



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΥΦΥΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



Μοντελοποίηση μηχανισμών απόκρισης στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακούς καταναλωτές

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΝΤΙΝΓΚΟ ΔΗΜΗΤΡΗ

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Αφροδίτη Κτενά

Ιούνιος 2019

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΥΦΥΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



Μοντελοποίηση μηχανισμών απόκρισης στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακούς καταναλωτές

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΝΤΙΝΓΚΟ ΔΗΜΗΤΡΗ

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Αφροδίτη Κτενά

Ιούνιος 2019

Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπων καθηγήτρια μου, κα Κτενά Αφροδίτη, για τις χρήσιμες συμβουλές και υποδείξεις της, καθώς και για την εν γένει καθοδήγηση που μου παρείχε όλο αυτό διάστημα. Θα ήθελα επίσης να σταθώ και στην απέραντη υπομονή που υπέδειξε η κα Κτενά καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας εργασίας, κατανοώντας απόλυτα όλες τις δυσκολίες που πρόεκυπταν.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές, κ. Μανασή Χ. και κ. Παπαδόπουλο Κ. για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Ευχαριστώ και όλους υπόλοιπους καθηγητές του ΠΜΣ για τα όλα εφόδια που μου πρόσφεραν στα πλαίσια του προγράμματος και μη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου, οι οποίοι με πράξεις και όχι με λόγια μου αποδεικνύουν όλα αυτά τα χρόνια ότι δεν επιτρέπεται για οποιονδήποτε λόγο να τα παρατάς στη ζωή σου.

*«Στους γονείς οφείλομεν τον ζην,
στους δε διδασκάλους το ευ ζην»
~Μεγας Αλεξανδρος*

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να παρουσιάσει και να αναλύσει μηχανισμούς απόκρισης στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακούς καταναλωτές. Η μελέτη του θέματος αυτού προκύπτει από τους συνεχώς αυξανόμενους, εθνικούς και μη, στόχους περί μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας και κατά συνέπεια των εκπομπών αέριων ρύπων.

Σημαντικό βήμα προς αυτή τη κατεύθυνση αποτελεί η μετατροπή των απλών καταναλωτών σε καταναλωτές και παραγωγούς ταυτόχρονα (prosumers), ή αλλιώς ενεργούς καταναλωτές. Το βασικό εργαλείο γι' αυτή τη σύζευξη είναι οι έξυπνοι μετρητές ενέργειας (smart energy meters) οι οποίοι καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο τη παραγωγή και κατανάλωση στον κάθε καταναλωτή, επικοινωνούν αμφίδρομα με τον πάροχο και προσφέρουν ευελιξία στον λειτουργό του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε έκτακτες περιπτώσεις.

Επειδή η οικιακή κατανάλωση αποτελεί πάνω από το 1/3 της συνολικής κατανάλωσης, στη χώρα μας αλλά και στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες, κι έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχουν σημαντικά περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας μέσα από την ορθολογικότερη χρήση της, έχει μεγάλη σημασία η κατάλληλη ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των οικιακών καταναλωτών ώστε να μπορούν να συμμετέχουν αποτελεσματικά στους μηχανισμούς απόκρισης στη ζήτηση ενέργειας.

M.Sc. Thesis in

Modeling of energy demand response mechanisms for home consumers

by

DINGO DHIMITRI

Abstract

The purpose of this thesis is to present and analyze demand response mechanisms for home consumers. The study of this topic arises from the ever more demanding national, EU and international targets for reducing energy consumption towards a low carbon economy.

An important step in this direction is the conversion of simple consumers into prosumers, into active energy market agents. The key tool for this transition and coupling is smart energy meters that record real-time production and consumption for each consumer, allow a bidirectional communication with the provider and offer flexibility to the operator of the power system in emergency situations.

Since home consumption accounts for over 1/3 of the total consumption in our country and most developed countries, and it has been found that there is considerable room for energy savings through more rational use, it is of great importance that appropriate information and sensitization of household consumers lead them to participate effectively in energy demand response mechanisms.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	5
Περίληψη	6
Abstract	7
Λίστα Εικόνων	10
Λίστα Πινάκων	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι	13
1.1. Εισαγωγή	13
1.2. Έξυπνα δίκτυα και μικροδίκτυα	16
1.3. Μηχανισμοί απόκρισης στη ζήτηση – Demand Response Mechanisms	19
1.3.1. Ορισμός και ιστορική αναδρομή	19
1.3.2. Πλεονεκτήματα των μηχανισμών απόκρισης	20
1.3.3. Κατηγορίες μηχανισμών απόκρισης	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ	25
2.1. Εισαγωγή στο Agent Based Modeling	25
2.2. Νέα γενιά καταναλωτών – Prosumers	28
2.3. Αρχιτεκτονική του μοντέλου	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ	35
3.1. Εισαγωγή στη προσομοίωση	35
3.2. Προσομοίωση σεναρίου 1	37
3.3. Προσομοίωση σεναρίου 2	46
Επίλογος - Συμπεράσματα	60
Βιβλιογραφία	65

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. 1 – Εξέλιξη του παγκόσμιου ενεργειακού μείγματος, www.ourworldindata.org	13
Εικόνα 1. 2 – Σύγκριση του ευρωπαϊκού ενεργειακού μείγματος των ετών 1995 με 2008.....	14
Εικόνα 1. 3 – Ευρωπαϊκό ενεργειακό μείγμα 2016, ENTSO-E Statistical Factsheet 2016	14
Εικόνα 2. 1 – Διάγραμμα ροής μοντέλου	32
Εικόνα 3. 1 – NetLogo interface scenario 1	35
Εικόνα 3. 2 – NetLogo interface scenario 2	36
Εικόνα 3. 3 – Επεξήγηση του σεναρίου 1 όπως εμφανίζεται στην οθόνη επαφής του μοντέλου	39
Εικόνα 3. 4 – $t=60$	40
Εικόνα 3. 5 – $t=0$	40
Εικόνα 3. 6 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσεως του χρόνου	40
Εικόνα 3. 7 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσεως του χρόνου	41
Εικόνα 3. 8 – $t=60$	42
Εικόνα 3. 9 – $t=0$	42
Εικόνα 3. 10 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσεως του χρόνου	42
Εικόνα 3. 11 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσεως του χρόνου	42
Εικόνα 3. 12 – $t=0$	43
Εικόνα 3. 13 – $t=60$	43
Εικόνα 3. 14 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσεως του χρόνου	44
Εικόνα 3. 15 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσεως του χρόνου	44
Εικόνα 3. 16 – $t=60$	47
Εικόνα 3. 17 – $t=0$	47
Εικόνα 3. 18 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσεως του χρόνου	48
Εικόνα 3. 19 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσεως του χρόνου	48
Εικόνα 3. 20 – $t=60$	49
Εικόνα 3. 21 – $t=0$	49
Εικόνα 3. 22 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσεως του χρόνου	50
Εικόνα 3. 23 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσεως του χρόνου	50
Εικόνα 3. 24 – $t=60$	51
Εικόνα 3. 25 – $t=0$	51
Εικόνα 3. 26 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσεως του χρόνου	51
Εικόνα 3. 27 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσεως του χρόνου	52
Εικόνα 3. 28 – $t=60$	53
Εικόνα 3. 29 – $t=0$	53
Εικόνα 3. 30 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσεως του χρόνου	53
Εικόνα 3. 31 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσεως του χρόνου	54
Εικόνα 3. 32 – $t=60$	55
Εικόνα 3. 33 – $t=0$	55
Εικόνα 3. 34 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσεως του χρόνου	55
Εικόνα 3. 35 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσεως του χρόνου	56
Εικόνα 3. 36 – $t=60$	57
Εικόνα 3. 37 – $t=0$	57
Εικόνα 3. 38 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσεως του χρόνου	57
Εικόνα 3. 39 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσεως του χρόνου	58

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 3. 1 – Παράμετροι μοντέλου NetLogo για τα 7 συμβόλαια.....	38
Πίνακας 3. 2 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου.....	41
Πίνακας 3. 3 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα.....	41
Πίνακας 3. 4 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου.....	43
Πίνακας 3. 5 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα.....	43
Πίνακας 3. 6 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου.....	45
Πίνακας 3. 7 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα.....	45
Πίνακας 3. 8 – Παράμετροι μοντέλου NetLogo για τα 4 συμβόλαια.....	46
Πίνακας 3. 9 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου.....	49
Πίνακας 3. 10 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα.....	49
Πίνακας 3. 11 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου.....	50
Πίνακας 3. 12 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα.....	50
Πίνακας 3. 13 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου.....	52
Πίνακας 3. 14 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα.....	52
Πίνακας 3. 15 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου.....	54
Πίνακας 3. 16 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα.....	54
Πίνακας 3. 17 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου.....	56
Πίνακας 3. 18 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα.....	56
Πίνακας 3. 19 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου.....	58
Πίνακας 3. 20 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα.....	58

1.1. Εισαγωγή

Πέρασαν πολλά χρόνια από την εποχή της μάχης μεταξύ AC και DC όπου μεσολάβησε μια έκρηξη τεχνολογικής εξέλιξης με πολλές νέες εφευρέσεις και καινοτομίες.

Σήμερα ίσως ζούμε, ιστορικά, στην εποχή των μεγαλύτερων μεταρρυθμίσεων στον τομέα της ενέργειας και αναφερόμαστε στον τρόπο, στον τόπο αλλά κυρίως στην πώληση της.

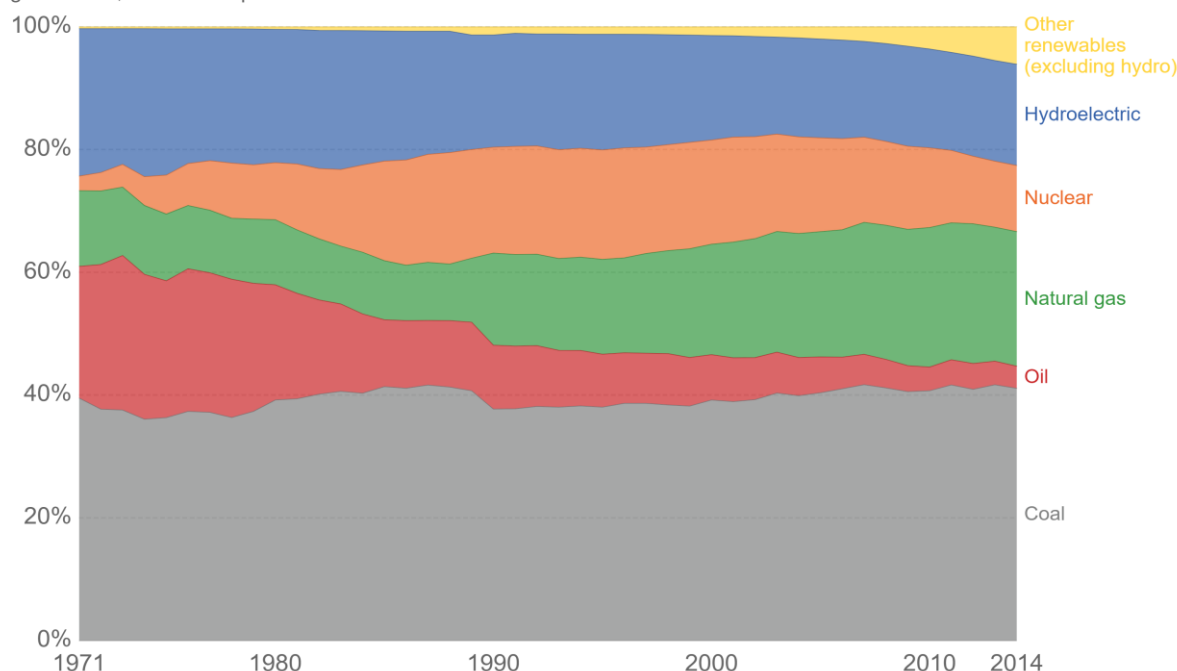
Τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας ξεκίνησαν από κεντρική παραγωγή με μεγάλους θερμικούς σταθμούς κοντά σε περιοχές πλούσιες σε ορυκτά καύσιμα και φτάσαμε στο άλλο άκρο, την εποχή όπου αναδύεται η κατανεμημένη παραγωγή χάρη στην εξέλιξη τεχνολογιών ΑΠΕ αλλά και στην αντικατάσταση των στερεών ορυκτών καυσίμων από το φυσικό αέριο. Κυριότερο πλεονέκτημα αποτελεί η δυνατότητα μεταφοράς του δεύτερου μέσω αγωγών, οι οποίοι με τις κατάλληλες υποδομές θα μπορούσαν να διατρέχουν όλο το εύρος μιας χώρας, ηπειρωτικό και μη.

Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας των ΑΠΕ αλλά και η κλιματική αλλαγή ώθησαν προς την αλλαγή του ενεργειακού μείγματος σε ευρωπαϊκό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο [26].

Electricity share by fuel source, World

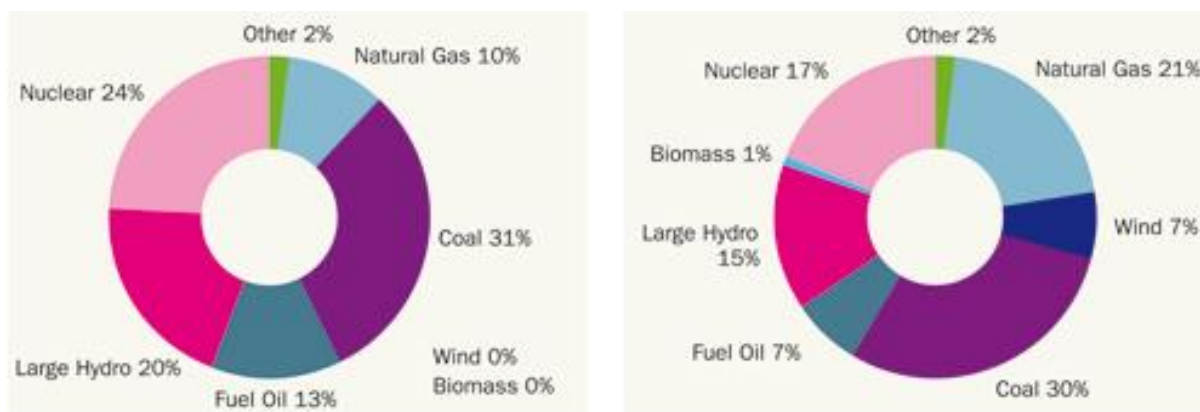
Electricity production (measured as the percentage of total electricity production) by source (coal, oil, gas, nuclear, hydroelectric power and other renewables). Other renewables in this definition includes biomass, wind, solar, geothermal, and marine power.

Our World
in Data



Εικόνα 1. 1 – Εξέλιξη του παγκόσμιου ενεργειακού μείγματος, www.ourworldindata.org [21]

Παρακάτω, στην εικόνα 2, γίνεται σύγκριση του ευρωπαϊκού ενεργειακού μείγματος των ετών 1995 και 2008. Σε αυτά τα χρόνια παρατηρείται κυρίως η σταδιακή αντικατάσταση του άνθρακα και του πετρελαίου από το φυσικό αέριο, καθώς και η εμφάνιση κάποιων μορφών ΑΠΕ.

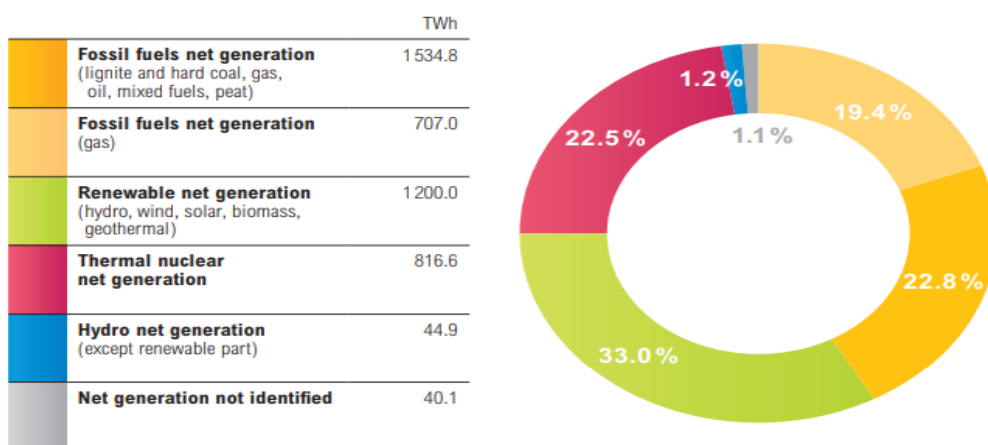


Source: EWEA and Platts (2008)

Εικόνα 1. 2 – Σύγκριση του ευρωπαϊκού ενεργειακού μείγματος των ετών 1995 με 2008 [22]

Η σημερινή κατάσταση απεικονίζεται στην εικόνα 3, βάση των επίσημων στοιχείων του ENTSO-Εγια το έτος 2016.

Generation mix in ENTSO-E member TSOs' countries in 2016^{1,2}



Εικόνα 1. 3 – Ευρωπαϊκό ενεργειακό μείγμα 2016, ENTSO-E Statistical Factsheet 2016 [23]

Έπειτα από την μεγάλη εισχώρηση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα δόθηκε η δυνατότητα σε απλούς έως τότε καταναλωτές να γίνουν ταυτόχρονα και παραγωγοί μέσω μικρών Φ/Β ή αιολικών σταθμών παραγωγής. Το γεγονός αυτό έδωσε άλλη διάσταση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με αποκορύφωμα τη δημιουργία χρηματιστηρίων ενέργειας, αρχικά στις πιο ανεπτυγμένες ευρωπαϊκές χώρες και από το 2018 και στην Ελλάδα.

Εφόσον λοιπόν κατευθυνόμαστε, αν δεν βρισκόμαστε ήδη, στην εποχή της σταδιακά αυξανόμενης καταναεμημένης παραγωγής και κατά συνέπεια των μικροδικτύων (microgrids) και λαμβάνοντας

υπόψη ότι έχουμε ήδη στα χέρια μας τεχνολογίες έξυπνης και ασύρματης επικοινωνίας, αναδύεται η ιδέα των έξυπνων δικτύων (smart grids).

Η υλοποίηση των έξυπνων δικτύων αποτελεί το επόμενο μεγάλο στοίχημα, καθώς ένας από τους βασικούς μοχλούς αποτελεί η ανάδραση που απαιτείται από τη πλευρά του καταναλωτή για την ορθή λειτουργία. Ο λόγος που παρουσιάζεται ως στοίχημα είναι το γεγονός πως ο καταναλωτής που θα κληθεί να συμμετάσχει ενεργά, σήμερα δεν είναι ούτε κατάλληλα ενημερωμένος, ούτε άρτια εκπαιδευμένος. Συνεπώς υπό αυτές τις συνθήκες πως μπορείς να ζητήσεις τη συμμετοχή ενός απλού καταναλωτή;

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το παραπάνω πρόβλημα, τους μηχανισμούς δηλαδή με τους οποίους ο απλός καταναλωτής ενέργειας θα μπορούσε να αποκριθεί στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, να γίνει έμμεσα ενεργός παίκτης της αγοράς ενέργειας όπου το προσωπικό του όφελος θα είναι ταυτόχρονα όφελος και της κοινότητας στην οποία ανήκει αλλά και του περιβάλλοντος όπου ζούμε όλοι!

1.2. Έξυπνα δίκτυα και μικροδίκτυα

Το όραμα για τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας του μέλλοντος, smart grids, αναπτύχθηκε από μια ευρωπαϊκή ομάδα επιστημόνων στο πλαίσιο του European Technology Platform όπου εργάστηκε μεταξύ των ετών 2005 – 2008. Στο έγγραφο στρατηγικής ανάπτυξης [\[1\]](#) που δημοσιεύτηκε από την προαναφερθείσα επιτροπή, έξυπνο δίκτυο ορίζεται ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να ενσωματώσει έξυπνα όλες τις ενέργειες των διασυνδεδεμένων χρηστών (γεννήτριες, καταναλωτές και καταναλωτές που δύνανται να παράγουν) προκειμένου να παρέχει με ασφάλεια βιώσιμη και οικονομική ηλεκτρική ενέργεια.

Η ανάγκη για αναβάθμιση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας προέκυψε από το γεγονός ότι τα υφιστάμενα δίκτυα σχεδιάστηκαν πριν πολλά χρόνια βάσει άλλων συνθηκών και αναγκών, σε μια εποχή που η κεντρική παραγωγή έδειχνε να είναι το μέλλον. Συνεπώς, από τη στιγμή που σήμερα έχουμε φτάσει στο άλλο άκρο, δηλαδή στην ανάπτυξη της διεσπαρμένης παραγωγής λόγω των ΑΠΕ, τα δίκτυα θα παρουσιάζουν αδυναμίες και θα δοκιμάζουν την ευστάθεια του συστήματος.

Ένα έξυπνο δίκτυο χρησιμοποιεί καινοτόμα προϊόντα και υπηρεσίες [\[24\]](#) μαζί με έξυπνες τεχνολογίες παρακολούθησης, ελέγχου, επικοινωνίας και αυτοθεραπείας, προκειμένου:

- να επιτρέψει στο δίκτυο να ενσωματώνει τους χρήστες με νέες απαιτήσεις
- να διευκολύνει τη σύνδεση και λειτουργία των γεννητριών όλων των μεγεθών και τεχνολογιών
- να βελτιώσει την αποδοτικότητα των λειτουργιών του δικτύου
- να επιτρέψει στους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας να διαδραματίσουν ένα ρόλο στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος
- να παρέχει στους καταναλωτές περισσότερες πληροφορίες και επιλογές όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο προμηθεύονται ηλεκτρική ενέργεια
- να βελτιώσει τη λειτουργία της αγοράς και των υπηρεσιών προς τους καταναλωτές
- να μειώσει σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συνολικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- να προσφέρει βελτιωμένα επίπεδα αξιοπιστίας, ποιότητας και ασφάλειας της ενέργειας

Συνεπώς ένα έξυπνο δίκτυο υποστηρίζει την εισαγωγή νέων εφαρμογών με πολλαπλά πλεονεκτήματα. Ίσως το κυριότερο από αυτά να αποτελεί η παροχή δυνατοτήτων για ασφαλή και ελεγχόμενη ενσωμάτωση περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ειδικά εκείνων με υψηλή μεταβλητότητα (λόγω εξάρτησης εκ των καιρικών συνθηκών), καθώς και η ενσωμάτωση νέων κατηγοριών χρηστών δικτύου όπως τα ηλεκτρικά οχήματα ή ακόμα και οι αντλίες θερμότητας που κάνουν την εμφάνισή τους σταδιακά τα τελευταία χρόνια Ένα σημαντικό επακόλουθο της ασφαλέστερης, οικονομικότερης και πιο αξιόπιστης λειτουργίας του δικτύου μέσω αυτοματοποιημένου συστήματος παρακολούθησης και αυτοθεραπείας θα δώσει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να ενημερώνονται καλύτερα σχετικά με τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και σταδιακά να συμμετέχουν ενεργά στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μέσω απόκρισης στη ζήτηση (demand side response) ώστε να επωφελούνται από τα δυναμικά τιμολόγια που θα προσφέρονται.

Τα έξυπνα δίκτυα θα συνδυάσουν τις υπάρχουσες αλλά σαφώς βελτιωμένες και αναβαθμισμένες τεχνολογίες με καινοτόμες λύσεις, κάτι που πρακτικά σημαίνει ότι τα μελλοντικά δίκτυα θα στηρίζονται στα υφιστάμενα αλλά θα προσφέρουν και τη δυνατότητα ανάπτυξης συστημάτων μικροδικτύων (*Microgrids*), και εικονικών σταθμών παραγωγής ενέργειας (*Virtual Power Plant, VPP*) [25]. Η κεντρική παραγωγή θα εξακολουθήσει να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, αλλά πολλοί περισσότεροι φορείς θα συμμετάσχουν στη δημιουργία, τη μετάδοση, τη διανομή και τη λειτουργία του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των τελικών καταναλωτών.

Οι περισσότερες αλλαγές θα πραγματοποιηθούν σε επίπεδο διανομής. Η σημαντική αύξηση της καταναλωμένης παραγωγής ενέργειας θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στη φόρτιση του δικτύου και στην ποιότητα ισχύος της ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με τον ορισμό του έξυπνου δικτύου, η αλληλεπίδραση μεταξύ του αρμόδιου λειτουργού δικτύου και της αγοράς ενέργειας θα καταστεί αναγκαία για τη βελτιστοποίηση του νέου δικτύου διανομής. Κατά συνέπεια, μια επικοινωνιακή υποδομή πρέπει να διεισδύσει σε ολόκληρα δίκτυα, μέχρι το επίπεδο του καταναλωτή χαμηλής τάσης, για να καταστήσει δυνατή αυτή την αλληλεπίδραση [25]. Οι προηγμένες τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (ICT) θα αποτελέσουν το κλειδί για να επιτευχθούν τα παρακάτω.

- Προηγμένο αυτοματοποιημένο σύστημα διανομής για βελτίωση της ποιότητας ισχύος
- Συντονισμένη διαχείριση της ενέργειας που καλύπτει την παραγωγή, αποθήκευση και ζήτηση στο πλαίσιο των VPP
- παροχή νέων μετρητικών υπηρεσιών στους καταναλωτές, καθώς και οικονομικών κινήτρων για ορθολογικότερη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας όπως :
 - δυναμικά τιμολόγια
 - επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ διαχειριστή συστήματος και τελικού καταναλωτή
 - οπτική απεικόνιση της ζήτησης, της τιμής ενέργειας και των συναφών εξόδων αλλά και προσφορές έπειτα από πιθανή απόκριση του καταναλωτή

Βασικός λόγος που οι έννοιες “*Virtual Power Plant*” και “*Smart Metering*” είναι τόσο σημαντικές για τα μελλοντικά δίκτυα αποτελεί η ανάγκη για τη δημιουργία και τη διαχείριση της ευελιξίας, στην προσαρμογή της ζήτησης του δικτύου στην προσφορά και στο χαμηλότερο κόστος, αλλά και στην προσαρμογή αμφίδρομης της ροής του φορτίου βάσει της διαθέσιμης χωρητικότητας του δικτύου.

Οι κυριότερες τάσεις που παρατηρούνται στην ανάπτυξη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας έχουν να κάνουν με την αύξηση της μεταφερόμενης ενέργειας καθώς και με την ενεργό πλέον συμμετοχή του δικτύου διανομής στη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι δραστηριότητες ενεργειακής εμπορίας στις απελευθερωμένες αγορές σε συνδυασμό με την απεριόριστη, από το δίκτυο, απορρόφηση ενέργειας παραγόμενη από σταθμούς με υψηλή διακοψιμότητα (αιολικοί ή Φ/Β σταθμοί), προκαλούν μεγάλη αύξηση των απαιτήσεων μεταφοράς ενέργειας. Η αύξηση αυτή με τη σειρά της, σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές την ημέρας, δύναται να δημιουργήσει ενεργειακή συμφόρηση ειδικά σε δίκτυα με περιορισμένη χωρητικότητα. Συνεπώς το επίπεδο τάσης (V) στο οποίο λειτουργούν οι υφιστάμενες γραμμές μεταφοράς θα πρέπει να είναι υψηλότερο απ’ ότι στο παρελθόν [24].

Επειδή σταδιακά το μερίδιο της ενέργειας που παράγεται στο επίπεδο της διανομής θα αυξάνεται, απαιτείται η κατάλληλη βελτίωση των δικτύων αυτών ώστε να εξυπηρετούν αποτελεσματικά και με ασφάλεια τις ροές ισχύος δυο κατευθύνσεων πλέον. Επίσης το γεγονός αυτό θα οδηγήσει σε μερική αποφόρτιση των γραμμών του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας στο επίπεδο της μεταφοράς, αφού πλέον μέρος την καταναλισκομένης ενέργειας θα παράγεται απευθείας από το επίπεδο της διανομής.

Ωστόσο, λόγω του ότι οι προαναφερθείσες τάσεις θα οδηγήσουν τις ροές ισχύος, παραγόμενης από σταθμούς υψηλής διακοψιμότητας, σε εξαιρετικά αυξημένα επίπεδα, απαιτείται η δημιουργία κατάλληλων εργαλειοθηκών για την αποφυγή τεχνικών προβλημάτων. Η εργαλειοθήκη αυτή θα πρέπει να παρέχει δοκιμασμένες λύσεις τεχνικών προβλημάτων οι οποίες θα μπορούν να εφαρμοστούν τάχιστα και αποτελεσματικά, επιτρέποντας στα υφιστάμενα δίκτυα την απορρόφηση εισροών ενέργειας σε όλα τα επίπεδα χωρίς να παραβιάζονται κρίσιμα όρια λειτουργίας και ασφάλειας του δικτύου.

1.3. Μηχανισμοί απόκρισης στη ζήτηση – Demand Response Mechanisms

1.3.1. Ορισμός και ιστορική αναδρομή

Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ [\[25\]](#), η απόκριση στη ζήτηση (Demand Response) μπορεί να οριστεί ως "αλλαγές στη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος από τους τελικούς καταναλωτές σε σχέση με τις κανονικές συνήθειες κατανάλωσής τους έπειτα από πιθανή ανταπόκριση τους σε μεταβολές της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος ή σε άλλα κίνητρα που προκαλούν χαμηλότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους υψηλών τιμών χονδρικής αγοράς ή όταν τίθεται σε κίνδυνο η αξιοπιστία του συστήματος".

Στη πραγματικότητα η διαχείριση από τη πλευρά της ζήτησης στη πιο βασική της μορφή δεν αποτελεί μια καινοτομία, καθώς υφίσταται εδώ και αρκετά χρόνια υπό τον γενικό όρο διαχείριση φορτίου. Η διαχείριση φορτίου και οι τιμολογιακές εκπτώσεις για φορτία με δυνατότητα διακοπής σε μεγάλους βιομηχανικούς και εμπορικούς καταναλωτές, όπως και ο άμεσος έλεγχος φορτίου των οικιακών καταναλωτών έκαναν την εμφάνισή τους τη δεκαετία του 1970-1980. Εξαιτίας όμως της έλλειψης φθηνού και αξιόπιστου εξοπλισμού επικοινωνίας και των μεγάλων χρόνων απόκρισης δεν κατάφεραν να αναπτυχθούν επαρκώς.

Οι ενεργειακές κρίσεις του '70 και '80 αύξησαν την ευαισθητοποίηση σχετικά με το ρόλο που διαδραματίζει η διαχείριση από τη πλευρά της ζήτησης. Σε συνδυασμό και με τη μείωση του συντελεστή ισχύος που προκάλεσε η ραγδαία αύξηση χρήσης των κλιματιστικών οδήγησαν, κατά τη δεκαετία του 1990, τους υπεύθυνους για τη χάραξη της πολιτικής να ανασχεδιάσουν πολλές από τις κάθετα ολοκληρωμένες βιομηχανίες ηλεκτρικής ενέργειας για να επιτρέψουν πιο ανταγωνιστικές χονδρικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, και εισάγοντας σταδιακά επιλογές για τους καταναλωτές.

Φτάνοντας στη δεκαετία του 2000 αναδείχθηκαν τα προβλήματα που διαπιστώθηκαν στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η κατάρρευση της αγοράς της Καλιφόρνια το 1999, τα οποία αποτέλεσαν βασικούς μοχλούς για τη δρομολόγηση νομοθετικών αλλαγών που υπογράμμιζαν τον ρόλο που θα μπορούσε να διαδραματίσει η διαχείριση από τη πλευρά της ζήτησης (DSM) και επιχειρήσαν να απομακρύνουν περιττά εμπόδια για τη συμμετοχή της απόκρισης στη ζήτηση (DR) στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια, η εμφάνιση των τεχνολογιών των έξυπνων δικτύων (Smart Grids), που περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα εργαλείων επιτήρησης, επικοινωνίας, ελέγχου και υποστήριξης που στοχεύουν στη βελτίωση της λειτουργίας των δικτύων, οδήγησε σε πολλές νέες ευκαιρίες για περαιτέρω ανάπτυξη της διαχείρισης από τη πλευρά της ζήτησης (Demand Side Management) [\[25\]](#). Η ικανότητα των οικιακών καταναλωτών να αποκρίνονται στα σήματα αύξησης ή μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας με βάση το οικονομικό τους συμφέρον έχει αυξηθεί σημαντικά καθώς οι έξυπνοι μετρητές, τα συστήματα επικοινωνίας, η ανίχνευση και τα ενσωματωμένα συστήματα ελέγχου καθίστανται πανταχού παρόντα στα συστήματα που τροφοδοτούνται από ηλεκτρική ενέργεια, στο κτηριακό τομέα και αλλού. Οι έξυπνοι, και με δυνατότητα online μετάδοσης πληροφοριών, μετρητές και οι τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες επιτρέπουν στους διαχειριστές του συστήματος τη σε σχεδόν πραγματικό χρόνο επικοινωνία με τον τελικό καταναλωτή.

Οι προοπτικές εξέλιξης των εφαρμογών αυτού του τομέα είναι τεράστιες, οι αγορές επενδύουν ήδη σ' αυτόν τον τομέα κι έτσι το «κυνήγι» της καινοτομίας οδηγεί ακόμη και τους μεγαλύτερους οικονομικούς παράγοντες του κλάδου τεχνολογίας, πληροφορίας αλλά και επικοινωνίας σε αυτή την ολοκαίνουργια επικράτεια. Ο συνεχώς αυξανόμενος ρόλος που διαδραματίζει η ηλεκτρική ενέργεια σε όλες τις οικονομίες δίνει ακόμα μεγαλύτερη αξία στην εξέλιξη των παραπάνω εφαρμογών. Η ηλεκτρική ενέργεια θα είναι ο ενεργειακός φορέας κατ'εξοχήν τα επόμενα 50 χρόνια και ως εκ τούτου η αξία των εργαλείων για τον έλεγχο και τη διαχείριση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αυξηθεί μόνο στο εγγύς μέλλον.

1.3.2. Πλεονεκτήματα των μηχανισμών απόκρισης

Παραδοσιακά το θεσμικό πλαίσιο, στην Ελλάδα και όχι μόνο, που αφορά τις επενδύσεις στο τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας έτεινε να ευνοεί επενδύσεις που είχαν να κάνουν με τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τους πόρους για τη παραγωγή αυτής, έναντι επενδύσεων σε προγράμματα βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης ή ακόμη και βελτίωσης της ευελιξίας των δικτύων. Ως εκ τούτου, οι επιχειρήσεις προτιμούσαν επενδύσεις μεγάλου αρχικού κεφαλαίου, όπως σταθμοί παραγωγής ή δίκτυα μεταφοράς και διανομής, καθώς τα κέρδη συνδέονται στενά με τις κεφαλαιουχικές δαπάνες. Καθώς περνάμε στην εποχή της μείωσης των εκπομπών αέριων ρύπων, γενικά μείωσης του αποτυπώματος άνθρακα της βιομηχανίας, η τάση αυτή αρχίζει σιγά σιγά να μετατοπίζεται στα σύγχρονα δίκτυα όπου εστιάζουν στη διασφάλιση της μεταφερόμενης ενέργειας και την ενσωμάτωση ανανεώσιμων και καταναεμημένων ενεργειακών πόρων.

Ο πολλαπλασιασμός των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με τους στόχους ενεργειακής ασφάλειας και περιβαλλοντικής βελτίωσης θέτουν σημαντικές προκλήσεις στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές προκύπτουν κυρίως από την ανάγκη για βελτίωση των επιπέδων ευελιξίας και ελεγκτικής ικανότητας για την αντιμετώπιση του φαινομένου της διακοψιμότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε αυτό το νέο περιβάλλον που δημιουργείται λοιπόν, η πλευρά της ζήτησης (demand side) αναμένεται να διαδραματίσει όλο και πιο ενεργό ρόλο στη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης παρέχοντας την απαιτούμενη ευελιξία για την εξισορρόπηση της διακοψιμότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [\[25\]](#).

Αυτό βέβαια έρχεται σε αντίθεση με την παραδοσιακή λειτουργία των συστημάτων ισχύος και το σχεδιασμό, σύμφωνα με το οποίο οι γεννήτριες ελέγχονται για να ακολουθούν τις αιχμές της ζήτησης, καθώς αυτές ποικίλλουν ανάλογα την ώρα, την ημέρα, την εποχή, ακόμη και το έτος. Επιπλέον, τα προγράμματα διαχείρισης από τη πλευρά της ζήτησης στα αναδυόμενα δίκτυα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα εστιάζουν στη μείωση της αιχμής της ζήτησης μειώνοντας τη λειτουργία μονάδων ταχείας απόκρισης.

Η διαχείριση από τη πλευρά της ζήτησης μπορεί να προσφέρει ποικίλα οφέλη στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας, από οικονομικά έως και περιβαλλοντικά. Τα οικονομικά οφέλη μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις γενικές κατηγορίες. Το πρώτο οικονομικό όφελος προέρχεται από τη μείωση των αιχμών ζήτησης, οι οποίες παρά το γεγονός ότι είναι σπάνιες στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, οι οικονομικές τους επιπτώσεις είναι σημαντικές. Αυτό συμβαίνει κυρίως επειδή οι τιμές της ενέργειας ανεβαίνουν στα ύψη κατά τη διάρκεια της αιχμής της ζήτησης και της έλλειψης εφοδιασμού.

Η συχνότερη εμφάνιση τέτοιων αιχμών είναι αυτό που οδηγεί τις παραδοσιακές επενδύσεις κεφαλαίου στη βιομηχανία παραγωγής, μεταφοράς και διανομής. Ως εκ τούτου, η μείωση των αιχμών ζήτησης με τη λήψη μέτρων από την πλευρά της ζήτησης μπορεί να θεωρηθεί ως άμεσο υποκατάστατο αυτών των επενδύσεων.

Το δεύτερο οικονομικό όφελος προέρχεται από την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών και ενδεχομένως τη μείωση της μεταβλητότητας της ζήτησης. Γενικά, βοηθητικές υπηρεσίες παρέχονται από τις μονάδες παραγωγής που λειτουργούν σε μη βέλτιστες συνθήκες κάτι που σημαίνει χαμηλότερος βαθμός απόδοσης. Τέτοιες δαπανηρές καταστάσεις θα μπορούσαν να αντικατασταθούν εν μέρει (και ίσως και στο σύνολό τους) με τη χρήση της ικανότητας απόκρισης στη ζήτηση από τη πλευρά του καταναλωτή. Η παροχή βοηθητικών υπηρεσιών μέσω του demand response μπορεί να μειώσει περαιτέρω την ανάγκη λειτουργίας δαπανηρών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, όπως οι μονάδες γρήγορης εκκίνησης και αιχμής, οι οποίες αυξάνουν το κόστος παραγωγής, τις τιμές και τις εκπομπές αέριων ρύπων.

Το τρίτο οικονομικό όφελος προέρχεται από τη μείωση των απωλειών κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ενέργεια συνήθως πρέπει να ταξιδεύει σε μεγάλη απόσταση από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής έως τους τελικούς χρήστες. Οι απώλειες μεταφοράς κυμαίνονται μεταξύ 5 και 10%, ανάλογα με τις συνθήκες φόρτισης των γραμμών μεταφοράς και διανομής. Η χρήση μηχανισμών απόκρισης στη ζήτηση από τη πλευρά του καταναλωτή μπορεί να συμβάλει στην ανακούφιση των υπερφορτισμένων, πολλές φορές, γραμμών και στη μείωση των παραπάνω απωλειών.

Η χρήση μηχανισμών απόκρισης από τη πλευρά της ζήτησης αυξάνουν την αξιοπιστία του συστήματος ισχύος και μειώνουν την πιθανότητα και τις συνέπειες των αναγκαστικών διακοπών παραγωγής και μεταφοράς, οι οποίες μπορούν να επιφέρουν σημαντικά οικονομικά κόστη και δυσφορία στους πελάτες. Επίσης έχει ως αποτέλεσμα πολυάριθμα περιβαλλοντικά οφέλη τα οποία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες [\[25\]](#).

Η πρώτη κατηγορία σχετίζεται με τη μείωση των απαιτήσεων αιχμής, η οποία εμποδίζει την ανάγκη λειτουργίας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και των συναφών εκπομπών τους. Επιπλέον, τα οφέλη αυτά μπορούν να μειώσουν την ανάγκη κατασκευής νέων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, γραμμών μεταφοράς, υποσταθμών και υποδομών διανομής. Αυτό αποτρέπει τις περιβαλλοντικές συνέπειες που θα προέκυπταν και ενισχύει την κοινωνική αποδοχή των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.

Η δεύτερη κατηγορία σχετίζεται με τη μείωση των αναγκών για βοηθητικές υπηρεσίες από μονάδες ταχείας εκκίνησης κι απόκρισης. Οι μονάδες αυτές τροφοδοτούνται ως επί το πλείστον από πετρέλαιο ντίζελ ή φυσικό αέριο, το οποίο συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η χρήση μηχανισμών απόκρισης από τη πλευρά της ζήτησης οδηγεί περαιτέρω στη λειτουργία των σταθμών παραγωγής ενέργειας σε βέλτιστα επίπεδα λειτουργίας, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε λιγότερη κατανάλωση καυσίμου και λιγότερες εκπομπές αέριων ρύπων.

1.3.3. Κατηγορίες μηχανισμών απόκρισης

Τα προγράμματα των μηχανισμών Demand Response μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε δύο κατηγορίες, σε αυτά που συνδέονται άρρηκτα με τη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και σε αυτά που βασίζονται σε οικονομικά κίνητρα προς τους καταναλωτές [\[25\]](#).

Η πρώτη κατηγορία που αναφέραμε σχετίζεται με προγράμματα όπου οι αλλαγές στη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας έρχονται ως αποτέλεσμα των μεταβολών στη τιμή αυτής. Αυτά τα προγράμματα μπορούν να καταταχθούν σε 3 υποκατηγορίες:

- Time of Use (ToU) – Κοστολόγηση ανάλογα με τη χρονική περίοδο χρήσης
- Real Time Pricing (RTP) – Κοστολόγηση σε πραγματικό χρόνο
- Critical Peak Pricing (CPP) – Κοστολόγηση σε περιόδους κρίσιμων αιχμών

Με τις χρεώσεις ToU, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρει ανάλογα με την ώρα της ημέρας, για παράδειγμα την αιχμή, τη μερική αιχμή και τις ώρες εκτός αιχμής, όπως για παράδειγμα η διαφορά μεταξύ νυκτερινής και ημερήσιας τιμής που ήδη υπάρχει στη χώρα μας. Συνεπώς σε αυτήν την κατηγορία, οι τιμολογιακές επιλογές είναι ήδη γνωστές στους πελάτες οι οποίοι καλούνται να προσαρμόσουν τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να επιτύχουν το μέγιστο ατομικό κέρδος.

Τα προγράμματα RTP, σε αντίθεση με τα ToU, συνδέονται με τις χονδρικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας σε ωριαία βάση. Στα προγράμματα RTP, οι πελάτες τυπικά ενημερώνονται για το επερχόμενο RTP μια ημέρα ή μια ώρα νωρίτερα. Αυτά τα προγράμματα βέβαια είναι ασυνήθιστα, καθώς απαιτούν υψηλότερο επίπεδο πολυπλοκότητας στη λήψη αποφάσεων και υποδομών από τη πλευρά των πελατών. Η απαιτούμενη υποδομή περιλαμβάνει αυτοματοποιημένη μέτρηση διαστημάτων, μηχανισμούς πρόβλεψης τιμών, συστήματα επικοινωνιών και χρέωσης, καθώς και "έξυπνο" σύστημα διαχείρισης ενέργειας από πλευράς πελατών.

Η CPP είναι μια υβριδική μορφή των 2 προηγούμενων προγραμμάτων. Η δομή τους είναι παρόμοια με τα προγράμματα ToU, όπου όμως τα «πάγια» τιμολόγια αυξάνονται στις περιπτώσεις κρίσιμων σφαλμάτων, σχετίζονται δηλαδή με την αξιοπιστία, ή ακόμη κι όταν αυξάνονται οι χονδρικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας. Στόχος αυτών των προγραμμάτων είναι να προειδοποιήσουν εγκαίρως τους καταναλωτές, ώστε να έχουν αρκετό χρόνο για να αναπροσαρμόσουν αναλόγως τις δραστηριότητες ή την παραγωγή όταν πρόκειται για βιομηχανία.

Από την άλλη πλευρά, στα προγράμματα που βασίζονται σε οικονομικά κίνητρα οι πελάτες επιτρέπουν στους φορείς, με τους οποίους έχουν συνάψει σύμβαση συνεργασίας, να ελέγχουν τα φορτία τους με αντάλλαγμα πιστώσεις ή πληρωμές [\[25\]](#). Αυτές οι πιστώσεις ή πληρωμές είναι ξεχωριστές από τη τιμή λιανικής της ηλεκτρικής ενέργειας του πελάτη, το οποίο μπορεί να είναι σταθερό ή μεταβαλλόμενο. Τα προγράμματα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν σε 5 υποκατηγορίες :

- Direct Load Control (DLC) – Άμεσος έλεγχος φορτίου
- Διακοπτόμενη ή περιοριζόμενη υπηρεσία
- Απόκριση στη ζήτηση έκτακτης ανάγκης
- Προγράμματα αγοράς χωρητικότητας
- Προγράμματα αγοράς βοηθητικών υπηρεσιών

Στα προγράμματα DLC, τα φορτία πελατών ελέγχονται απευθείας από τον διαχειριστή του συστήματος ή την εταιρεία που εκπροσωπεί τον πελάτη. Κατά τη διάρκεια σημάτων DR, αυτά τα φορτία δύνανται είτε να απενεργοποιηθούν, είτε να μετακινηθούν χρονικά σε περίοδο χαμηλότερης ζήτησης. Τα προγράμματα DLC απευθύνονται συνήθως σε μικρά εμπορικά ή και οικιακά φορτία, ενώ περιλαμβάνουν συνήθως σταθερές μηνιαίες πληρωμές που πιστώνονται στον λογαριασμό του πελάτη όταν συμβαίνουν συμβάντα μείωσης του φορτίου.

Τα προγράμματα διακοπτόμενης ή περιορισμένης υπηρεσίας είναι παρόμοια με τα προγράμματα DLC. Ωστόσο, στοχεύουν σε μεγάλα εμπορικά και βιομηχανικά φορτία. Σε αυτά τα προγράμματα, τα μεγάλα εμπορικά και βιομηχανικά φορτία αποδέχονται τη μείωση ή την απενεργοποίηση συγκεκριμένων φορτίων για μια χρονική περίοδο με αντάλλαγμα ανάλογες πιστώσεις ή εκπτώσεις. Οι συμμετέχοντες συνήθως ενημερώνονται από μερικά λεπτά έως μερικές ημέρες νωρίτερα και προβλέπονται αυστηρές ποινές σε περίπτωση μη απόκρισης.

Τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση έκτακτης ανάγκης είναι πρακτικά μια βοηθητική υπηρεσία για τα συστήματα ισχύος όπου συνήθως υπάρχει ένα ανώτατο όριο στη μέγιστη υπηρεσία απόκρισης στη ζήτηση που μπορεί να παρέχεται από τη πλευρά της ζήτησης. Οι συμμετέχοντες σε προγράμματα έκτακτης ανάγκης DR λαμβάνουν πληρωμές μόνο όταν ανταποκρίνονται στα σήματα του διαχειριστή συστήματος. Οι πληρωμές υπολογίζονται με βάση την αξία του χαμένου φορτίου. Οι συμμετέχοντες σε τέτοια προγράμματα δεν λαμβάνουν εκ των προτέρων πληρωμές ή πιστώσεις παραγωγικής ικανότητας, καθώς η συμμετοχή τους είναι εθελοντική και δεν επιβάλλονται κυρώσεις όταν δεν ανταποκρίνονται.

Στα προγράμματα αγοράς χωρητικότητας, οι πελάτες συμφωνούν να αποδέχονται τις εκάστοτε απαιτήσεις του δικτύου και λαμβάνουν πιστώσεις παραγωγικής ικανότητας ανάλογες με την ικανότητά τους να μειώνουν το φορτίο αλλά και μια πρόσθετη πληρωμή για μειώσεις φορτίου κατά τη διάρκεια έκτακτων περιπτώσεων. Οι πελάτες μπορούν να λάβουν επιπλέον πιστώσεις για μειώσεις φορτίου σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης ή αιχμών ζήτησης. Η αδυναμία ανταπόκρισης στην αγορά χωρητικότητας ή σε σήματα έκτακτης ανάγκης συνεπάγεται σημαντικές κυρώσεις, δεδομένου ότι οι συμμετέχοντες πληρώνονται σε σταθερή βάση για να είναι διαθέσιμοι για την παροχή χωρητικότητας.

Τα προγράμματα αγοράς βοηθητικών υπηρεσιών για το DR είναι μια αναδυόμενη περιοχή. Οι τεχνικές δυνατότητες που απαιτούνται για τη συμμετοχή σε αγορές βοηθητικών υπηρεσιών ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο της παρεχόμενης υπηρεσίας. Για παράδειγμα, η παροχή υπηρεσιών ρύθμισης συχνότητας απαιτεί τηλεμετρία και την ικανότητα ο πελάτης να ακολουθεί συγκεκριμένα set-points τα οποία θα του μεταδίδονται από τον διαχειριστή του συστήματος.

2.1. Εισαγωγή στο Agent Based Modeling

Η μοντελοποίηση με σύστημα πρακτόρων (Agent Based Modeling ή ABM) ενώ αρχικά παρουσιάστηκε και χρησιμοποιούνταν σχεδόν αποκλειστικά από τον τομέα της πληροφορικής, παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια ραγδαία επέκταση σε όλο και περισσότερα επιστημονικά πεδία. Στο άρθρο τους οι Niazi και Hussain [\[2\]](#) αναφέρουν πως ο αριθμός των επιστημονικών δημοσιεύσεων με βασικό θέμα το ABM από το 1990 έως το 2010 αυξάνει εκθετικά, ενώ φαίνεται να κάνουν χρήση αυτού του συστήματος και κλάδοι όπως Οικολογία, Μηχανική (Engineering), Βιολογία, Μαθηματικά καθώς και Κοινωνικές και Περιβαλλοντικές επιστήμες [\[20\]](#).

Η κοινή συνιστάμενη της χρήσης ABM είναι ότι η στοιχειώδης μονάδα δράσης αποτελείται από κάποιον διακριτό πράκτορα (agent), ο οποίος δρα και αλληλεπιδρά με άλλες οντότητες σε ένα κοινό περιβάλλον. Η τελική δυναμική του συστήματος δεν καθορίζεται από κάποια καθολική συνάρτηση αλλά είναι το αποτέλεσμα των πράξεων και των αλληλεπιδράσεων των διακριτών πρακτόρων [\[3\]](#).

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, συνυφασμένη με το ABM είναι η έννοια της προσομοίωσης (simulation), η οποία είναι και ο συνήθης τρόπος με τον οποίο υλοποιούνται τα συστήματα πρακτόρων. Η υλοποίηση αυτή γίνεται συνήθως σε κάποιο κατάλληλο προγραμματιστικό περιβάλλον και συνίσταται στην «πρόβλεψη» της συμπεριφοράς των πρακτόρων σε βάθος χρόνου.

Επίσης δίνονται τα χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να κατέχει ένας «πράκτορας» :

- Αυτονομία – η ικανότητα του να δρα χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση
- Κοινωνικότητα – η ικανότητα αλληλεπίδρασης με άλλους ομοειδείς πράκτορες
- Προσαρμοστικότητα στο περιβάλλον – η ικανότητα να αντιλαμβάνεται αλλαγές στο περιβάλλον και να αντιδρά σε αυτές
- Ενεργητικότητα – η ικανότητα να λαμβάνει πρωτοβουλίες με αφορμή του στόχους και όχι σαν αντίδραση στις εξωτερικές αλλαγές

Είναι πρόδηλο ότι το εννοιολογικό μοντέλο του πράκτορα και των συστημάτων που μοντελοποιούνται από πράκτορες ταιριάζει πολύ καλά στο τομέα των κοινωνικών επιστημών, όπου αποτελεί τον τομέα που κάνει τη μεγαλύτερη χρήση τέτοιου είδους συστημάτων μοντελοποίησης στις προσομοιώσεις του.

Το ABM πρόσφατα προτάθηκε πιθανόν ως ένα καλύτερο εναλλακτικό εργαλείο στην οικονομία του κλίματος. Το στοιχείο που ανεβάζει τη «προστιθέμενη αξία» του ABM είναι το γεγονός ότι επιδιώκει τη παραγωγή πιο ρεαλιστικών αναπαραστάσεων των κοινωνικοοικονομικών προβλημάτων προσομοιώνοντας την οικονομία μέσω των αλληλεπιδράσεων ενός μεγάλου αριθμού πρακτόρων, βασιζόμενο σε συγκεκριμένους κανόνες. Ως εκ τούτου το ABM εμφανίζεται ως μια πολλά υποσχόμενη λύση για την αντιμετώπιση των προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής.

Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα με σύστημα πρακτόρων για τη διάδοση βιώσιμων οικιακών τεχνολογιών, για την ακρίβεια καινοτομίες που έχουν να κάνουν με εξοικονόμηση νερού [4], συστήματα θέρμανσης [5] καθώς και έξυπνους μετρητές ενέργειας [6]. Οι μελέτες αυτές, οι οποίες εστιάζουν κυρίως στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών από τους τελικούς χρήστες, δείχνουν κατά πόσο η ετερογένεια του πληθυσμού αλλά και οι αλληλεπιδράσεις του, εντός και εκτός κοινωνικών δικτύων, επηρεάζουν το ποσοστό υιοθέτησης των τεχνολογιών αυτών.

Επιπλέον το ABM έχει εφαρμοστεί για τη μελέτη ηλεκτρικών συστημάτων καθώς και της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ορισμένα μοντέλα μεγάλης κλίμακας έχουν μελετήσει την χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς αυτή είναι αρκετά ανταγωνιστική. Γενικά αυτά τα μοντέλα έχουν επικεντρωθεί στον σχεδιασμό αγορών και δημοπρασιών, στις στρατηγικές υποβολής προσφορών των μεγάλων εμπόρων, στη πρόβλεψη κανονισμών, στην αλλαγή του αριθμού και του τύπου των προμηθευτών και των αγορών, στις αλλαγές πολιτικής που αποσκοπούν στη μείωση των πιθανών βλαβών του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παραγωγής.

Στο επίπεδο της υλοποίησης η χρήση αντικειμενοστραφών γλωσσών προγραμματισμού είναι μονόδρομος λόγω των πλεονεκτημάτων τους για την αναπαράσταση των πρακτόρων. Υπάρχουν δυο βασικοί τρόποι ανάπτυξης ενός ABM συστήματος, είτε ο εξαρχής προγραμματισμός του μοντέλου είτε η χρήση κάποιου σχετικού περιβάλλοντος στο οποίο υπάρχουν έτοιμες οι τυπικές λειτουργίες που συναντώνται σε ένα ABM. Σε κάθε περίπτωση η ανάπτυξη έγκειται στον προγραμματισμό της συμπεριφοράς των μεμονωμένων πρακτόρων και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους.

Ακριβώς επειδή τα συστήματα αυτά συντίθεται από αλληλεπιδρώντα υποκείμενα (interacting agents) δεν αρκεί η απομόνωση των συστατικών στοιχείων για να αναπαρασταθεί το σύστημα, οι αλληλεπιδράσεις και όχι απλά οι επιμέρους ιδιότητες των υποκειμένων διαμορφώνουν το τελικό αποτέλεσμα. Αυτή είναι και η κυρία αιτία που το ABM χρησιμοποιείται σε πολύπλοκα συστήματα (complex systems) [17], καθώς η συμπεριφορά αυτών των συστημάτων μπορεί να είναι από μη γραμμική έως χαοτική είναι αρκετά δύσκολη η αναπαράστασή τους. Οι κλασσικές αλγεβρικές ή αναλυτικές μέθοδοι έχουν δυσκολία αφενός στο να απεικονίσουν την πολυπλοκότητα των σχέσεων των συστημάτων αυτών και αφετέρου στο να επιλύσουν ή υπολογίσουν τη τελική κατάσταση του συστήματος. Αξίζει λοιπόν να σημειωθεί πως το ABM δεν πρέπει να ιδωθεί απλά ως μια τεχνική αλλά και ως μια διαφορετική προσέγγιση για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων.

Σε σχέση με τις δυνατότητες χρήσης που μας παρέχει το agent based modeling, ο Axtell [7] προτείνει τις παρακάτω επιλογές :

- Χρήση ως υποκατάστατο της κλασσικής μαθηματικοποιημένης μοντελοποίησης, στη περίπτωση αυτή ενσωματώνουμε τις ήδη αποτυπωμένες μαθηματικές σχέσεις και στα υποκείμενα του μοντέλου μας έχοντας την επιπλέον δυνατότητα να απεικονίσουμε τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.
- Χρήση για το ξεπέρασμα της μερικής αδυναμίας επίλυσης μαθηματικών μοντέλων, λόγω μη γραμμικής ή χαοτικής συμπεριφοράς.
- Διερεύνηση προβλημάτων που δεν είναι δυνατόν να αναλυθούν με κάποια κλασσική μαθηματική μέθοδο.

Κάποια από τα βασικά πλεονεκτήματα του ABM τοποθετούνται στο πεδίο της επιστήμης της δημογραφίας, αλλά με γενικότερες προεκτάσεις. Το πρώτο απ' αυτά είναι το γεγονός ότι σε αυτά τα μοντέλα μπορούμε να συμπεριλάβουμε μηχανισμούς ανατροφοδότησης (feedback mechanisms). Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί και η δυνατότητα να κατασκευαστούν και να επιλυθούν μοντέλα για τα οποία δεν υπάρχουν αναλυτικές λύσεις, όπως μη-γραμμικά συστήματα ή συστήματα με μεγάλη πυκνότητα αλληλεπιδράσεων [8].

Παρατηρούμε ότι συγκρινόμενο με τη κλασσική μαθηματική μοντελοποίηση, στο ABM είναι πιο εύκολο να συμπεριλάβουμε μη πλήρως ορθολογικά και ετερογενή υποκείμενα (agents). Επίσης δύναται να περιοριστεί η ορθολογικότητα των υποκειμένων (limit agent's rationality) και να μοντελοποιηθεί η ετερογένεια τους καθώς τα υποκείμενα μοντελοποιούνται σαν αντικειμενοστραφείς μονάδες στον υπολογιστή [7].

Από την άλλη πλευρά, όπως είναι φυσιολογικό υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα, με το σημαντικότερο από αυτά να έγκειται στην ευρωστία των λύσεων της μεθόδου. Πρακτικά η χρήση ABM σε σχέση με τις μαθηματικοποιημένες μεθόδους μοντελοποίησης δεν παρέχει εύρωστα αποτελέσματα καθώς κάθε λύση εξαρτάται απόλυτα από τις αρχικές συνθήκες, συνεπώς μόνο μέσω πολλαπλών επιλύσεων μπορούμε να αποκτήσουμε κάποια «στιβαρή» εικόνα για τα αποτελέσματα μας και κατ' επέκταση και για τα συμπεράσματα μας. Επισημαίνεται ωστόσο ότι με την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος, η παραμετρική επίλυση τέτοιων πολυδιάστατων συστημάτων καθίσταται όλο και πιο ρεαλιστική.

Επίσης ακόμη ένα μεθοδολογικό ζήτημα του ABM αποτελεί η δυσκολία κατανόησης των υποθέσεων, παραδοχών και αλγορίθμων λειτουργίας του, καθώς η ανάπτυξη του εκάστοτε συστήματος γίνεται σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού και περιλαμβάνει πολλές γραμμές κώδικα. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι τα προγράμματα που προσφέρονται για την υλοποίηση ενός ABM συστήματος ποικίλουν. Ο χρήστης λοιπόν, ανάλογα με τη πολυπλοκότητα του προβλήματος που θέλει να μελετήσει και τα σημεία στα οποία θέλει να εστιάσει την έρευνά του, έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μέσα από μια ευρεία γκάμα.

Εμείς επιλέξαμε το NetLogo για να αναπτύξουμε και να μελετήσουμε το μοντέλο μας. Το NetLogo σχεδιάστηκε από τον Uri Wilensky στο πνεύμα της γλώσσας προγραμματισμού «Logo», και απευθύνεται σε ένα ευρύ φάσμα εκπαιδευτικών πλαισίων, από διδασκαλία στην εκπαιδευτική κοινότητα έως σε επιστημονικές έρευνες και μεταπτυχιακά προγράμματα. Το περιβάλλον του επιτρέπει την εξερεύνηση αναδυόμενων φαινομένων αλλά προσφέρει και μια μεγάλη βιβλιοθήκη με έτοιμα μοντέλα σε βασικούς τομείς όπως οικονομία, βιολογία, φυσική, χημεία αλλά και ψυχολογία. Σαφώς και δύναται τα συγκεκριμένα μοντέλα να τροποποιηθούν ή και να αναπτυχτούν ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.

Από τα βασικότερα πλεονεκτήματα του NetLogo είναι ότι διατίθεται δωρεάν μαζί με πρόγραμμα εκμάθησης και αναλυτικότερη βιβλιοθήκη στην επίσημη ιστοσελίδα της [16], κάτι που πρακτικά «λύνει» τα χέρια στο κοινό το οποίο δεν κατέχει βασικές γνώσεις προγραμματισμού. Επίσης σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η καρτέλα διεπαφής του προγράμματος που διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό τον χρήστη για την ανάπτυξη του μοντέλου αλλά κυρίως για τη παραμετροποίηση του σε διάφορες παραδοχές του συστήματος που εκτελεί.

2.2. Νέα γενιά καταναλωτών – Prosumers

Οι ριζικές αλλαγές που έχουν επέλθει στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια έχουν οδηγήσει στην ανάγκη της δημιουργίας ενός νέου όρου ο οποίος θα περιγράφει τη νέα γενιά των καταναλωτών. Ως νέα γενιά αναφερόμαστε στους καταναλωτές οι οποίοι εκτός από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας έχουν πλέον τη δυνατότητα και παραγωγής αυτής. Ο όρος που χρησιμοποιείται στη ξένη βιβλιογραφία είναι «prosumer» και προέρχεται από το «prosumption», έναν επιχειρηματικό όρο που σημαίνει παραγωγή από τους καταναλωτές (production by consumers). Αυτοί οι όροι σχεδιάστηκαν το 1980 από τον αμερικανό φουτουριστή Alvin Toffler και έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς ευρέως από πολλούς τεχνολογικούς συγγραφείς. Επειδή η απόπειρα μετάφρασης αυτού του νέου όρου πιθανόν να προκαλέσει σύγχυση, θα χρησιμοποιήσουμε τον όρο «prosumer» ως έχει.

Η Eurelectric [\[9\]](#) ορίζει ως prosumers τους πελάτες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κυρίως για δίκες τους ανάγκες, αλλά μπορούν επίσης να πουλήσουν τυχόν πλεονάζουσα ποσότητα. Μια πρόσφατη ενημέρωση της Υπηρεσίας Ερευνών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου [\[10\]](#) παρέχει έναν ευρύτερο ορισμό για τους «prosumer», όπου επισημαίνεται ότι η αυτοπαραγωγή δεν θεωρείται πάντοτε καθοριστικό χαρακτηριστικό των prosumer. Μια ευρύτερη κατανόηση του όρου αυτού λοιπόν περιλαμβάνει όλους τους καταναλωτές, ακόμη κι αυτούς που έχουν παθητικό ρόλο, δηλαδή μόνο κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, κι αυτό διότι ακόμη και αυτοί συμμετέχουν με τη συμπεριφορά τους στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργώντας κέρδος για τους ίδιους ή για άλλους «παίχτες» της αγοράς. Οι καταναλωτές μπορούν πράγματι να παράγουν κέρδος μέσω των ανταποδοτικών μέτρων που προσφέρει η απόκριση στη ζήτηση από τη πλευρά του καταναλωτή, καθώς η μειωμένη ζήτηση σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές της ημέρας έχει μεγάλη οικονομική αξία για την αγορά.

Παρόλο που ο prosumer είναι συμμετέχων με «προστιθέμενη αξία» στο εξελισσόμενο ενεργειακό σύστημα, έχει πραγματοποιηθεί αρκετά περιορισμένη έρευνα για το θέμα των ρόλων που μπορεί να διαδραματίσει ο εκάστοτε prosumer. Η αναγνώριση των ρόλων και η «ευθυγράμμιση» των προσδοκιών κατά τα πρώτα στάδια της εφαρμογής του έξυπνου δικτύου είναι τα βασικά για την καλύτερη υιοθέτηση της τεχνολογίας όσον αφορά τη λειτουργικότητα, τις διαδικασίες, τα επιχειρηματικά μοντέλα και τις ευκαιρίες καινοτομίας. Προτείνονται τρεις βασικές κατηγορίες ρόλων, που μπορεί ο εκάστοτε prosumer να ενστερνιστεί, στα έξυπνα δίκτυα με βάση την προοπτική για συν-δημιουργία ή στρατηγική για την προώθηση της συνεργασίας με σκοπό την επίτευξη ενός κοινού στόχου [\[11\]](#). Πρόκειται για τον ρόλο του «μηχανικού» ο οποίος εκτιμά τις νέες τεχνολογίες και την καινοτομία, τον ρόλο του «πράσινου χρήστη» ο οποίος ασχολείται με βιώσιμες λύσεις που αφορούν περιβαλλοντικά θέματα και τέλος τον ρόλο του «οικονομολόγου» ο οποίος ενδιαφέρεται για τα οικονομικά οφέλη, την απόδοση, την ποιότητα και την ασφάλεια της ηλεκτρικής ενέργειας που αποτελεί το προϊόν στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Εκτός από τη συμμετοχή τους στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι prosumers μπορούν να συμμετέχουν στη δημιουργία ψηφιακής καινοτομίας όπως ιστότοπους ή και διεπαφές για τους χρήστες, καθώς επίσης και φορητές συσκευές και εφαρμογές για τους χρήστες. Με αυτό το τρόπο θα παρέχεται η δυνατότητα παρακολούθησης αλλά και ανάλυσης δεδομένων που σχετίζονται με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας σε όλους τους χρήστες.

Η νέα γενιά καταναλωτών, ως ένας ενεργός «παίχτης» της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να εξελιχθεί ακόμη περισσότερο. Με τη βοήθεια πλέον και της νομοθεσίας δίνεται η δυνατότητα σε ένα σύνολο από prosumer να δημιουργήσουν τη δίκη τους ομάδα ή αλλιώς κοινότητα, κι αυτό να έχει ως αποτέλεσμα έναν prosumer με ακόμη μεγαλύτερο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο. Οι λεγόμενες ενεργειακές κοινότητες αποτελούν το επόμενο στάδιο των prosumer και τον νέο «παίχτη» της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας [\[19\]](#).

Ένα σύνολο από prosumers που πωλούν συλλογικά ενέργεια στο δίκτυο είναι μια πιο αποτελεσματική και αξιόπιστη λύση στη παροχή βιώσιμης ενέργειας απ' ό,τι θα μπορούσε να είναι ένας prosumer που ενεργεί ως μεμονωμένη οντότητα [\[11\]](#). Εκτός από το γεγονός ότι ένας prosumer από μόνος του αποτελεί έναν πολύ μικρό ανταγωνιστή των κοινών παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και η παραγωγική του ικανότητα δεν μπορεί να προβλεφθεί ορθά λόγω της άμεσης εξάρτησης από τις κλιματολογικές συνθήκες.

Οι παραπάνω προκλήσεις στην αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία έφεραν στο προσκήνιο τις ενεργειακές κοινότητες, στις οποίες οι prosumers θα αλληλεπιδρούν με άλλους prosumers μέσω έξυπνου δικτύου με απώτερο σκοπό το κοινό όφελος. Οι «βέλτιστες» ενεργειακές κοινότητες θα μπορούν να προσφέρουν μια σειρά από κοινωνικοοικονομικά οφέλη όπως η ενίσχυση της διαπραγματευτικής ικανότητας τους, η επίτευξη μεγαλύτερης βιωσιμότητας της κοινότητας, η μείωση του κόστους μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η μείωση των ενεργειακών απωλειών. Ωστόσο πρόκληση επίσης αποτελεί και η συνεργασία των prosumers για τη δημιουργία αλλά και για την επίτευξη μιας μακροπρόθεσμης βιώσιμης ενεργειακής κοινότητας [\[12\]](#).

Συνεπώς κρίνουμε ότι θα ήταν αρκετά χρήσιμο να μελετήσουμε τους prosumers αναφορικά με τα χαρακτηρίστηκα τους αλλά και τη συμπεριφορά τους βάσει αυτών, ώστε να εξάγουμε συμπεράσματα τα οποία θα μας βοηθούσαν να δημιουργούμε όσο το δυνατόν πιο ομοιογενείς ενεργειακές κοινότητες.

2.3. Αρχιτεκτονική του μοντέλου

Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, η μοντελοποίηση με σύστημα πρακτόρων είναι ένα κατάλληλο εργαλείο για την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας των κοινωνικοτεχνικών προβλημάτων όπου ο άνθρωπος αλληλεπιδρά με ένα τεχνικό σύστημα. Στο ABM αντικατοπτρίζεται καλύτερα η πολυπλοκότητα των κοινωνικοτεχνικών συστημάτων από τις συνήθεις προσεγγίσεις της τεχνοοικονομικής μοντελοποίησης. Συνεπώς το ABM μπορεί να θεωρηθεί ως ένα «εικονικό εργαστήριο» για τη προσομοίωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ μεγάλου αριθμού ανθρώπων και μη ανθρωπίνων παραγόντων που παρέχουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά μοντέλα προσομοίωσης.

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε τη βασική δομή του μοντέλου μας, το οποίο προσομοιώνει καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι το μοντέλο μας στοχεύει κυρίως στη διερεύνηση της συμπεριφοράς των καταναλωτών ή prosumers όταν εκείνοι έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν ανάμεσα σε διαφορετικού τύπου συμβόλαια, τα οποία αντικατοπτρίζουν διαφορετικά επίπεδα τεχνολογικής ανάπτυξης.

Η διερεύνηση αυτή θα μας βοηθήσει επίσης να καταγράψουμε τη συμπεριφορά των καταναλωτών αναφορικά με τα επίπεδα ικανοποίησης τους από το συμβόλαιο που επέλεξαν, τους ρυθμούς μεταβολής των συμβολαίων στις περιπτώσεις δυσαρέσκειας των καταναλωτών, αλλά και το αντίκτυπο που έχει η αλληλεπίδραση των καταναλωτών με τους γειτονικούς καταναλωτές και τα κοινωνικά δίκτυα που δημιουργούνται σε μια κοινωνία.

Η βασική ιδέα είναι να μοντελοποιηθεί σε ένα εικονικό περιβάλλον ο καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας ο οποίος, ενώ ενεργεί σε ένα πλαίσιο τεχνολογίας έξυπνου δικτύου, συμπεριφέρεται και αλληλεπιδρά με άλλους παράγοντες σε οικιακό, κοινοτικό και κοινωνικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, οι Zhang και Nuttall [6], έχουν αναπτύξει ένα μοντέλο που βασίζεται σε πράκτορες ενός παιχνιδιού αγοράς που περιλαμβάνει οικιακούς καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας και προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο σκοπός του μοντέλου τους είναι να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα της πολιτικής του Ηνωμένου Βασιλείου για την προώθηση της τεχνολογίας έξυπνης μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας στη λιανική αγορά της χώρας.

Η θεωρία της προγραμματισμένης συμπεριφοράς (Theory of Planned Behavior) [13] έχει επιλεγεί για να διαμορφώσει τη συμπεριφορά των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή των πρακτόρων του μοντέλου μας. Η θεωρία αυτή έχει επιλεγεί διότι δίνει έμφαση σε ψυχολογικούς παράγοντες όπως η διάθεση (attitude), σε κοινωνιολογικούς παράγοντες όπως οι κανόνες που διέπουν μια κοινωνία, αλλά και σε περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η επεξεργασία όλων των παραπάνω παραγόντων χρησιμεύει κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων των καταναλωτών του μοντέλου.

Το μοντέλο αποτελείται από έναν αριθμό πρακτόρων, δηλαδή καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, και ένα χαρτοφυλάκιο συμβολαίων που προσφέρονται από τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας. Βασικά χαρακτηριστικά των πρακτόρων είναι ο τύπος χαρακτήρα ή προσωπικότητα (archetype), η διάθεση (attitude) και οι ανησυχίες (concerns). Τα συμβόλαια χαρακτηρίζονται από τις παροχές που προσφέρουν στον καταναλωτή και τη χρονική διάρκεια ισχύος.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό ο καταναλωτής – πράκτορας αποτελεί τη κεντρική οντότητα του μοντέλου και αντιπροσωπεύει μεμονωμένα νοικοκυριά. Κάθε καταναλωτής έχει προσωπικούς στόχους και προτιμήσεις τα οποία καθορίζονται από τις δίκες του «προσωπικές αξίες». Όπως παρουσιάζει ο Steg στα κείμενα του [\[14, 15\]](#), οι αξίες αυτές διαχωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες, τις αξίες αυτοβελτίωσης και τις αξίες κοινωνικής βελτίωσης. Οι αξίες της αυτοβελτίωσης αντικατοπτρίζουν βασικές ανησυχίες κάποιου που έχουν να κάνουν με το ατομικό συμφέρον και την εξέλιξη του, αυτές θα μπορούσαμε να τις ονομάσουμε εγωιστικές (egoistic) και ηδονιστικές (hedonistic). Από την άλλη πλευρά οι αξίες κοινωνικής βελτίωσης αντικατοπτρίζουν ανησυχίες που έχουν να κάνουν με το συλλογικό ενδιαφέρον και τη κοινωνική ευημερία, αυτές θα μπορούσαμε να τις ονομάσουμε βιοσφαιρικές (biospheric) και αλτρουιστικές (altruistic). Αυτές οι αξίες χαρακτηρίζουν τους συντελεστές βαρύτητας των πρακτόρων (w_e, w_h, w_b, w_a) και περιγράφουν την σχέση του εκάστοτε πράκτορα αναφορικά με τα 4 βασικά κριτήρια του μοντέλου μας, τα οποία είναι :

- Εξοικονόμηση (Financial Savings) – Σχετίζεται με τις εγωιστικές αξίες
- Άνεση διαβίωσης (Comfort) – Σχετίζεται με τις ηδονιστικές αξίες
- Μείωση εκπομπών αέριων ρύπων (CO_2 emissions savings) – Σχετίζεται με τις βιοσφαιρικές αξίες
- Κοινωνική ευημερία (social welfare) – Σχετίζεται με τις αλτρουιστικές αξίες

Οι συντελεστές βαρύτητας κατανέμονται τυχαία σε κάθε πράκτορα λαμβάνοντας τιμές από 0 έως 1, όπου ο υψηλότερος συντελεστής βάρους προσδιορίζει τον τύπο χαρακτήρα ή προσωπικότητα (archetype) του εκάστοτε πράκτορα [\[18\]](#). Στη συνέχεια οι συντελεστές βαρύτητας κανονικοποιούνται έτσι ώστε το άθροισμα όλων των συντελεστών να ισούται με 1. Οι ίδιες αξίες που αναφέραμε παραπάνω χαρακτηρίζουν επίσης τους τύπους συμβολαίου που προσφέρονται στους καταναλωτές και χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των συμβολαίων.

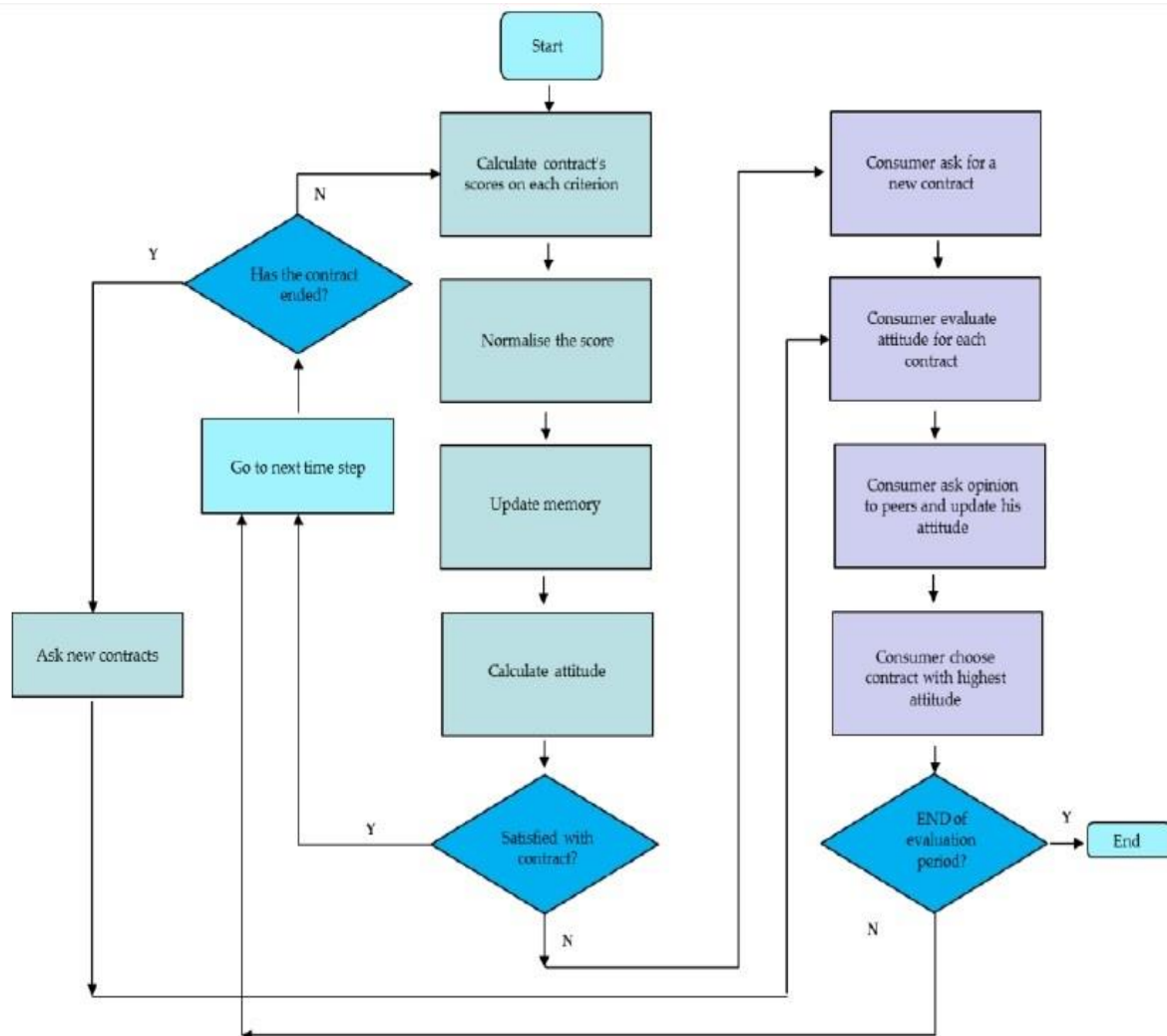
Σε κάθε χρονική περίοδο ο πράκτορας έχει ένα συγκεκριμένο συμβόλαιο και βάση της εμπειρίας που αποκομίζει από αυτό σχηματίζει μια γνώμη, η οποία αντικατοπτρίζεται από τη διάθεση (attitude) που αναπτύσσει. Επιπλέον ο κάθε πράκτορας απομνημονεύει την συνολική εμπειρία που έχει αποκομίσει από όλους τους τύπους συμβολαίων που έχει επιλέξει και μεταδίδει αυτή τη πληροφορία στους γειτονικούς πράκτορες, επηρεάζοντας ενδεχομένως τις αποφάσεις τους.

Όταν κάποιος πράκτορας δεν είναι ικανοποιημένος με το τρέχον συμβόλαιο, έχει τη δυνατότητα να επιλέξει κάποιο άλλο χωρίς καμία επίπτωση. Το επίπεδο ικανοποίησης ή διάθεση (attitude), όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω, του κάθε πράκτορα συγκρίνεται με τη μεταβλητή «κατώφλι ικανοποίησης» (attitude-threshold) την οποία ορίζουμε εμείς. Για όσες χρονικές περιόδους το επίπεδο ικανοποίησης του πράκτορα παραμένει μεγαλύτερο από το κατώφλι ικανοποίησης ο πράκτορας συνεχίζει με τον τρέχον συμβόλαιο, εκτός κι αν επέλθει η λήξη της χρονικής διάρκειας του συμβολαίου όπου και θα μπει σε διαδικασία αξιολόγησης και επιλογής νέου συμβολαίου.

Επομένως για να εισέλθει κάποιος πράκτορας σε διαδικασία επιλογής νέου συμβολαίου θα πρέπει είτε να έχει επέλθει η λήξη της χρονικής διάρκειας του προηγούμενου συμβολαίου, είτε το επίπεδο ικανοποίησης να μειώθηκε κάτω από το κατώφλι ικανοποίησης. Σε οποιαδήποτε από τις 2 περιπτώσεις ο πράκτορας ζητεί από τους προμηθευτές νέα συμβόλαια και εκτελεί την αξιολόγηση.

Σε περίπτωση που ο πράκτορας ήταν ικανοποιημένος από το προηγούμενο συμβόλαιο αυτό παραμένει μέσα στο νέο χαρτοφυλάκιο συμβολαίων προς αξιολόγηση, σε αντίθετη περίπτωση εξαιρείται.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του μοντέλου μας όπως χρησιμοποιήθηκε και από την Mengolini [\[13\]](#).



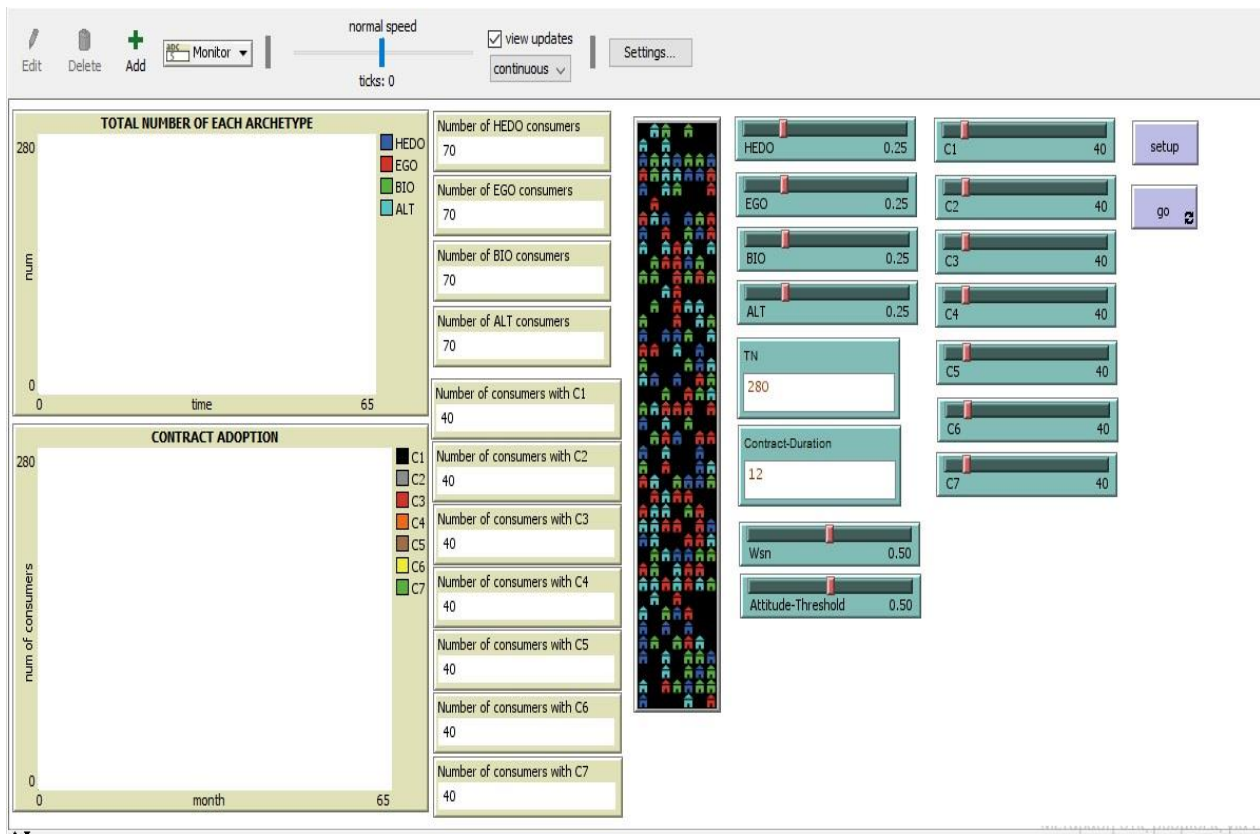
Εικόνα 2. 1 – Διάγραμμα ροής μοντέλου

3.1. Εισαγωγή στη προσομοίωση

Σκοπός μας σε αυτό το κεφάλαιο είναι να παρουσιάσουμε δυο διαφορετικά σενάρια τα οποία εν συνεχεία θα προσομοιώσουμε μέσω του NetLogo και θα σχολιάσουμε τα αποτελέσματα.

Η βασική ιδέα είναι αφού δημιουργήσουμε τους πράκτορες, οι οποίοι στη προκειμένη περίπτωση είναι οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, να τους διαχωρίσουμε με βάση τον τύπο τους και το είδος συμβολαίου που επιθυμούν να συνάψουν με τον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης ο καταναλωτής αξιολογεί το συμβόλαιο του βάσει της εμπειρίας που αποκομίζει και καλείται να αποφασίσει αν θα συνεχίσει με το ίδιο ή αν θα επιλέξει κάποιο άλλο.

Η συνολική διάρκεια της προσομοίωσης είναι $t=60$, δηλαδή 5 χρόνια καθώς κάθε t αντιστοιχεί σε έναν μήνα, και ο κάθε καταναλωτής συνάπτει συμβόλαιο διάρκειας 12 μηνών με τον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας. Χάρη στην μεταβλητή «Attitude-Threshold» ο καταναλωτής έχει τη δυνατότητα να αλλάξει συμβόλαιο πριν το πέρας των 12 μηνών σε περίπτωση που είναι δυσαρεστημένος από αυτό που έχει επιλέξει, σε διαφορετική περίπτωση μετά τους 12 μήνες θα επανεξετάσει τα προτεινόμενα συμβόλαια και θα επιλέξει το ελκυστικότερο με βάση την εμπειρία που έχει αποκτήσει.



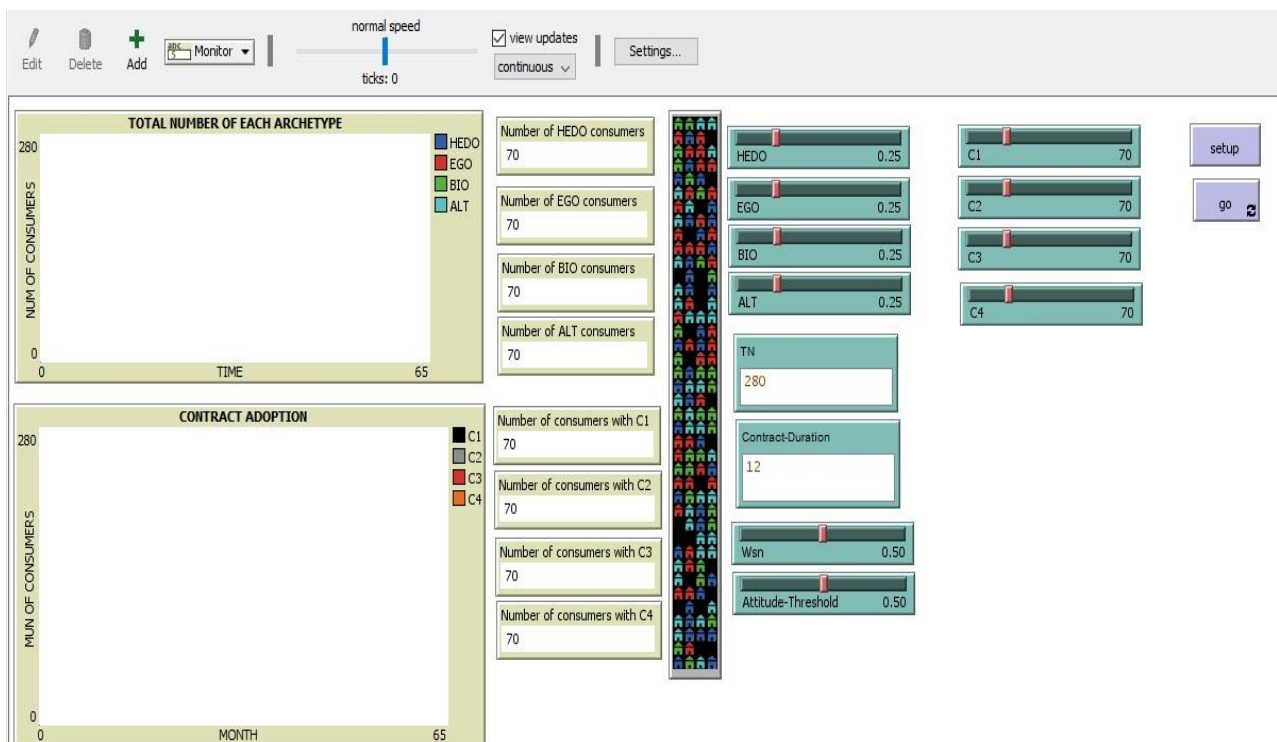
Εικόνα 3. 1 – NetLogo interface scenario 1

Οι καταναλωτές, οι οποίοι στο σύνολο τους θα είναι 280, διαχωρίζονται σε 4 διαφορετικούς τύπους-χαρακτήρες (εγωιστικός – EGOistic, ηδονιστικός – HEDOnistic, βιοσφαιρικός – BIOspheric, αλτρουιστικός – ALTruistic) . Με αυτό το τρόπο προσπαθούμε να προσεγγίσουμε τις βασικότερες κοινωνικές ομάδες στις οποίες εντάσσονται οι άνθρωποι με βάση τις προσωπικές τους πεποιθήσεις. Έχουμε τη δυνατότητα να προκαθορίσουμε την αρχική (t=0) κατανομή των καταναλωτών, ισόποσα ή μη, ανάλογα με το σενάριο που θέλουμε να προσομοιώσουμε. Σημειώνεται πως ο τύπος κάθε καταναλωτή δύναται να αλλάξει κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης με βάση την εμπειρία που αποκτά σε κάθε χρονική στιγμή και του συμβολαίου που έχει επιλέξει.

Ακόμη μια σημαντική μεταβλητή είναι η «Wsn» καθώς αυτή καθορίζει το κατά πόσο θα επηρεάζεται η γνώμη του καταναλωτή από τις επιλογές των γειτόνων του κατά την επιλογή νέου συμβολαίου. Όσο ο συντελεστής θα πλησιάζει τη μονάδα τόσο μεγαλύτερη θα είναι η επιρροή.

Στο πρώτο σενάριο που θα προσομοιώσουμε εισάγουμε ως βασικό μηχανισμό το σύστημα έξυπνου μετρητή όπου με τη βοήθεια του θα μπορεί ο προμηθευτής να εφαρμόσει προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση. Ο καταναλωτής καλείται να επιλέξει μέσα από 7 διαφορετικά συμβόλαια τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τα δικαιώματα που παραχωρεί ο καταναλωτής στον προμηθευτή. Τα δικαιώματα αυτά σχετίζονται με τα δεδομένα χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας του καταναλωτή αλλά και με μηχανισμούς απόκρισης στη ζήτηση. Τα εν λόγω συμβόλαια θα παρουσιαστούν στην επομένη ενότητα αναλυτικά μαζί με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Στο δεύτερο σενάριο θα προσπαθήσουμε να προσομοιώσουμε ένα πιο ρεαλιστικό σενάριο ως προς τα ελληνικά δεδομένα. Χρησιμοποιώντας και πάλι ως βασικό μηχανισμό το σύστημα έξυπνου μετρητή αλλά δίνοντας αυτή τη φορά 4 αντί για 7 επιλογές συμβολαίων στον καταναλωτή. Οι επιλογές αυτές πλέον θα αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς προμηθευτές όπου η βασική τους διαφορά θα είναι το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας συσχετιζόμενο με τη χρήση έξυπνων μετρητών και προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση.



Εικόνα 3. 2 – NetLogo interface scenario 2

3.2. Προσομοίωση σεναρίου 1

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω βασικός μηχανισμός αυτού του σεναρίου αποτελεί το σύστημα των έξυπνων μετρητών με τη βοήθεια των οποίων ο προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας προτείνει 7 διαφορετικούς τύπους συμβολαίων στον καταναλωτή. Αναλυτικά αυτοί οι 7 τύποι είναι :

- **C1** – Αυτό το συμβόλαιο παρέχει μόνο έμμεση ανάδραση των δεδομένων ηλεκτρικής κατανάλωσης μια φορά στο τέλος κάθε χρόνου για δημιουργία ιστορικού δεδομένων.
- **C2** – Αυτό το συμβόλαιο παρέχει μόνο έμμεση ανάδραση των δεδομένων ηλεκτρικής κατανάλωσης μια φορά κάθε 2 μήνες για δημιουργία ιστορικού δεδομένων και χρεωστικού λογαριασμού.
- **C3** – Αυτό το συμβόλαιο παρέχει μόνο έμμεση ανάδραση των δεδομένων ηλεκτρικής κατανάλωσης μια φορά κάθε μήνα για δημιουργία ιστορικού δεδομένων και χρεωστικού λογαριασμού.
- **C4** – Αυτό το συμβόλαιο παρέχει άμεση ανάδραση προβάλλοντας σε οθόνες εντός της οικίας του καταναλωτή τα δεδομένα της καταναλισκόμενης ενέργειας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Ο καταναλωτής θα έχει το δικαίωμα να επιλέξει εάν θα μοιράζεται αυτά τα δεδομένα με τον προμηθευτή ή τον διαχειριστή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.
- **C5** – Αυτό το συμβόλαιο παρέχει άμεση ανάδραση με προγράμματα Time of Use (ToU)/Real Time Pricing (RTP), όπου παρέχεται λεπτομερή ανάλυση της καταναλισκόμενης ενέργειας και δυνατότητα μηχανισμών τιμολόγησης ανάλογα με το προφίλ κατανάλωσης του καταναλωτή.
- **C6** – Αυτό το συμβόλαιο παρέχει άμεση ανάδραση μέσω προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση με χρήση συστήματος οικιακού αυτοματισμού, όπου παρέχεται λεπτομερή ανάλυση της καταναλισκόμενης ενέργειας και δυνατότητα έλεγχου των οικιακών συσκευών του καταναλωτή από τον προμηθευτή βασιζόμενη στη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας.
- **C7** – Αυτό το συμβόλαιο παρέχει άμεση ανάδραση με χρήση συστήματος οικιακού αυτοματισμού συμπεριλαμβανόμενου μηχανισμών απόκρισης στη ζήτηση και αυτοκατανάλωσης από ΑΠΕ. Παρέχεται λεπτομερή ανάλυση της καταναλισκόμενης ενέργειας και δυνατότητα έλεγχου των οικιακών συσκευών του καταναλωτή από τον προμηθευτή βασιζόμενη στη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, επιπλέον συνυπολογίζεται η παραγόμενη ενέργεια από τον καταναλωτή μέσω ΑΠΕ.

Το παραπάνω συμβόλαιο χαρακτηρίζονται από δείκτες σε 4 βασικά κριτήρια ανάλογα με το τι προσφέρουν στον καταναλωτή, αυτά είναι :

- Εξοικονόμηση (Financial Savings)
- Άνεση διαβίωσης (Comfort)
- Μείωση εκπομπών αέριων ρύπων (CO₂ emissions savings)
- Κοινωνική ευημερία (social welfare)

Κατ' αντιστοιχία των κριτηρίων αυτών, ορίζονται και οι 4 τύποι καταναλωτών που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Με τον δείκτη της εξοικονόμησης οριοθετούμε τα ποσοστιαία περιθώρια κέρδους, από 0% έως 10%, που μπορεί να έχει ο καταναλωτής ανάλογα με το συμβόλαιο που ο ίδιος θα επιλέξει. Με βάση την στατιστική υπηρεσία Eurostat και τα δεδομένα του 2016, η μέση κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη είναι 3600kWh/year ή 300kWh/month, ενώ η μέση τιμή κοστολόγησης 0,208€. Είναι προφανές πως τα συμβόλαια με τη μικρότερη ευελιξία (C1-C3) προσφέρουν και τη μικρότερη εξοικονόμηση.

Ο δείκτης άνεσης διαβίωσης εκφράζει την απόκλιση της θερμοκρασίας του χώρου της οικίας του καταναλωτή από το βέλτιστο των 20°C βάσει ευρωπαϊκών προδιαγραφών. Θεωρούμε ότι ο λόγος για τον οποίο μπορεί μην έχουμε τη βέλτιστη θερμοκρασία στο χώρο μας αφορά τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση, συνεπώς στα πρώτα συμβόλαια (C1-C3), που δεν παρέχουν δυνατότητες απόκρισης στη ζήτηση, η απόκλιση είναι σχεδόν μηδενική. Στα επόμενα συμβόλαια (C4-C7) η θερμοκρασία μειώνεται κλιμακωτά έως και τους 17°C (C7).

Ο δείκτης μείωσης των εκπομπών αέριων ρύπων εκφράζεται σε τόνους (t) και σχετίζεται με τα συνολικά επίπεδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θεωρούμε συνεπώς πως όσο περισσότερα δικαιώματα σε προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση παραχωρεί ο καταναλωτής στον προμηθευτή τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η μείωση των εκπομπών καθώς σκοπός του προμηθευτή και του διαχειριστή του συστήματος είναι να μειώνει τη κατανάλωση σε περιόδους αιχμής ώστε να μη χρειαστεί να ενεργοποιήσει μονάδες ταχείας απόκρισης που υπάρχουν ως εφεδρεία.

Τέλος, ο δείκτης της κοινωνικής ευημερίας συνδέεται με την ασφάλεια ή αλλιώς ευστάθεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Θεωρούμε λοιπόν σε αυτό το σημείο πως επιλέγοντας ο καταναλωτής συμβόλαιο με προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση δίνει τη δυνατότητα στον προμηθευτή ή τον διαχειριστή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας να μειώσει τις καταναλώσεις σε περιπτώσεις αιχμών ή σφαλμάτων του δικτύου. Αυτό αποτελεί κοινό όφελος όλων των καταναλωτών, συνεπώς και της κοινωνίας, αφού θα αποφεύγονται διακοπές ηλεκτροδότησης.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι δείκτες των βασικών κριτηρίων για καθένα από τα συμβόλαια που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Κριτήρια Συμβόλαια	Εξοικονόμηση (€)	Άνεση Διαβίωσης (%)	Μείωση Εκπομπών CO ₂ (t)	Κοινωνική Ευημερία (%)	Διάρκεια Συμβολαίου (Months)
C1	0 – 0,1	0 – 0,1	0 – 1	0 – 5	12
C2	0,54 – 0,66	0 – 0,1	1 – 3	0 – 5	12
C3	0,54 – 0,66	0 – 0,1	1 – 3	0 – 5	12
C4	1,08 – 1,32	-6 – -4	3 – 5	5 – 10	12
C5	2,2 – 2,6	-12 – -8	6 – 8	5 – 10	12
C6	3,2 – 4	-12 – -8	10 – 12	10 – 20	12
C7	5 – 7	-17 – -13	14 – 20	20 – 30	12

Πίνακας 3. 1 – Παράμετροι μοντέλου NetLogo για τα 7 συμβόλαια

Η μεταβλητή «Wsn», η επιρροή των γειτόνων προς τον εκάστοτε καταναλωτή, θα λάβει τιμές 0, 0.5, και 1. Συνεπώς θα παρουσιαστούν αναλυτικά αποτελέσματα για κάθε παραλλαγή του σεναρίου.

Σημειώνεται πως στις προσομοιώσεις μας η μεταβλητή «Attitude-Threshold» θα έχει σταθερή τιμή 0.5, καθώς θεωρούμε δίκαιο να ορίσουμε ως κατώφλι ικανοποίησης του καταναλωτή τη μέση τιμή της μεταβλητής αυτής. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως εάν το «Attitude» του εκάστοτε καταναλωτή λάβει μικρότερες τιμές του «Attitude-Threshold», εκείνος θα καλείται να επιλέξει κάποιο άλλο συμβόλαιο ανεξάρτητα από το αν έχει παρέλθει η συνολική διάρκεια του συμβολαίου που ήδη έχει καθώς δεν είναι πλέον ικανοποιημένος με αυτό.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι για κάθε παραλλαγή του σεναρίου θα πραγματοποιούνται 10 διαφορετικές επαναλήψεις για λόγους πιστότητας των αποτελεσμάτων και θα παρουσιάζεται ο μέσος όρος των τιμών όλων των επαναλήψεων .

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα βασικά εργαλεία της προσομοίωσης τα οποία αποτελούν και σημεία που επιδέχονται τροποποιήσεις για διάφορες παραλλαγές του σεναρίου. Στο σημείο A, απεικονίζεται ο εικονικός «κόσμος» που έχουμε κατασκευάσει και εντός αυτού οι 280 καταναλωτές που έχουμε εισαγάγει στο πεδίο TN – Total Number(σημείο D). Στα πεδία της περιοχής C, γίνεται η ποσοστιαία κατανομή του συνόλου των καταναλωτών στους τύπους – χαρακτήρες που έχουμε ήδη αναφέρει παραπάνω. Σε κάθε τύπο καταναλωτή αντιστοιχεί και διαφορετικό χρώμα, HEDO – μπλε, EGO – κόκκινο, BIO – πράσινο, ALT – γαλάζιο. Στα πεδία της περιοχής B γίνεται η κατανομή του συνόλου των καταναλωτών στα επιμέρους συμβόλαια που προτείνει ο προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας. Σημειώνεται πως κάθε κάθετη στήλη του εικονικού κόσμου (7 στο σύνολο) απεικονίζει τους καταναλωτές κάθε τύπου συμβολαίου, επίσης η διάρκεια των συμβολαίων ορίζεται στο πεδίο «Contract-Duration» (περιοχή D). Στα πεδία της περιοχής E ρυθμίζουμε τις τιμές των μεταβλητών «Wsn» και «Attitude-Threshold», ανάλογα με τη παραλλαγή του σεναρίου που θέλουμε να προσομοιώσουμε. Τέλος στα πεδία της περιοχής F απεικονίζονται μετρητές οι οποίοι μας δίνουν ανά πάσα χρονική στιγμή την αριθμητική κατανομή των καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα αλλά και ανά συμβόλαιο που έχουν επιλέξει.

The screenshot displays the simulation interface with the following components:

- Left Panel (Input Fields):**
 - Number of HEDO consumers: 70
 - Number of EGO consumers: 70
 - Number of BIO consumers: 70
 - Number of ALT consumers: 70
 - Number of consumers with C1: 40
 - Number of consumers with C2: 40
 - Number of consumers with C3: 40
 - Number of consumers with C4: 40
 - Number of consumers with C5: 40
 - Number of consumers with C6: 40
 - Number of consumers with C7: 40
- Center Panel (Visual Representation):** A vertical column of small, colorful icons representing the simulated world.
- Right Panel (Sliders and Fields):**
 - HEDO: 0.25
 - EGO: 0.25
 - BIO: 0.25
 - ALT: 0.25
 - TN: 280
 - Contract-Duration: 12
 - Wsn: 1.00
 - Attitude-Threshold: 0.50
 - C1: 40
 - C2: 40
 - C3: 40
 - C4: 40
 - C5: 40
 - C6: 40
 - C7: 40
- Buttons:** 'setup' and 'go' buttons are located on the far right.

Εικόνα 3. 3 – Επεξήγηση του σεναρίου 1 όπως εμφανίζεται στην οθόνη επαφής του μοντέλου

Εξίσου σημαντικό είναι και το σύνολο των γειτόνων που ασκούν επιρροή στον εκάστοτε καταναλωτή κατά τη φάση επιλογής νέου συμβολαίου. Αυτός ο αριθμός δεν δύναται να τροποποιηθεί από την οθόνη διεπαφής (interface) παρά μόνο από τον κώδικα της προσομοίωσης. Στο μοντέλο που παρουσιάζουμε έχουμε επιλέξει ένα σύνολο 10 γειτόνων, αποτελούμενο από 5 του ίδιου τύπου – χαρακτήρα καταναλωτή κι ακόμη 5 τυχαίας επιλογής εκ των άλλων τύπων – χαρακτήρων.

Εκτελώντας τη προσομοίωση του σεναρίου για $W_{sn}=0$ είχαμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

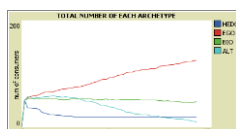


Εικόνα 3. 5 – $t=0$



Εικόνα 3. 4 – $t=60$

Παρατηρούμε ότι όταν δεν λαμβάνεται υπόψη η επιρροή των γειτόνων, σε βάθος 5ετίας, οι καταναλωτές φαίνεται να επιλέγουν τους δυο «ακραίους πόλους» των συμβολαίων. Αυτό πρακτικά δείχνει από τους μεν πλήρη αποδοχή των προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση, και από τους δε πλήρη απόρριψη των ίδιων προγραμμάτων.



Εικόνα 3. 6 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσει του χρόνου



Εικόνα 3. 7 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσει του χρόνου

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των καταναλωτών απορρίπτει τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση αφού σχεδόν το 93% αυτών επιλέγει το συμβόλαιο C1.

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζουμε τη κατανομή των καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα και ανά τύπο συμβολαίου έπειτα από 10 επαναλήψεις της προσομοίωσης.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
260	0	0	0	0	0	20

Πίνακας 3. 2 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου

HEDO	EGO	BIO	ALT
20 (7%)	179 (64%)	72 (26%)	9 (3%)

Πίνακας 3. 3 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα

Από την κατανομή βάσει τύπου – χαρακτήρα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλωτών, σχεδόν 64% (EGO) έχει ως βασικό κριτήριο επιλογής το οικονομικό του συμφέρον. Ενώ στη δεύτερη θέση, με σχεδόν 26% (BIO), έρχεται το κριτήριο που σχετίζεται με τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Σχεδόν αμελητέα τα ποσοστά των καταναλωτών που επέλεξαν συμβόλαια με βασικό κριτήριο την άνεση διαβίωσης ή το συνολικά κοινωνικό συμφέρον.

Στη συνέχεια εκτελέσαμε τη προσομοίωση του σεναρίου για $W_{sn}=0,5$ και είχαμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

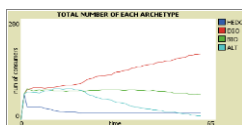


Εικόνα 3. 9 – $t=0$



Εικόνα 3. 8 – $t=60$

Εδώ παρατηρούμε ότι παρόλο που πλέον η επιρροή των γειτόνων λαμβάνεται ως ένα βαθμό υπόψη, σε βάθος 5ετίας, οι καταναλωτές φαίνεται εκ νέου να επιλέγουν τους δυο «ακραίους πόλους» των συμβολαίων. Συνεπώς έχουμε ξανά πλήρη αποδοχή ή πλήρη απόρριψη των προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση.



Εικόνα 3. 10 – Κατανομή καταναλωτών βάσει τύπου – χαρακτήρα συναρτήσεως του χρόνου



Εικόνα 3. 11 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσεως του χρόνου

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των καταναλωτών απορρίπτει τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση αφού σχεδόν το 93% αυτών επιλέγει το συμβόλαιο C1.

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζουμε τη κατανομή των καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα και ανά τύπο συμβολαίου έπειτα από 10 επαναλήψεις της προσομοίωσης.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
259	0	0	0	0	0	21

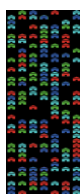
Πίνακας 3. 4 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου

HEDO	EGO	BIO	ALT
21 (7,5%)	173 (62%)	76 (27%)	10 (3,5%)

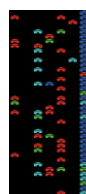
Πίνακας 3. 5 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα

Από την κατανομή βάσει τύπου – χαρακτήρα παρατηρούμε παρόμοια αποτελέσματα με την προηγούμενη εκδοχή. Το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλωτών, σχεδόν 62% (EGO) έχει ως βασικό κριτήριο επιλογής το οικονομικό του συμφέρον. Ενώ στη δεύτερη θέση, με σχεδόν 27% (BIO), έρχεται το κριτήριο που σχετίζεται με τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Σχεδόν αμελητέα τα ποσοστά των καταναλωτών που επέλεξαν συμβόλαια με βασικό κριτήριο την άνεση διαβίωσης ή το συνολικά κοινωνικό συμφέρον.

Στη συνέχεια εκτελέσαμε τη προσομοίωση του σεναρίου για $W_{sn}=1$ και είχαμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

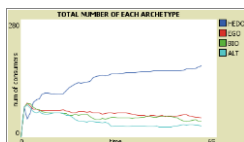


Εικόνα 3. 12 – $t=0$

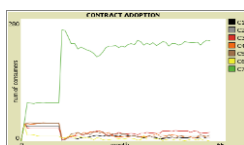


Εικόνα 3. 13 – $t=60$

Παρατηρούμε σε αυτή την εκδοχή όπου η επιρροή των γειτόνων λαμβάνει τη μέγιστη τιμή, σε βάθος 5ετίας, οι καταναλωτές φαίνεται να απορρίπτουν πλέον συμβόλαια χωρίς προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση. Αντιθέτως επιλέγουν συμβόλαια που αποδέχονται μερικώς ή πλήρως τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση



Εικόνα 3. 14 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσεως του χρόνου



Εικόνα 3. 15 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσεως του χρόνου

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των καταναλωτών αποδέχεται πλέον τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση αφού σχεδόν το 80% αυτών επιλέγει το συμβόλαιο C7.

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζουμε τη κατανομή των καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα και ανά τύπο συμβολαίου έπειτα από 10 επαναλήψεις της προσομοίωσης.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
8	0	24	8	11	4	225

Πίνακας 3. 6 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου

HEDO	EGO	BIO	ALT
171 (61%)	46 (17%)	31 (11%)	32 (11%)

Πίνακας 3. 7 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα

Από την κατανομή βάσει τύπου – χαρακτήρα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλωτών, σχεδόν 61% (HEDO) έχει ως βασικό κριτήριο επιλογής την άνεση διαβίωσης του. Ενώ τα υπόλοιπα 3 κριτήρια μοιράζονται σχεδόν ισόποσα, με το κριτήριο του οικονομικού συμφέροντος (EGO) να προηγείται ελαφρώς με 17% έναντι 11% των άλλων 2.

3.3. Προσομοίωση σεναρίου 2

Σε αυτό το σενάριο θα προσπαθήσουμε να έρθουμε πιο κοντά στα ελληνικά δεδομένα. Χρησιμοποιώντας και πάλι ως βασικό μηχανισμό το σύστημα έξυπνου μετρητή αλλά δίνοντας αυτή τη φορά 4 αντί για 7 επιλογές συμβολαίων στον καταναλωτή. Οι επιλογές αυτές πλέον θα αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς προμηθευτές (παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας) όπου η βασική τους διαφορά θα είναι το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας συσχετιζόμενο με τη χρήση προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση. Αναλυτικά οι 4 προμηθευτές και τα συμβόλαια τους είναι :

- **C1** (ΔΕΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ) – Αυτός ο προμηθευτής κοστολογεί με τη βασική (ακριβότερη) τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και παρέχει μόνο έμμεση ανάδραση των δεδομένων ηλεκτρικής κατανάλωσης μια φορά κάθε 4 μήνες για δημιουργία ιστορικού δεδομένων και χρεωστικού λογαριασμού.
- **C2** (ΔΕΗ ΜΕ ΝΥΧΤΕΡΙΝΟ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ) – Αυτός ο προμηθευτής προσφέρει έκπτωση επί της βασικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω προγραμμάτων Time of Use (ToU), δηλαδή καθορισμού χρονικών ζωνών επί του 24ωρου με διαφορετική κοστολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας.
- **C3** (ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗΣ Α) – Αυτός ο προμηθευτής προσφέρει μια αρχική έκπτωση 20% επί της βασικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και περεταίρω έκπτωση μέσω προγραμμένων απόκρισης στη ζήτηση από τη πλευρά του καταναλωτή σε περίπτωση που εκείνος ανταποκριθεί σε σήματα μείωσης της κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο.
- **C4** (ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗΣ Β) – Αυτός ο προμηθευτής προσφέρει μια έκπτωση 35% επί της βασικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση με χρήση συστήματος οικιακού αυτοματισμού, ο καταναλωτής δηλαδή παραχωρεί πλήρη έλεγχο των καταναλώσεων του στον προμηθευτή ή διαχειριστή του συστήματος.

Οι παραπάνω προμηθευτές και τα συμβόλαια τους χαρακτηρίζονται από τα ίδια 4 βασικά κριτήρια της προσομοίωσης του σεναρίου 1 αλλά με τροποποιημένη οριοθέτηση των δεικτών, όπως αυτή παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Κριτήρια Συμβόλαια	Εξοικονόμηση (€)	Άνεση Διαβίωσης (%)	Μείωση Εκπομπών CO ₂ (t)	Κοινωνική Ευημερία (%)	Διάρκεια Συμβολαίου (Months)
C1	0 – 0,1	0 – 0,1	0 – 1	0 – 10	12
C2	2 – 4	-3 – -1	1 – 5	10 – 40	12
C3	5 – 7	-3 – -1	1 – 5	10 – 40	12
C4	7 – 10	-8 – -5	1 – 5	10 – 40	12

Πίνακας 3. 8 – Παράμετροι μοντέλου NetLogo για τα 4 συμβόλαια

Στην νέα οριοθέτηση των δεικτών δίνουμε μεγαλύτερη βαρύτητα στην εξοικονόμηση, που συνδέεται με το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κάθε προμηθευτή και μικρότερη στην άνεση διαβίωσης λόγω των προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση. Διατηρούμε σχεδόν ίδιους τους δείκτες μείωσης εκπομπών CO₂ και κοινωνικής ευημερίας διότι η πλειοψηφία των καταναλωτών στη χώρα μας θα εστιάσει κυρίως στην έκπτωση που προσφέρει ο εκάστοτε προμηθευτής.

Σημειώνεται πως στο βασικό σκέλος των προσομοιώσεων αυτού του σεναρίου η μεταβλητή «Attitude-Threshold» θα έχει σταθερή τιμή «0.5», καθώς θεωρούμε δίκαιο να ορίσουμε ως κατώφλι ικανοποίησης του καταναλωτή τη μέση τιμή της μεταβλητής αυτής. Επίσης στο βασικό σκέλος των προσομοιώσεων αυτού του σεναρίου σταθερή τιμή «1» θα έχει η μεταβλητή «Wsn», η επιρροή των γειτόνων προς τον εκάστοτε καταναλωτή, καθώς θεωρούμε εξαιρετικά σημαντικό παράγοντα τη «κοινή γνώμη» σε κάθε είδους επιλογής στην ελληνική κοινωνία.

Θα προσομοιώσουμε το σενάριο με 3 διαφορετικές παραλλαγές, τροποποιώντας την αρχική κατανομή ($t=0$) των καταναλωτών ως προς τον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η ιδέα απορρέει από την ελληνική πραγματικότητα και το γεγονός ότι οι περισσότεροι καταναλωτές έχουν τη ΔΕΗ ως προμηθευτή καθώς το άνοιγμα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο στη χώρα μας.

Αφού ολοκληρωθούν οι παραπάνω προσομοιώσεις θα ακολουθήσουν δόκιμες διατηρώντας σταθερή την αρχική κατανομή ($t=0$) των καταναλωτών και τροποποιώντας τις σταθερές «Wsn» και «Attitude-Threshold».

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι για κάθε παραλλαγή του σεναρίου θα πραγματοποιούνται 10 διαφορετικές επαναλήψεις για λόγους πιστότητας των αποτελεσμάτων και θα παρουσιάζεται ο μέσος όρος των τιμών όλων των επαναλήψεων .

Εξίσου σημαντικό είναι και το σύνολο των γειτόνων που ασκούν επιρροή στον εκάστοτε καταναλωτή κατά τη φάση επιλογής νέου συμβολαίου. Αυτός ο αριθμός δεν δύναται να τροποποιηθεί από το interface παρά μόνο από τον κώδικα της προσομοίωσης. Στο μοντέλο που παρουσιάζουμε έχουμε επιλέξει ένα σύνολο 10 γειτόνων, αποτελούμενο από 5 του ίδιου τύπου – χαρακτήρα καταναλωτή κι ακόμη 5 τυχαίας επιλογής εκ των άλλων τύπων – χαρακτήρων.

Εκτελώντας τη προσομοίωση του σεναρίου για $C1=220$, $C2=C3=C4=20$ είχαμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

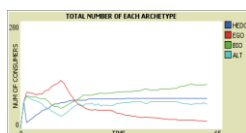


Εικόνα 3. 17 – $t=0$



Εικόνα 3. 16 – $t=60$

Παρατηρούμε ότι σε βάθος 5ετίας οι καταναλωτές φαίνεται να επιλέγουν τους δυο «ακραίους» των συμβολαίων, με τη πλειοψηφία αυτών να τείνουν προς το «C4» το οποίο προσφέρει τα μεγαλύτερα ποσοστά έκπτωσης λόγω των προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση. Αυτό πρακτικά δείχνει από τους μεν πλήρη αποδοχή των προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση, και από τους δε πλήρη απόρριψη των ίδιων προγραμμάτων.



Εικόνα 3. 18 – Κατανομή καταναλωτών βάσει τύπου – χαρακτήρα συναρτήσσει του χρόνου



Εικόνα 3. 19 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσσει του χρόνου

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των καταναλωτών αποδέχεται πλέον τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση αφού το 82,5% αυτών επιλέγει το συμβόλαιο C4, ενώ ένα ποσοστό κοντά στο 16% παραμένει πιστό στα σημερινά συμβόλαια.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζουμε τη κατανομή των καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα και ανά τύπο συμβολαίου έπειτα από 10 επαναλήψεις της προσομοίωσης.

C1	C2	C3	C4
46	3	0	231

Πίνακας 3. 9 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου

HEDO	EGO	BIO	ALT
85 (30%)	10 (4%)	126 (45%)	59 (21%)

Πίνακας 3. 10 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα

Από την κατανομή βάσει τύπου – χαρακτήρα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλωτών, σχεδόν 45% (BIO) έχει ως βασικό κριτήριο επιλογής την μείωση των εκπομπών CO₂. Δεύτερο και με σχετικά μεγάλο ποσοστό, σχεδόν 30%(HEDO), είναι το κριτήριο την άνεση διαβίωσης, ακολουθεί το κριτήριο της κοινωνικής ευημερίας με ποσοστό 21%(ALT) ενώ το κριτήριο του οικονομικού συμφέροντος συγκεντρώνει μόλις το 4%(EGO) των καταναλωτών.

Στη συνέχεια εκτελέσαμε τη προσομοίωση του σεναρίου για C1=160, C2=C3=C4=40 και είχαμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

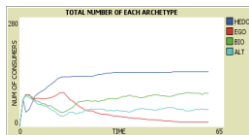


Εικόνα 3. 21 – $t=0$



Εικόνα 3. 20 – $t=60$

Τροποποιώντας σε μικρό βαθμό την αρχική κατανομή ($t=0$) των καταναλωτών, δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές σε βάθος 5ετίας. Οι καταναλωτές συνεχίζουν να επιλέγουν τους δυο «ακραίους πόλους» των συμβολαίων, με τη πλειοψηφία αυτών να τείνουν προς το «C4» το οποίο προσφέρει τα μεγαλύτερα ποσοστά έκπτωσης λόγω των προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση.



Εικόνα 3. 22 – Κατανομή καταναλωτών βάσει τύπου – χαρακτήρα συναρτήσει του χρόνου



Εικόνα 3. 23 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσει του χρόνου

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των καταναλωτών αποδέχεται πλέον τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση αφού το 87,5% αυτών επιλέγει το συμβόλαιο C4, ενώ ένα ποσοστό κοντά στο 12% παραμένει πιστό στα σημερινά συμβόλαια.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζουμε τη κατανομή των καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα και ανά τύπο συμβολαίου έπειτα από 10 επαναλήψεις της προσομοίωσης.

C1	C2	C3	C4
34	1	0	245

Πίνακας 3. 11 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου

HEDO	EGO	BIO	ALT
139 (50%)	9 (3%)	91 (32%)	41 (15%)

Πίνακας 3. 12 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα

Από την κατανομή βάσει τύπου – χαρακτήρα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλωτών, σχεδόν 50% (HEDO) έχει ως βασικό κριτήριο επιλογής την άνεση διαβίωσης. Δεύτερο και με σχετικά μεγάλο ποσοστό, σχεδόν 32%(BIO), είναι το κριτήριο της μείωση των εκπομπών CO₂, ακολουθεί το κριτήριο της κοινωνικής ευημερίας με ποσοστό 15%(ALT) ενώ το κριτήριο του οικονομικού συμφέροντος συγκεντρώνει μόλις το 3%(EGO) των καταναλωτών.

Στη συνέχεια εκτελέσαμε τη προσομοίωση του σεναρίου για C1=C2=C3=C4=70 και είχαμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

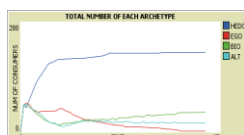


Εικόνα 3. 25 – $t=0$

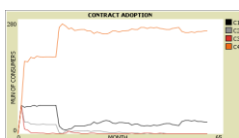


Εικόνα 3. 24 – $t=60$

Τροποποιώντας σε ισόποση την αρχική κατανομή ($t=0$) των καταναλωτών, δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές σε βάθος 5ετίας. Οι καταναλωτές συνεχίζουν να επιλέγουν τους δυο «ακραίους πόλους» των συμβολαίων, με τη πλειοψηφία αυτών να τείνουν προς το «C4» το οποίο προσφέρει τα μεγαλύτερα ποσοστά έκπτωσης λόγω των προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση.



Εικόνα 3. 26 – Κατανομή καταναλωτών βάσει τύπου – χαρακτήρα συναρτήσει του χρόνου



Εικόνα 3. 27 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσει του χρόνου

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των καταναλωτών αποδέχεται πλέον τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση αφού σχεδόν το 91% αυτών επιλέγει το συμβόλαιο C4, ενώ ένα ποσοστό κοντά στο 8% παραμένει πιστό στα σημερινά συμβόλαια.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζουμε τη κατανομή των καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα και ανά τύπο συμβολαίου έπειτα από 10 επαναλήψεις της προσομοίωσης.

C1	C2	C3	C4
23	1	0	256

Πίνακας 3. 13 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου

HEDO	EGO	BIO	ALT
202 (72%)	10 (4%)	48 (17%)	20 (7%)

Πίνακας 3. 14 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα

Από την κατανομή βάσει τύπου – χαρακτήρα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλωτών, σχεδόν 72% (HEDO) έχει ως βασικό κριτήριο επιλογής την άνεση διαβίωσης. Δεύτερο με ποσοστό σχεδόν 17%(BIO) είναι το κριτήριο της μείωσης των εκπομπών CO₂, ακολουθεί το κριτήριο της κοινωνικής ευημερίας με ποσοστό 7%(ALT) ενώ το κριτήριο του οικονομικού συμφέροντος συγκεντρώνει μόλις το 4%(EGO) των καταναλωτών.

Στη συνέχεια εκτελέσαμε τη προσομοίωση του σεναρίου για $C1=220$, $C2=C3=C4=20$ και τροποποιώντας τη σταθερά «Attitude-Threshold», από «0,5» σε «0,25», ενώ το «Wsn» διατηρεί τη τιμή «1».

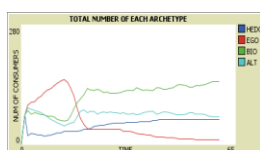


Εικόνα 3. 29 – $t=0$

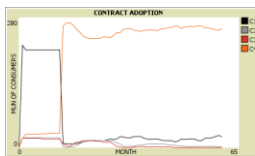


Εικόνα 3. 28 – $t=60$

Τροποποιώντας τη σταθερά «Attitude-Threshold», από «0,5» σε «0,25», μειώνουμε το κατώφλι ικανοποίησης των καταναλωτών, αυτό πρακτικά κάνει τους καταναλωτές να αλλάζουν συμβόλαιο ευκολότερα. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα σε βάθος 5ετίας οι καταναλωτές συνεχίζουν να επιλέγουν τους δυο «ακραίους πόλους» των συμβολαίων, με τη πλειοψηφία αυτών να τείνουν προς το «C4» το οποίο προσφέρει τα μεγαλύτερα ποσοστά έκπτωσης λόγω των προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση.



Εικόνα 3. 30 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσει του χρόνου



Εικόνα 3. 31 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσει του χρόνου

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των καταναλωτών αποδέχεται πλέον τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση αφού σχεδόν το 92% αυτών επιλέγει το συμβόλαιο C4, ενώ ένα ποσοστό κοντά στο 7% παραμένει πιστό στα σημερινά συμβόλαια.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζουμε τη κατανομή των καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα και ανά τύπο συμβολαίου έπειτα από 10 επαναλήψεις της προσομοίωσης.

C1	C2	C3	C4
19	3	1	257

Πίνακας 3. 15 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου

HEDO	EGO	BIO	ALT
61 (22%)	12 (4%)	145 (52%)	62 (22%)

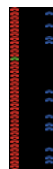
Πίνακας 3. 16 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα

Από την κατανομή βάσει τύπου – χαρακτήρα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλωτών, σχεδόν 52% (BIO) έχει ως βασικό κριτήριο επιλογής την μείωση των εκπομπών CO₂. Δεύτερο και με σχετικά μεγάλο ποσοστό, σχεδόν 22%(HEDO), είναι το κριτήριο την άνεση διαβίωσης, ακολουθεί το κριτήριο της κοινωνικής ευημερίας επίσης με σχετικά μεγάλο ποσοστό 22%(ALT) ενώ το κριτήριο του οικονομικού συμφέροντος συγκεντρώνει μόλις το 4%(EGO) των καταναλωτών.

Στη συνέχεια εκτελέσαμε τη προσομοίωση του σεναρίου για $C1=220$, $C2=C3=C4=20$, επαναφορά της σταθεράς «Attitude-Threshold» στο «0,5», και τροποποιώντας το «Wsn» από «1» σε «0,5».

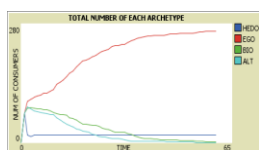


Εικόνα 3. 33 – $t=0$



Εικόνα 3. 32 – $t=60$

Τροποποιώντας τη σταθερά «Wsn» από «1» σε «0,5», μειώνουμε την επιρροή των επιλογών των γειτόνων προς τον εκάστοτε καταναλωτή. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα σε βάθος 5ετίας οι καταναλωτές επιλέγουν τους δυο «ακραίους πόλους» των συμβολαίων, με τη συντριπτική πλειοψηφία αυτών να επιλέγουν το «C1» το οποίο δεν προσφέρει δυνατότητες προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση.



Εικόνα 3. 34 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσει του χρόνου



Εικόνα 3. 35 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσει του χρόνου

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των καταναλωτών απορρίπτει τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση αφού σχεδόν το 95% αυτών επιλέγει το συμβόλαιο C1, ενώ μόλις το υπόλοιπο 5% επιλέγει συμβόλαια με δυνατότητες προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζουμε τη κατανομή των καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα και ανά τύπο συμβολαίου έπειτα από 10 επαναλήψεις της προσομοίωσης.

C1	C2	C3	C4
266	0	0	14

Πίνακας 3. 17 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου

HEDO	EGO	BIO	ALT
14 (5%)	265 (94,5%)	1 (0,5%)	0 (0%)

Πίνακας 3. 18 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα

Από την κατανομή βάσει τύπου – χαρακτήρα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλωτών, σχεδόν 94,5% (EGO) έχει ως βασικό κριτήριο επιλογής το οικονομικό συμφέρον. Δεύτερο με ποσοστό σχεδόν 5%(HEDO), είναι το κριτήριο την άνεση διαβίωσης, ακολουθεί το κριτήριο της μείωσης των εκπομπών CO₂ με ποσοστό μικρότερο του 0,5%(BIO) ενώ το κριτήριο της κοινωνικής ευημερίας είναι αμελητέο καθώς έχει μηδενικό ποσοστό.

Στη συνέχεια εκτελέσαμε τη προσομοίωση του σεναρίου για $C1=220$, $C2=C3=C4=20$, επαναφορά της σταθεράς «Attitude-Threshold» στο «0,5», και τροποποιώντας το «Wsn» από «1» σε «0».

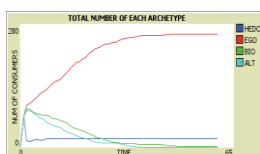


Εικόνα 3. 37 – $t=0$

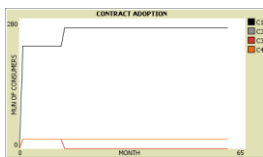


Εικόνα 3. 36 – $t=60$

Τροποποιώντας τη σταθερά «Wsn» από «1» σε «0», μειώνουμε την επιρροή των επιλογών των γειτόνων προς τον εκάστοτε καταναλωτή. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα σε βάθος 5ετίας οι καταναλωτές επιλέγουν τους δυο «ακραίους πόλους» των συμβολαίων, με τη συντριπτική πλειοψηφία αυτών να επιλέγουν το «C1» το οποίο δεν προσφέρει δυνατότητες προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση.



Εικόνα 3. 38 – Κατανομή καταναλωτών βάση τύπου – χαρακτήρα συναρτήσει του χρόνου



Εικόνα 3. 39 – Κατανομή καταναλωτών βάσει συμβολαίου συναρτήσει του χρόνου

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των καταναλωτών απορρίπτει τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση αφού σχεδόν το 93% αυτών επιλέγει το συμβόλαιο C1, ενώ μόλις το υπόλοιπο 7% επιλέγει συμβόλαια με δυνατότητες προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζουμε τη κατανομή των καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα και ανά τύπο συμβολαίου έπειτα από 10 επαναλήψεις της προσομοίωσης.

C1	C2	C3	C4
260	0	0	20

Πίνακας 3. 19 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο συμβολαίου

HEDO	EGO	BIO	ALT
20 (7%)	259 (92,5)	1 (0,5%)	0 (0%)

Πίνακας 3. 20 – Κατανομή καταναλωτών ανά τύπο – χαρακτήρα

Από την κατανομή βάσει τύπου – χαρακτήρα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καταναλωτών, σχεδόν 92,5% (EGO) έχει ως βασικό κριτήριο επιλογής το οικονομικό συμφέρον. Δεύτερο με ποσοστό σχεδόν 7%(HEDO), είναι το κριτήριο την άνεση διαβίωσης, ακολουθεί το κριτήριο της μείωση των εκπομπών CO₂ με ποσοστό μικρότερο του 0,5%(BIO) ενώ το κριτήριο της κοινωνικής ευημερίας είναι αμελητέο καθώς έχει μηδενικό ποσοστό.

Ορμώμενοι από τις εξελίξεις στην ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπου ο ρόλος και η ενεργός συμμετοχή του καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται πλέον απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή και οικονομικά αποδοτική διαχείριση της ενεργειακής μετάβασης, αποφασίσαμε να διερευνήσουμε τρόπους και κίνητρα «ενεργοποίησης» του καταναλωτή. Για την επίτευξη αυτού του στόχου συμπεραίνουμε ότι απαιτείται σαφώς η ευαισθητοποίηση από τη πλευρά των καταναλωτών καθώς επίσης και οι απαραίτητες προωθητικές ή ενημερωτικές καμπάνιες από τη πλευρά της πολιτείας. Μόνο με τη σωστή συνεργασία και των δυο πλευρών θα μπορέσει να υλοποιηθεί αυτή η ιδέα αλλά και να διαμορφωθούν τα πλαίσια πολιτικών που θα διέπουν αυτόν τον νέο τομέα, «προσδίδοντας» ως τελικό αποτέλεσμα «ενεργειακή ταυτότητα» στον καταναλωτή.

Για να μπορέσουμε να διερευνήσουμε το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπαράγαμε το μοντέλο που έχει αναπτυχθεί και παρουσιάζεται από την Mengolini A. [13], πραγματοποιώντας τις κατάλληλες παραμετροποιήσεις ώστε να εκτελέσουμε τις προσομοιώσεις βάσει των δικών μας δεδομένων και απαιτήσεων. Επιλέξαμε τη μοντελοποίηση με σύστημα πρακτόρων (ABM), ως μέθοδο μοντελοποίησης, καθώς κρίθηκε ως βέλτιστη λύση για τέτοιου τύπου προβλήματα. Επίσης επιλέξαμε το λογισμικό πρόγραμμα της NetLogo για την ανάπτυξη του μοντέλου και την εκτέλεση της προσομοίωσης για λόγους ευχρηστίας και επάρκειας οδηγιών χρήσης ελεύθερα στο διαδίκτυο.

Το μοντέλο που παρουσιάσαμε αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα καθώς βασίζεται στη πολλαπλότητα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των καταναλωτών, οι οποίοι λειτουργούν ως ανεξάρτητοι φορείς λήψης αποφάσεων με τη συμπεριφορά τους να καθοδηγείται από ατομικούς αλλά και κοινωνικούς στόχους. Το γεγονός ότι η συμπεριφορά κάποιου καταναλωτή αποκλίνει από αυτή των υπολοίπων ακόμη κι αν έχουν κοινούς στόχους, οφείλεται στη διαφορά που έγκειται στη προσωπικότητα του εκάστου καταναλωτή, αυτό με τη σειρά του προσδίδει ακόμη μεγαλύτερο βαθμό πολυπλοκότητας στο σύστημα. Για το λόγο αυτό το μοντέλο μας περιέχει διαφορετικούς τύπους προσωπικότητας που αντικατοπτρίζουν το μεγαλύτερο του ποσοστό του πληθυσμού.

Για να οδηγηθούμε σε ένα ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με το ποιος μηχανισμός απόκρισης στη ζήτηση από τη πλευρά του καταναλωτή είναι ο καταλληλότερος έπρεπε να δώσουμε έμφαση στη συμπεριφορά του καταναλωτή για κάθε μηχανισμό με βάση τη προσωπικότητα του σε βάθος χρόνου. Συνεπώς δημιουργήσαμε δυο βασικά σενάρια προσομοίωσης και τα «τρέξαμε» με διάφορες παραλλαγές για να παρατηρήσουμε τυχόν διαφορές, όπου και τα δυο σενάρια χρησιμοποιούν ως βασικό εργαλείο τους έξυπνους μετρητές ενέργειας.

Στο πρώτο σενάριο προσομοιώσαμε την ύπαρξη ενός και μόνο προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας ο οποίος παρέχει μια γκάμα συμβολαίων προς τους καταναλωτές, μέσω των οποίων ο καταναλωτής παρέχει από μηδενικό έως ολοκληρωτικό έλεγχο των φορτίων του στον προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας. Το επίπεδο ελέγχου επιλέγεται από τον καταναλωτή ανάλογα τον τύπο συμβολαίου που εκείνος επιλέγει να συνάψει με τον προμηθευτή. Επίσης ανάλογα με το συμβόλαιο δίνονται και τα αντίστοιχα ανταποδοτικά οφέλη στον καταναλωτή, τα οποία είναι κυρίως οικονομικά είτε με μορφή έκπτωσης είτε επιστροφής χρημάτων.

Από τα αποτελέσματα εξάγουμε το συμπέρασμα ότι σημαντικός παράγοντας για την υιοθέτηση και αποδοχή των μηχανισμών απόκρισης στη ζήτηση αποτελεί το επίπεδο επιρροής του εκάστοτε καταναλωτή από τις επιλογές των γειτονικών καταναλωτών, είτε έχοντας την ίδια προσωπικότητα είτε όχι. Όταν το επίπεδο της επιρροής λαμβάνει τη μέγιστη τιμή, η συντριπτική πλειοψηφία των καταναλωτών αποδέχεται τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση με ποσοστό 80%. Επίσης από τις γραφικές κατανομές των καταναλωτών βάση τον τύπο – χαρακτήρα τους, όπου το 60% των καταναλωτών παρουσιάζει ηδονιστική προσωπικότητα, συμπεραίνουμε ότι τα κίνητρα που οδήγησαν τον καταναλωτή σε αυτή την απόφαση είναι αυτοβελτίωσης και όχι κοινωνικής βελτίωσης. Συνεπώς ο καταναλωτής αποδέχεται τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση αλλά δεν αποκτά «πράσινη συνείδηση».

Στις άλλες δυο παραλλαγές αυτού του σεναρίου που «τρέξαμε», με το επίπεδο της επιρροής να λαμβάνει τιμή μικρότερη του μεγίστου ή και μηδενική (δηλαδή να μη λαμβάνεται καθόλου υπόψη), παρατηρήσαμε ότι μόλις το 7% των καταναλωτών αποδέχεται προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση ενώ το υπόλοιπο 93% επιλέγει συμβόλαια που έχουν τη μορφή των σημερινών συμβολαίων τα οποία παρέχουν στον προμηθευτή μόνο πληροφορίες κατανάλωσης για λόγους ιστορικών δεδομένων.

Από τις γραφικές κατανομές των καταναλωτών βάση τον τύπο – χαρακτήρα τους, παρατηρούμε ότι το 62% των καταναλωτών παρουσιάζει εγωιστική προσωπικότητα. Αυτό που μας προκαλεί ιδιαίτερη εντύπωση είναι το γεγονός ότι ενώ αυτός ο τύπος προσωπικότητας του καταναλωτή είναι συνυφασμένος με την εξοικονόμηση (financial savings), επιλέγει τύπο συμβολαίου που προσφέρει τη μικρότερη δυνατή έκπτωση. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι τα οικονομικά κίνητρα από μόνα τους δεν αρκούν για την επίτευξη της «ενεργειακής μετάβασης», απαιτείται και η επιρροή των κοινωνικών δικτύων.

Το δεύτερο σενάριο που προσομοιώσαμε έρχεται λίγο πιο κοντά στα σημερινά ελληνικά δεδομένα, δίνοντας αυτή τη φορά λιγότερες επιλογές συμβολαίων στον καταναλωτή οι οποίες σε αυτό το σενάριο αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας με το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας να αποτελεί τη βασική τους διαφορά, συσχετιζόμενο φυσικά με τη χρήση προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση.

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρατηρούμε ότι ανεξαρτήτου αρχικής κατανομής των καταναλωτών ως προς τους προμηθευτές, η συντριπτική πλειοψηφία αυτών, άνω του 80%, αποδέχονται πλήρως τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση επιλέγοντας τον προμηθευτή που προσφέρει τα μεγαλύτερα ποσοστά έκπτωσης. Επίσης αποδείχθηκε ότι η τροποποίηση της σταθεράς «κατώφλι ικανοποίησης» (attitude-threshold) του καταναλωτή δεν προκαλεί κάποια ουσιαστική αλλαγή στη τελική απόφαση του, καθώς λάβαμε σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι στις παραλλαγές 5 και 6 του 2^{ου} σεναρίου, όπου μειώθηκε ο συντελεστής επιρροής των γειτονικών καταναλωτών παρατηρήσαμε τα φαινόμενα του προηγούμενου σεναρίου. Οι καταναλωτές σε αυτή τη περίπτωση απορρίπτουν πλέον τον προμηθευτή που προσφέρει έκπτωση και επιλέγουν το «παραδοσιακό» συμβόλαιο, παρόλο που το μεγαλύτερο μέρος αυτών ανήκουν στον τύπο εγωιστικής προσωπικότητας ο οποίος είναι συνυφασμένος με την εξοικονόμηση (financial savings). Συνεπώς συμπεραίνουμε και σε αυτή τη περίπτωση ότι τα οικονομικά κίνητρα από μόνα τους δεν αρκούν για αυτή την «ενεργειακή μετάβαση», απαιτείται και η επιρροή των κοινωνικών δικτύων.

Από τις γραφικές κατανομές των καταναλωτών βάση τον τύπο – χαρακτήρα τους, όπου σταθερά άνω του 50% των καταναλωτών παρουσιάζει ηδονιστική προσωπικότητα, συμπεραίνουμε ότι τα κίνητρα που οδήγησαν τον καταναλωτή σε αυτή την απόφαση είναι αυτοβελτίωσης και όχι κοινωνικής βελτίωσης.

Η παραπάνω παρατήρηση δεν ισχύει μόνο για την πρώτη παραλλαγή του 2^{ου} σεναρίου όπου η αρχική κατανομή των καταναλωτών είναι συντριπτικά υπέρ ενός προμηθευτή (C1=220, C2=C3=C4=20), σε αυτή τη περίπτωση φαίνεται ότι σε βάθος 5ετίας ένα ποσοστό της τάξης του 45% καταναλωτών παρουσιάζει βιοσφαιρική προσωπικότητα. Θεωρούμε ότι αυτό συμβαίνει εξαιτίας της αρχικής κατανομής και ότι σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου (π.χ. $t \geq 120$) το ποσοστό αυτό των καταναλωτών θα μειωθεί και θα μετακυλήσει προς τον τύπο της ηδονιστικής προσωπικότητας. Τη θεωρία μας αυτή τη στηρίζουμε στο γεγονός ότι στις παραλλαγές 2 και 3 του 2^{ου} σεναρίου, όπου η αρχική κατανομή των καταναλωτών τείνει να γίνει πιο ομοιόμορφη, δεν παρατηρούμε το ίδιο φαινόμενο, επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι είναι απλά θέμα χρόνου το ποσοστό της ηδονιστικής προσωπικότητας να υπερνικήσει και πάλι τους υπόλοιπους τύπους προσωπικοτήτων.

Όπως μας έδειξαν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της σειράς προσομοιώσεων που εκτελέσαμε και παρουσιάσαμε εκτενώς στη παρούσα διπλωματική εργασία καταλήγουμε στο γεγονός ότι η «ενεργειακή μετάβαση» είναι ένα δύσκολο στοίχημα και για τους οραματιστές της αλλά και για όσους οφείλουν να την ενστερνιστούν. Απαιτούνται μεγάλα και σημαντικά βήματα από τη πλευρά όλων μας, κοινώς μια συλλογική προσπάθεια για φτάσουμε στον τελικό στόχο, ο οποίος σαφώς και θα ευνοήσει όλο το σύνολο της κοινωνίας, χωρίς τα οφέλη να είναι μονόπλευρα.

Οφείλει πρώτα η πολιτεία να ενημερώσει και να επιμορφώσει το κοινωνικό σύνολο, το οποίο στη πλειοψηφία του δεν κατέχει βασικές γνώσεις επί του θέματος, για να μπορέσει να «εμφυσήσει» σε αυτό τα πλεονεκτήματα μιας τόσο σημαντικής μετάβασης. Επιπλέον θα πρέπει κι εμείς με τη σειρά μας, ως μέρος αυτού του κοινωνικού συνόλου, να συνεργαστούμε μεταξύ μας και να επιδείξουμε τον απαιτούμενο ζήλο καταβάλλοντας τη προσπάθεια μας για να επιτύχουμε τον τελικό στόχο. Η «ενεργειακή μετάβαση» είναι τόσο μακριά που δεν την «βλέπουμε» και ταυτόχρονα τόσο κοντά που την «αγγίζουμε».

Βιβλιογραφία

- [1] Vision and Strategy for European Electricity Networks of the Future (2006), http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf
- [2] Niazi, M. and A. Hussain (2011). "Agent-based computing from multi-agent systems to agent-based models: a visual survey." *Scientometrics*
- [3] Bandini, S., S. Manzoni, et al. (2009). "Agent Based Modeling and Simulation: An Informatics Perspective." *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*
- [4] Schwarz, N. and A. Ernst (2009). "Agent-based modeling of the diffusion of environmental innovations — An empirical approach." *Technological Forecasting and Social Change*
- [5] Sopha, B. M., C. A. Klöckner, et al. (2013). "Adoption and diffusion of heating systems in Norway: Coupling agent-based modeling with empirical research." *Environmental Innovation and Societal Transitions*
- [6] Zhang, T. and W. J. Nuttall (2011). "Evaluating Government's Policies on Promoting Smart Metering Diffusion in Retail Electricity Markets via Agent-Based Simulation." *Journal of Production Innovation Management*
- [7] Axtell, R. (2000). Why agents? On the varied motivations for agent computing in the social sciences. Working Paper 17, Center on Social and Economic Dynamics, Brookings Institution.
- [8] Billari, F. C., T. Fent, et al. (2006). *Agent-Based Computational Modelling: An Introduction*. Agent-Based Computational Modelling, Physica-Verlag
- [9] Eurelectric (2015b). Prosumers - an integral part of the power system and the market. Brussels, Eurelectric.
- [10] EPRS European Parliamentary Research Service (2016). Electricity 'Prosumers'. Brussels, EPRS.
- [11] Eunice Espe, Vidyasagar Potdar, Elizabeth Chang (2018). "Prosumer Communities and Relationships in Smart Grids: A Literature Review, Evolution and Future Directions", *Energies-Open Access Journal*
- [12] Dóci, G., E. Vasileiadou, et al. (2015). "Exploring the transition potential of renewable energy communities." *Futures* 66: 85-95
- [13] Mengolini, Anna Maria (2017). Prosumer behaviour in emerging electricity systems. PhD thesis
- [14] Steg, L. and J. I. M. de Groot (2012). Environmental values. *The Oxford Handbook of Environmental and Conservation Psychology*. S. D. Clayton, Oxford University Press.
- [15] Steg, L., J. W. Bolderdijk, et al. (2014). "An Integrated Framework for Encouraging Pro environmental Behaviour: The role of values, situational factors and goals." *Journal of Environmental Psychology* 38: 104-115.
- [16] Επίσημη ιστοσελίδα NetLogo : <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- [17] Philipp Ringler, Dogan Keles, Wolf Fichtner (2016). "Agent based modeling and simulation of smart electricity grids and markets – A literature review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier
- [18] Julija Vasiljevskaja, Jochem Douw, Anna Mengolini, Igor Nikolic (2017), "An Agent-Based Model of Electricity Consumer: Smart Metering Policy Implications in Europe". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*.
- [19] Martin Anda, Justin Temmen (2014), "Smart metering for residential energy efficiency: The use of community based social marketing for behavioural change and smart grid introduction". *Renewable Energy*, Elsevier

- [20] Δημήτρης Κρεμμύδας, “Μοντελοποίηση με συστήματα πρακτόρων (Agent Based Modeling) στην Αγροτική Πολιτική”. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας & Ανάπτυξης
- [21]Ιστοσελίδα Our World In Data : <https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>
- [22]Ιστοσελίδα Wind Energy The Facts : <https://www.wind-energy-the-facts.org/the-eu-energy-mix.html>
- [23]ENTSO-E Statistical Factsheet (2016),
https://docstore.entsoe.eu/Documents/Publications/Statistics/Factsheet/entsoe_sfs_2016_web.pdf
- [24]Przemyslaw Komarnicki, Pio Lombardi, Zbigniew Styczynski (2017), “Electric Energy Storage Systems - Flexibility Options for Smart Grids”. Springer, Verlag Berlin Heidelberg.
- [25]Arturo Losi, Pierluigi Mancarella, Antonio Vicino (2015), “Integration of demand response into the electricity chain - Challenges, opportunities and smart grid solutions”. Electrical engineering series John Wiley & Sons.
- [26]Ahmad Vassel, David S. K. Ting (2018), “The Energy Mix for Sustaining Our Future”. Selected Papers from Proceedings of Energy and Sustainability, Springer.