κατ'επέκταση της μείωσης ζήτησης

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

ηλεκτρικής ενέργειας, όσων αφορά τις οικιακές κτιριακές υποδομές και μη, βρίσκεται να είναι τα κτήρια μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου. Στο κεφάλαιο 5, πραγματώνεται μια ανασκόπηση για αυτού του είδους κατοικίες (ΚΜΕΙ), καθώς και μια επιμέρους ανάλυση για τους τρόπους εφαρμογής και τα είδη των εφαρμογών επί των κτιρίων αυτών. Αυτού του είδους εφαρμογές, αποτελούν μια συλλογή επιστημονικών προσπαθειών και σημαντική προσπάθεια αυτονομίας των κτιρίων και αυτοεξυπηρέτησης σε συσχέτιση με ένα ακόμη πιο εξελιγμένο είδος τεχνολογίας, αυτής των νοήμων κατοικιών (έξυπνα σπίτια).

Ο συνδυασμός των παραπάνω, δημιούργησε χώρο για κάτι σχεδόν καινοτόμο στον τομέα των κτιρίων. Δηλαδή, συνδυαστικά κτιριακές υποδομές και έξυπνες συσκευές, σε συνεργασία με μια κεντρική υπολογιστική μονάδα μπόρεσαν να δώσουν «ψυχή» στα κτίρια με τέτοιο τρόπο όπου να μπορούν τα ίδια να έχουν μειωμένες ενεργειακές καταναλώσεις, αλλά ταυτόχρονα να μπορούν να διατηρούν τις ιδανικές συνθήκες, βάση του τι ορίζει ο ιδιοκτήτης ιδανικό, μέσα σε ένα χώρο. Ενώ, η όλη επεξεργασία και δομή αυτής της νοημοσύνης, έγκειται στο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης και ειδικότερα σε παρακλάδια της μηχανική μάθηση (Machine Learning).

Στο Κεφάλαιο 7 αναφέρονται οι σημαντικότερες εφαρμογές και οι πιο διαδεδομένες στον τομέα της μηχανικής μάθησης τα επονομαζόμενα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα. Η φιλοσοφία των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων βρίσκεται πίσω από τη διαδικασία λειτουργίας των νευρώνων του ανθρώπινου εγκεφάλου. Υπάρχουν, αρκετές κατηγορίες των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, τα οποία με την σειρά τους, αποτελούν σημαντικό κομμάτι της μηχανικής μάθησης και κατ'επέκταση της τεχνητής νοημοσύνης. Μερικά από τα σημαντικότερα είναι: τα Έμπειρα Συστήματα (Expert Systems), οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms) και η Ασαφή Λογική (Fuzzy Logic).

Σε αυτή την εργασία ασχοληθήκαμε ιδιαίτερα με τον κομμάτι της Ασαφούς Λογικής και ειδικότερα, με το κομμάτι των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών (Fuzzy Cognitive Maps). Έτσι, με την βοήθεια των Ασαφών Γνωστικών Δικτύου, έγινε προσπάθεια με επίκεντρο, τη μοντελοποίηση ενός έξυπνου σπιτιού καθώς και συνδυασμό διαφορετικών αυτοματισμών που υπήρχαν στο κτίριο, με τελικό αποτέλεσμα την κάλυψη των αναγκών των ενοίκων, όπως μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και καλύτερες συνθήκες διαβίωσης.

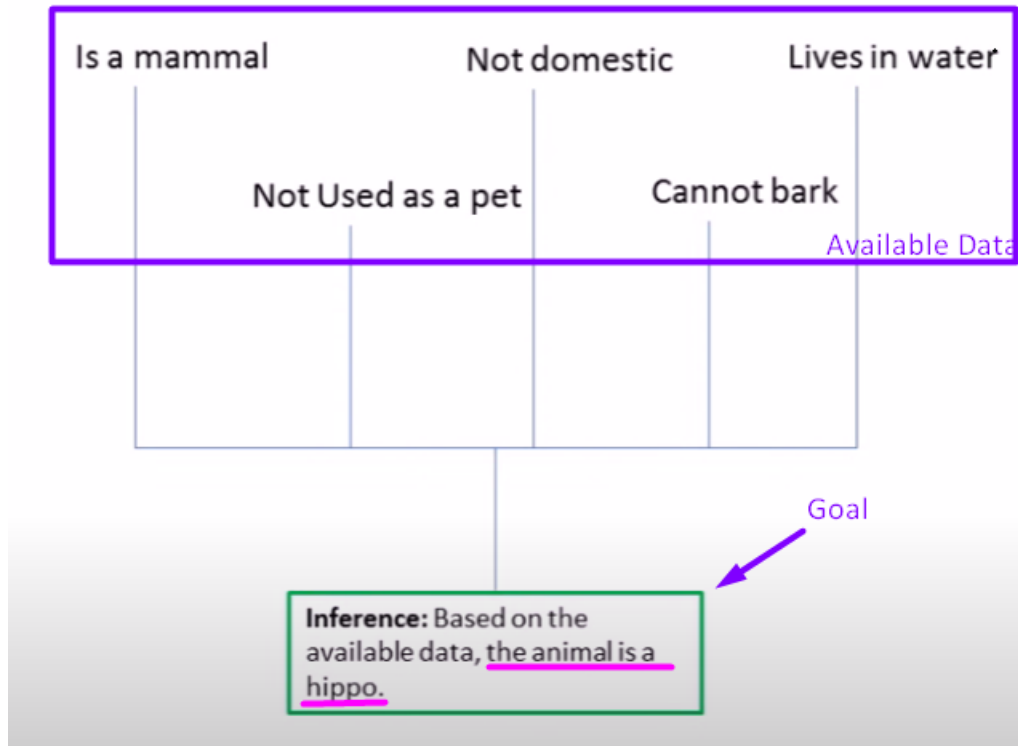
Κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του σύνθετου αυτού προβλήματος αποδείχθηκε πως ο κλασικός τρόπος διεξαγωγής των ασαφών γνωστικών χαρτών δημιουργούσε περιορισμούς προς την επίλυση του. Έτσι αυτοί οι σκόπελοι αντιμετωπίστηκαν, αναπτύσσοντας ένα είδος νέας μαθηματικής προσέγγισης στην

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

μοντελοποίηση των ΑΓΧ. Αυτή η προσέγγιση του συστήματος, συνδυάζει την σταθερή προσέγγιση του ΑΓΧ, βοηθώντας με αυτό τον τρόπο να αναπτυχθούν οι υπάρχουσες μέθοδοι του. Σαν τελικό αποτέλεσμα της εφαρμογής υπό νέα προσέγγιση (αυξημένη γνώση και ακριβέστεροι υπολογισμοί) σε ένα σύστημα υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας ενός κτιρίου και τον έλεγχο του φορτίου, κατέστη δυνατό να διατηρηθεί η συνολική κατανάλωση σε χαμηλά επιθυμητά επίπεδα συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στο πρόβλημα της μείωσης της ενέργειας μέσω της αποτελεσματικής χρήσης του αυτοματισμού του κτιρίου.

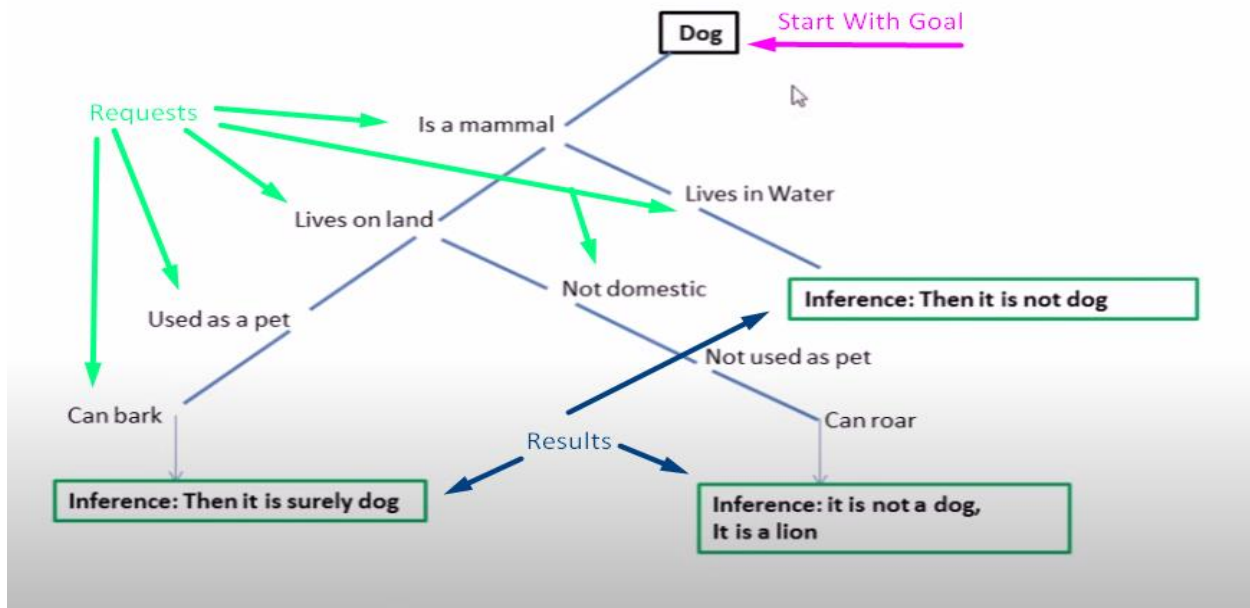
Σαν τελικό συμπέρασμα, ο αναγνώστης μέσω αυτής της εργασίας, βρίσκεται να αντιλαμβάνεται τους λόγους αναγκαιότητας των σύγχρονων τεχνολογιών και τη συνεισφορά των έξυπνων υπολογιστικών συστημάτων, τα οποία βρίσκονται ικανά να προσδώσουν καλύτερες συνθήκες διαβίωσης στους ενοίκους των κτιριακών δομών, καθώς επίσης, παράλληλα δημιουργούνται μέσω αυτών, καλύτερες συνθήκες προς το φυσικό περιβάλλον όπως, η ελάττωση των εκπεμπόμενων ρύπων. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι αποτελούν τεχνολογία αιχμής στον κτιριακό τομέα, οι εφαρμογές τους, χρίζει χαμηλής δημοτικότητας τόσο στη χώρα μας, όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτού του είδους οι εφαρμογές στα επόμενα χρόνια θα μας απασχολήσουν σε έντονο επίπεδο, καθώς επίσης, θα είμαστε ικανοί να μπορέσουμε να παρατηρήσουμε την εξέλιξη τους, μίας και τα εξελιγμένα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα βρίσκεται να είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος μελλοντικής έρευνας, σε όλα τα επίπεδα εφαρμογής τους (τόσο ποιότητα κατασκευής τους όσο και ποιότητα απόδοσης), όπου μέσω αυτών θα ασκείται ακρίβεια ενεργειακής απόδοσης σε συνάρτηση ανθρώπου-κτιρίου-καταναλώσεις ενέργειας, με πάντα κεντρικό γνώμονα, την καλύτερευση και μακροήμερευση της ανθρώπινης ζωής και της προστασίας του περιβάλλοντος.

10. Παράρτημα



Αποτύπωση Σχεδιαγράμματος Αλυσιδωτής Προώθησης Κεφαλαίου 7

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου



Αποτύπωση Σχεδιαγράμματος Αλυσιδωτής Οπισθοδρόμησης Κεφαλαίου 7

Algorithm for Developing Fuzzy Cognitive Maps

Step 1: For all the M experts, set credibility weight $b_k = 1$

Step 2: Each of the M experts is asked to suggest and describe each of the N concepts that comprise the FCM.

Step 3: For all the ordered pair of concepts $(C_i \text{ and } C_j)$ each kth of the M experts is asked to make the following statement:

WHEN the value of concept C_i {increases, decreases, is stable} **THIS** causes value of concept C_j to {increase, decrease, nothing} **THUS** the influence of concept C_i on concept C_j is $T(\text{influence})$

Step 4: IF for one interconnection more than $2M/3$ different linguistic weights are suggested THEN ask experts to reassign weights for this particular interconnection and go to step 3

ELSE

IF the kth expert has proposed for an interconnection a linguistic weight that does not belong to the neighborhood of weights

THEN

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

disregard this particular linguistic weight and penalize the expert who chose the “distant” weight and set him a new credibility weight $b_k = r b_k$

Step 5: Aggregate all the linguistic weights proposed for every interconnection using the SUM method where the membership function μ suggested by k th expert is multiplied by the corresponding credibility weight b_k .

Use the COG defuzzification method to calculate the numerical weight W_{ij} for every interconnection.

Step 6: IF there is an ordered concept pair not examined go to step 3

ELSE

construct the weight matrix W whose are the defuzified weights W_{ij}

END.

Αλγόριθμος Ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων (Stylios & Groumpos, 2004).

11. Βιβλιογραφία

- Agatonovic-Kustrin, S., & Beresford, R. (2000). Basic concepts of artificial neural network (ANN) modeling and its application in pharmaceutical research. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 22(5), 717–727. [https://doi.org/10.1016/S0731-7085\(99\)00272-1](https://doi.org/10.1016/S0731-7085(99)00272-1)
- Akbari, H., Levinson, R., & Rainer, L. (2005). Monitoring the energy-use effects of cool roofs on California commercial buildings. *Energy and Buildings*, 37(10), 1007–1016. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.11.013>
- Al-Hmouz, A., Shen, J., Al-Hmouz, R., & Yan, J. (2012). Modeling and simulation of an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for mobile learning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 5(3), 226–237. <https://doi.org/10.1109/TLT.2011.36>
- Alvarado, J. L., Terrell, W., & Johnson, M. D. (2009). Passive cooling systems for cement-based roofs. *Building and Environment*, 44(9), 1869–1875. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.12.012>
- Ayhan, D., & Sağlam, A. (2012). A technical review of building-mounted wind power systems and a sample simulation model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 1040–1049. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.028>
- Bahaj, A. B. S., James, P. A. B., & Jentsch, M. F. (2008). Potential of emerging glazing technologies for highly glazed buildings in hot arid climates. *Energy and Buildings*, 40(5), 720–731. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.05.006>
- Balaras, C. A., Drousa, K., Argiriou, A. A., & Asimakopoulos, D. N. (2000). Potential for energy conservation in apartment buildings. *Energy and Buildings*, 31(2), 143–154. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00028-6)
- Cao, X., Dai, X., & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*, 128, 198–213. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>
- Chakroun, W., Ghali, K., & Ghaddar, N. (2011). Air quality in rooms conditioned by chilled ceiling and mixed displacement ventilation for energy saving. *Energy and Buildings*, 43(10), 2684–2695. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.019>
- Chen, Y., Liu, J., Pei, J., Cao, X., Chen, Q., & Jiang, Y. (2014). Experimental and simulation study on the performance of daylighting in an industrial building and its energy saving potential. *Energy and Buildings*, 73, 184–191.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.030>

- Ciampi, M., Leccese, F., & Tuoni, G. (2005). Energy analysis of ventilated and microventilated roofs. *Solar Energy*, 79(2), 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.08.014>
- Deutsch, M., & Energiewende, A. (2018). *Agora Verkehrswende and Agora Energiewende. June*.
- Dike, H. U., Zhou, Y., Deveerasetty, K. K., & Wu, Q. (2019). Unsupervised Learning Based On Artificial Neural Network: A Review. *2018 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems, CBS 2018*, 322–327. <https://doi.org/10.1109/CBS.2018.8612259>
- E.I. Papageorgiou and C.D. Stylios. (2008). *Fuzzy Cognitive Maps, Handbook of Granular Computing*, 755–774. John Wiley & Sons.
- Ebi, K.L. (2011). Climate Change and Health. *Encyclopedia of Environmental Health*, 680–689. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00165-3>
- Emmi, G., Zarrella, A., De Carli, M., & Galgaro, A. (2015). An analysis of solar assisted ground source heat pumps in cold climates. *Energy Conversion and Management*, 106, 660–675. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.10.016>
- Eurostat. (2019). *Energy, Transport and environment statistics. 2019 edition*. <https://ec.europa.eu/eurostat/about/policies/copyright%0Ahttps://ec.europa.eu/eurostat/about/policies/copyright%0Ahttps://ec.europa.eu/eurostat/about/policies/copyright%0Ahttp://assets.dft.gov.uk/statistics/releases/transport-energy-and-environment-statis>
- Hammarberg, E., & Roos, A. (2003). Antireflection treatment of low-emitting glazings for energy efficient windows with high visible transmittance. *Thin Solid Films*, 442(1–2), 222–226. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(03\)00986-6](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(03)00986-6)
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., & Taylor, M. (2018). 2018: Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: *Global Warming of 1.5°C. 2018: Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: Global Warming of 1.5°C*, 175–311. <https://www.ipcc.ch/sr15>
- IEA. (2020). Energy Technology Perspectives 2020. *Energy Technology Perspectives 2020*. <https://doi.org/10.1787/ab43a9a5-en>
- IEA and UNEP. (2019). 2019 Global Status Report for Buildings and Construction. In *UN Environment programme (Vol. 224)*.

- IENE. (2020). *Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας*.
- Ilisei, G., Catalina, T., Alexandru, M., & Gavriiliuc, R. (2019). Implementation of a geothermal heat pump system in a solar passive house. *E3S Web of Conferences*, 85, 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198507014>
- Isaac, M., & van Vuuren, D. P. (2009). Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change. *Energy Policy*, 37(2), 507–521. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.051>
- Jens LAUsTsen. (2008). Energy Efficiency Requirements in Building Codes , Energy Efficiency Policies for New Buildings. *Buildings, March*, 1–85. http://www.iea.org/g8/2008/Building_Codes.pdf
- Jie, J., Hua, Y., Wei, H., Gang, P., Jianping, L., & Bin, J. (2007). Modeling of a novel Trombe wall with PV cells. *Building and Environment*, 42(3), 1544–1552. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.01.005>
- Joo, J., Zheng, Q., Lee, G., Kim, J. T., & Kim, S. (2012). Optimum energy use to satisfy indoor air quality needs. *Energy and Buildings*, 46, 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.045>
- Kent, R. (2018). Renewables. *Plastics Engineering*, 74(9), 56–57. <https://doi.org/10.1002/peng.20026>
- Khaliq, W., & Mansoor, U. Bin. (2015). Energy efficient design and sustainable buildings. *2014 International Conference on Energy Systems and Policies, ICESP 2014, 0048*. <https://doi.org/10.1109/ICESP.2014.7346977>
- Lampert, C. M. (1993). Optical switching technology for glazings. *Thin Solid Films*, 236(1–2), 6–13. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(93\)90633-Z](https://doi.org/10.1016/0040-6090(93)90633-Z)
- Lazzarin, R. M., Castellotti, F., & Busato, F. (2005). Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. *Energy and Buildings*, 37(12), 1260–1267. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.02.001>
- Leblanc, R. (2013). Encyclopedia of Corporate Social Responsibility. In *Encyclopedia of Corporate Social Responsibility*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-28036-8>
- Liu.K.K.Y. (2006). *NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC Green , reflective , and photovoltaic roofs. February*.
- Liu, Z., Zhou, Q., Tian, Z., He, B. jie, & Jin, G. (2019). A comprehensive analysis on definitions, development, and policies of nearly zero energy buildings in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114(July 2019), 109314.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109314>

- Lv, Y., Wu, H., Liu, Y., Huang, Y., Xu, T., Zhou, X., & Huang, R. (2018). Quantitative research on the influence of particle size and filling thickness on aerogel glazing performance. *Energy and Buildings*, *174*, 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.026>
- Manz, H., Brunner, S., & Wullschleger, L. (2006). Triple vacuum glazing: Heat transfer and basic mechanical design constraints. *Solar Energy*, *80*(12), 1632–1642. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.11.003>
- Mellit, A., & Kalogirou, S. A. (2008). Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, *34*(5), 574–632. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.01.001>
- Mpelogianni, V., & Groumpos, P. P. (2018). Re-approaching fuzzy cognitive maps to increase the knowledge of a system. *AI and Society*, *33*(2), 175–188. <https://doi.org/10.1007/s00146-018-0813-0>
- Mpelogianni, V., & Groumpos, P. P. (2019). Building energy management system modelling via state fuzzy cognitive maps and learning algorithms. *IFAC-PapersOnLine*, *52*(25), 513–518. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.596>
- Mpelogianni, V., Kosmas, G., & Groumpos, P. P. (2019). Modeling a microgrid using fuzzy cognitive maps. *Communications in Computer and Information Science*, *1083*, 334–343. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29743-5_27
- Nandi, S. K. (2014). Designing of a small scale vertical axis wind turbine & its performance analysis in respect of Bangladesh. *International Journal of Renewable Energy Research*, *4*(4), 977–985. <https://doi.org/10.20508/ijrer.89404>
- Nebot, À., & Mugica, F. (2020). Energy performance forecasting of residential buildings using fuzzy approaches. *Applied Sciences (Switzerland)*, *10*(2). <https://doi.org/10.3390/app10020720>
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, *33*(7), 719–729. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00062-7)
- Omer, A. M. (2014). Energy use and environmental impacts: A general review. *Advances in Energy Research*, *17*(2009), 1–38. <https://doi.org/10.1063/1.3220701>
- Papageorgiou, E. I. (2012). Learning algorithms for fuzzy cognitive maps - A review

- study. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 42(2), 150–163. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2011.2138694>
- Rge-Vorsatz, D. Ü., Eyre, N., Graham, P., Harvey, D., Hertwich, E., Jiang, Y., Majumdar, M., McMahon, J. E., Murakami, S., Janda, K., Masera, O., Mcneil, M., Petrichenko, K., Tirado Herrero, S., & Jochem, E. (2013). *Energy End-Use: Buildings Convening Lead Author (CLA) Lead Authors (LA) Christian Kornevall (World Business Council for Sustainable Development, Switzerland) Contributing Authors (CA) Review Editor*.
- Robinson, P. D., & G Hutchins, M. (1994). Advanced glazing technology for low energy buildings in the UK. *Renewable Energy*, 5(1–4), 298–309. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)90387-5](https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)90387-5)
- Rodriguez-Ubinas, E., Montero, C., Porteros, M., Vega, S., Navarro, I., Castillo-Cagigal, M., Matallanas, E., & Gutiérrez, A. (2014). Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses. *Energy and Buildings*, 83, 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.074>
- Rodríguez, E., Arqués, J. L., Rodríguez, R., Nuñez, M., Medina, M., Talarico, T. L., Casas, I. A., Chung, T. C., Dobrogosz, W. J., Axelsson, L., Lindgren, S. E., Dobrogosz, W. J., Kerkeni, L., Ruano, P., Delgado, L. L., Picco, S., Villegas, L., Tonelli, F., Merlo, M., ... Masuelli, M. (1989). We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 % . *Intech*, 32(tourism), 137–144. <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>
- Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617–3631. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.014>
- Sathya, R., & Abraham, A. (2013). Comparison of Supervised and Unsupervised Learning Algorithms for Pattern Classification. *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, 2(2), 34–38. <https://doi.org/10.14569/ijarai.2013.020206>
- Stylios, C. D., & Groumpos, P. P. (2004). Modeling Complex Systems Using Fuzzy Cognitive Maps. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 34(1), 155–162. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2003.818878>
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (2006). Zero Energy Buildings: A

- Critical Look at the Definition. *ACEEE Summer Study Pacific Grove, November 2014*, 15. <http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>
- Tremel, A. (2018). Electricity-based Fuels. In *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*.
- Tunç, M., & Uysal, M. (1991). Passive solar heating of buildings using a fluidized bed plus Trombe wall system. *Applied Energy*, 38(3), 199–213. [https://doi.org/10.1016/0306-2619\(91\)90033-T](https://doi.org/10.1016/0306-2619(91)90033-T)
- Tyagi, V. V., & Buddhi, D. (2007). PCM thermal storage in buildings: A state of art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6), 1146–1166. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.10.002>
- U.S. Department of Energy. (2012). 2011 Buildings Energy Data Book. *Office of Energy Efficiency and Renewable Energy*, 1–81. http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/ChapterIntro2.aspx%5Cnhttp://buildingdatabook.eren.doe.gov/docs/DataBooks/2011_BEDB.pdf
- Ukaogo, P. O., Ewuzie, U., & Onwuka, C. V. (2020). Environmental pollution: causes, effects, and the remedies. In *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*. INC. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819001-2.00021-8>
- Wong, N. H., Chen, Y., Ong, C. L., & Sia, A. (2003). Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment*, 38(2), 261–270. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00066-5)
- Xu, W., & Zhang, S. (2018). *APEC Nearly (Net) Zero Energy Building Roadmap. November*. https://apec.org/-/media/APEC/Publications/2018/12/APEC-Nearly-Net-Zero-Energy-Building-Roadmap/218_EWG_APEC-NZEB-Road-Study.pdf
- Zhu, Y., Jin, X., Du, Z., & Fang, X. (2015). Online optimal control of variable refrigerant flow and variable air volume combined air conditioning system for energy saving. *Applied Thermal Engineering*, 80, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.01.030>
- Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. (2019). *Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου*.
- Α δ μ η ε (ε 2020). ΕΚΘΕΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΕΤΟΣ 2020) (2021).
- Α.Δ.Μ.Η.Ε. (2020). ΜΗΝΙΑΙΟ ΔΕΛΤΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μοντελοποίηση Ενός Μικροδικτύου με τη Χρήση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου