



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Αλγόριθμοι τιμολόγησης για την ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ορέστης Μάστακας

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Αλγόριθμοι τιμολόγησης για την ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ορέστης Μάστακας

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 19^η Ιουλίου 2018.

Χάρης Δούκας
Επίκουρος Καθηγητής
.....

Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής
.....

Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής
.....

Αθήνα, Ιούλιος 2018

.....

Ορέστης Μάστακας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ορέστης Μάστακας, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ανάπτυξη αλγορίθμων τιμολόγησης σε θεωρητικό επίπεδο και η προσαρμογή τους στην ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, ένα νέο μοντέλο τιμολόγησης υπό συνθήκες real time pricing προτείνεται, αναλύοντας παράλληλα τη βιβλιογραφία στην οποία βασίστηκε. Η αλληλεπίδραση μεταξύ επιχειρήσεων και καταναλωτών μοντελοποιήθηκε ως Stackelberg game, ο ανταγωνισμός μεταξύ των επιχειρήσεων ως non cooperative game, ενώ ο τρόπος απόφασης των καταναλωτών ως εξελικτική διαδικασία. Απαραίτητη για την λειτουργία του αλγορίθμου είναι η γνώση της παραγωγικής δυνατότητας των επιχειρήσεων, καθώς και η ορθή πρόβλεψη της συνάρτησης χρησιμότητας των καταναλωτών. Παραδοχή ακόμα αποτελεί και το ότι οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να επιλέγουν όποια εταιρία επιθυμούν σε ωριαία βάση.

Παράλληλα, το μοντέλο τροποποιήθηκε για να προσαρμοστεί στις παρούσες συνθήκες της ελληνικής πραγματικότητας. Θεωρώντας πως οι επιχειρήσεις έχουν μη δυναμική χρέωση, μελετάμε την αγορά σε διάστημα εξαμήνου. Και αυτήν την φορά γίνεται η παραδοχή πως οι καταναλωτές μπορεί να αλλάξουν εταιρία άμεσα, όποτε το αποφασίσουν. Στη συνέχεια, επειδή στην πραγματικότητα η συμπεριφορά των καταναλωτών επηρεάζεται με μη ορθολογικό τρόπο από παράγοντες όπως η διαφημιστική εκστρατεία και η φήμη των εταιριών, δύο νέα μοντέλα αναπτύχθηκαν, ένα σε αντιστοιχία για κάθε ένα αρχικό, προσπαθώντας να συμπεριλάβουν και αυτές τις παραμέτρους. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, αποδόθηκε μια σταθερή βάση πελατών στη ΔΕΗ.

Έπειτα, για να επαληθευτεί η πρακτική αξία των παραπάνω μοντέλων, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις με τα δεδομένα του χειμερινού εξαμήνου του 2016. Προτού υλοποιηθούν οι προσομοιώσεις όμως, παράμετροι του θεωρητικού μοντέλου προσαρμόστηκαν στα ελληνικά δεδομένα χρησιμοποιώντας τεχνικές machine learning και συγκεκριμένα βελτιστοποίηση υπερπαραμέτρων, αλλά και διάφορες μορφές στατιστικής επεξεργασίας. Γι' αυτό το σκοπό, αναπτύχθηκαν προγράμματα σε Python.

Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν σε προγραμματιστικό περιβάλλον C, λόγω της απλότητας που προσφέρει. Συνολικά μελετήθηκαν 32 σενάρια, τα οποία μεταξύ άλλων συμπεριλάμβαναν περιπτώσεις χαμηλής, υψηλής και μέσης ζήτησης, υποθετικές συνεργασίες εταιριών σε βάρος άλλων, καρτέλ σε βάρος του καταναλωτή, και συμφωνία για μη πόλεμο τιμών.

Τέλος, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα πραγματικά στοιχεία που καταγράφηκαν το χειμερινό εξάμηνο του 2016. Κύριο κριτήριο αξιολόγησης των μοντέλων αποτελεί η αντιπαραβολή της αρχικής κατάστασης αγοράς που προβλέπουν τα μοντέλα, πριν ακόμα δηλαδή τροποποιήσουν κάποια τιμή, με τα πραγματικά στοιχεία του 2016. Επικουρικό κριτήριο είναι η σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων σε διαφορετικά σενάρια, καθώς σύμφωνα με την οικονομική θεωρία, κάποια σενάρια θα πρέπει να έχουν μεγαλύτερη ζήτηση ή κέρδη επιχειρήσεων από άλλα.

Λέξεις κλειδιά : θεωρία παιγνίων, παιχνίδι Stackelberg, εξελικτική θεωρία παιγνίων, μοντελοποίηση ζήτησης, βελτιστοποίηση υπερπαραμέτρων, ολιγοπώλιο, τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας, ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, αλγόριθμοι τιμολόγησης, τιμολόγηση πραγματικού χρόνου

Abstract

The main aim of this research is the development of electricity pricing algorithms at a theoretical level, as well as their implementation in the Greek electricity market. More precisely, a new pricing model under real time pricing assumptions is proposed, by expanding the already existing literature. The interaction between companies and customers is modeled as a Stackelberg game, the competition among companies as a non cooperative game, while the decision making process of the customers is represented by an evolutionary process. The customer's knowledge of the company production capacities and the companies' knowledge of the customer utility functions are key assumptions of the algorithm. It is also taken for granted that each hour, customers have the right to choose any company that they desire.

Furthermore, the model mentioned above has been modified, in order to adapt more appropriately to the current conditions of the Greek market. Assuming that companies apply non dynamic pricing, we examine the market for a period of one semester. Once again, customers are supposed to be able to change provider company, whenever they decide to do so. Additionally, taking into account that customers behave irrationally in reality due to factors like marketing campaign and brand loyalty, two new models that attempt to incorporate these aspects have been developed, each one in accordance with the two original models. For that purpose, a stable core of customers is given to the Public Power Corporation.

Moreover, in order to verify the practical value of these models, various simulations have been made, by using the data of the winter semester of the year 2016. Before the implementation of the simulations, parameters of the theoretical model have been chosen by hyperparameter optimization methods and by various statistical means. In order to achieve this goal, Python programs have been developed.

Concerning the simulations, C programming language has been chosen, due to its simplicity. 32 scenarios have been examined in total, which include cases of high and low demand, potential company cooperation, cartel at the expense of customers and agreement for no price wars.

Lastly, the results have been compared to the real data of the winter semester of 2016. The main evaluation criterion lies in the comparison of the initial market situation that the models predict, before any price is modified to be more precise, with the real data of 2016. An additional criterion is the comparison of the results of different scenarios, since according to financial theory, the supply and profits should be higher in some particular scenarios.

Keywords: game theory; Stackelberg game; evolutionary game theory; energy demand modeling; hyperparameter optimization; oligopoly; electricity pricing; Greek electricity market; pricing algorithms; real time pricing

Πρόλογος

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2017 – 2018 στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης.

Υπεύθυνος για τη διπλωματική εργασία ήταν ο Επίκουρος Καθηγητής κ. Χάρης Δούκας, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την ανάθεση της, καθώς και για την ευκαιρία που μου δόθηκε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω και στον Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά, για την παρότρυνσή του να επιλέξω θέμα σε αυτόν τον τομέα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την κ. Ελένη Κανέλλου, υποψήφια διδάκτορα του εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων, για την άψογη συνεργασία που είχαμε και τη συνεχή της καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την πολύπλευρη στήριξη που μου παρείχαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Ιούλιος 2018
Ορέστης Μάστακας

Πίνακας περιεχομένων

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Εισαγωγή | 18 |
| 1.1 | Ιστορική Αναδρομή..... | 18 |
| 1.2 | Τρέχον νομικό πλαίσιο στην Ελλάδα | 19 |
| 1.3 | Τρέχουσα Οργάνωση ελληνικής αγοράς..... | 20 |
| 1.4 | Παραγωγή και κατανάλωση στην Ελλάδα | 21 |
| 1.5 | Τιμολόγηση σε Ελλάδα και real time pricing σε εξωτερικό | 25 |
| 1.5.1 | Κατάσταση στην Ελλάδα | 25 |
| 1.5.2 | Real time pricing | 27 |
| 1.5.3 | Στόχος διπλωματικής..... | 28 |
| 2 | Θεωρητική Ανάλυση | 30 |
| 2.1 | Απλά οικονομικά μοντέλα..... | 30 |
| 2.1.1 | Εισαγωγή..... | 30 |
| 2.1.2 | Cournot Duopoly Model..... | 30 |
| 2.1.3 | Γενικευμένο μοντέλο Cournot..... | 32 |
| 2.1.4 | Μοντέλο Bertrand..... | 33 |
| 2.1.5 | Μοντέλο Kinked Demand | 34 |
| 2.2 | Μοντέλα θεωρίας παιγνίων | 35 |
| 2.2.1 | Σύγκριση με απλά μοντέλα..... | 35 |
| 2.2.2 | Stackelberg game..... | 35 |
| 2.2.2.1 | <i>Βελτιστοποίηση ως προς την ποσότητα, 1 γύρος.....</i> | <i>36</i> |
| 2.2.2.2 | <i>Βελτιστοποίηση ως προς την τιμή, 1 γύρος.....</i> | <i>37</i> |
| 2.2.2.3 | <i>Δυναμικό Stackelberg game</i> | <i>38</i> |
| 2.2.3 | Εξελικτική θεωρία παιγνίων..... | 38 |
| 2.2.4 | Η κεντρική ιδέα: Συνδυασμός Stackelberg με εξελικτική θεωρία | 39 |
| 2.2.5 | Υπάρχουσα σχετική βιβλιογραφία σε Stackelberg games..... | 40 |
| 2.2.6 | Στόχος νέου μοντέλου | 43 |
| 2.3 | Προτεινόμενο μοντέλο | 43 |
| 2.3.1 | Θεωρητική συνεισφορά του νέου μοντέλου..... | 43 |
| 2.3.2 | Ανάλυση συμπεριφοράς καταναλωτών | 44 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.3.2.1 | Ορισμός τιμής και ζήτησης (p και q) | 44 |
| 2.3.2.2 | Συνάρτηση χρησιμότητας και συνάρτηση οφέλους (U και W)..... | 44 |
| 2.3.2.3 | Βέλτιστη ζήτηση καταναλωτή (Q)..... | 44 |
| 2.3.2.4 | Ορισμός πιθανότητας εταιρίας (pr) | 45 |
| 2.3.2.5 | Ορισμός συνολικής ζήτησης και παραγωγικής δυνατότητας εταιρίας (D και $Power$)..... | 45 |
| 2.3.2.6 | Συλλογική χρησιμότητα καταναλωτών (Net utility)..... | 45 |
| 2.3.2.7 | Μέση συλλογική χρησιμότητα καταναλωτών (Navg) | 47 |
| 2.3.3 | Εξελικτική διαδικασία καταναλωτών..... | 47 |
| 2.3.4 | Ανάλυση συμπεριφοράς επιχειρήσεων..... | 48 |
| 2.3.5 | Αλγόριθμος τιμολόγησης επιχειρήσεων | 49 |
| 2.3.6 | Απόδειξη ύπαρξης ισοροπίας | 51 |
| 2.3.7 | Αξιολόγηση σε σύγκριση με προηγούμενα μοντέλα | 52 |
| 2.3.8 | Επέκταση σε εξαμηνιαία βάση | 52 |
| 3 | Περιγραφή εξεταζόμενων σεναρίων | 54 |
| 3.1 | Εισαγωγή..... | 54 |
| 3.2 | Περιγραφή σύνθετου μοντέλου | 55 |
| 3.3 | Εξαμηνιαία σενάρια | 58 |
| 3.3.1 | Βασικό σενάριο | 58 |
| 3.3.2 | Σενάριο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών | 58 |
| 3.3.3 | Σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ | 59 |
| 3.3.4 | Σενάριο συνεργασίας σε βάρος του καταναλωτή | 60 |
| 3.4 | Ωριαία σενάρια..... | 61 |
| 3.4.1 | Βασικό σενάριο | 61 |
| 3.4.1.1 | Βασικό σενάριο με χαμηλή ζήτηση | 62 |
| 3.4.1.2 | Βασικό σενάριο με μέση ζήτηση | 62 |
| 3.4.1.3 | Βασικό σενάριο με υψηλή ζήτηση..... | 62 |
| 3.4.2 | Σενάριο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών | 62 |
| 3.4.2.1 | Σενάριο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών με χαμηλή ζήτηση..... | 62 |
| 3.4.2.2 | Σενάριο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών με μέση ζήτηση..... | 62 |
| 3.4.2.3 | Σενάριο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών με υψηλή ζήτηση | 62 |
| 3.4.3 | Σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ | 63 |
| 3.4.3.1 | Σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ με χαμηλή ζήτηση..... | 63 |
| 3.4.3.2 | Σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ με μέση ζήτηση..... | 63 |
| 3.4.3.3 | Σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ με υψηλή ζήτηση | 63 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.4.4 | Σενάριο συνεργασίας σε βάρος του καταναλωτή | 63 |
| 3.5 | Σύνοψη και σχολιασμός | 63 |
| 4 | Επιλογή Παραμέτρων..... | 66 |
| 4.1 | Περιγραφή προβλήματος..... | 66 |
| 4.2 | Επιλογή δεδομένων ζήτησης | 66 |
| 4.3 | Προφίλ επιχειρήσεων και καταναλωτών | 67 |
| 4.3.1 | Προφίλ καταναλωτών..... | 67 |
| 4.3.2 | Προφίλ επιχειρήσεων | 67 |
| 4.4 | Αρχικές τιμές και Παραγωγικές δυνατότητες..... | 72 |
| 4.4.1 | Αρχικές τιμές | 72 |
| 4.4.2 | Παραγωγικές δυνατότητες..... | 73 |
| 4.5 | Παράμετροι e και σ | 73 |
| 4.6 | Εκτίμηση παραμέτρων a και b | 74 |
| 4.6.1 | Πρόβλημα και εναλλακτικές προσεγγίσεις | 74 |
| 4.6.2 | Η μέθοδος..... | 75 |
| 4.6.3 | Αξιολόγηση αποτελεσμάτων και προτεινόμενες βελτιώσεις | 78 |
| 5 | Αποτελέσματα | 80 |
| 5.1 | Εξαμηνιαία σενάρια | 80 |
| 5.1.1 | Εξαμηνιαίο απλό μοντέλο | 80 |
| 5.1.1.1 | <i>Τα αρχικά μερίδια αγοράς και έσοδα.....</i> | 80 |
| 5.1.1.2 | <i>Τελικά αποτελέσματα απλού εξαμηνιαίου μοντέλου.....</i> | 82 |
| 5.1.1.3 | <i>Τελικά αποτελέσματα απλού εξαμηνιαίου μοντέλου χωρίς συνεχείς μειώσεις</i> | 83 |
| 5.1.1.4 | <i>Τελικά αποτελέσματα απλού εξαμηνιαίου μοντέλου - Συνεργασία κατά ΔΕΗ.....</i> | 84 |
| 5.1.1.5 | <i>Τελικά αποτελέσματα απλού εξαμηνιαίου μοντέλου - Συνεργασία σε βάρος καταναλωτή.....</i> | 85 |
| 5.1.2 | Εξαμηνιαίο σύνθετο μοντέλο | 86 |
| 5.1.2.1 | <i>Τα αρχικά μερίδια αγοράς και έσοδα.....</i> | 86 |
| 5.1.2.2 | <i>Τελικά αποτελέσματα σύνθετου εξαμηνιαίου μοντέλου</i> | 87 |
| 5.1.2.3 | <i>Τελικά αποτελέσματα σύνθετου εξαμηνιαίου μοντέλου χωρίς συνεχείς μειώσεις.....</i> | 88 |
| 5.1.2.4 | <i>Τελικά αποτελέσματα σύνθετου εξαμηνιαίου μοντέλου - Συνεργασία κατά ΔΕΗ.....</i> | 89 |
| 5.1.2.5 | <i>Τελικά αποτελέσματα σύνθετου εξαμηνιαίου μοντέλου - Συνεργασία σε βάρος καταναλωτή</i> | 90 |
| 5.2 | Ωριαία σενάρια..... | 91 |
| 5.2.1 | Ωρα 1 απλό μοντέλο..... | 91 |
| 5.2.1.1 | <i>Τα αρχικά μερίδια αγοράς και έσοδα</i> | 91 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.2.1.2 | Τελικά αποτελέσματα ώρας 1 | 92 |
| 5.2.1.3 | Τελικά αποτελέσματα ώρας 1 χωρίς συνεχείς μειώσεις..... | 93 |
| 5.2.1.4 | Τελικά αποτελέσματα ώρας 1 - Συνεργασία κατά ΔΕΗ..... | 94 |
| 5.2.1.5 | Τελικά αποτελέσματα ώρας 1- Συνεργασία σε βάρος καταναλωτή..... | 95 |
| 5.2.2 | Όρα 1 - Σύνθετο μοντέλο | 96 |
| 5.2.2.1 | Τα αρχικά μερίδια αγοράς και έσοδα..... | 96 |
| 5.2.2.2 | Τελικά αποτελέσματα σύνθετης ώρας 1 | 97 |
| 5.2.2.3 | Τελικά αποτελέσματα σύνθετης ώρας 1 χωρίς συνεχείς μειώσεις..... | 98 |
| 5.2.2.4 | Τελικά αποτελέσματα σύνθετης ώρας 1 - Συνεργασία κατά ΔΕΗ..... | 99 |
| 5.2.2.5 | Τελικά αποτελέσματα σύνθετης ώρας 1 - Συνεργασία σε βάρος καταναλωτή..... | 100 |
| 5.2.3 | Περιληπτική παρουσίαση υπολοίπων αποτελεσμάτων | 100 |
| 5.2.3.1 | Εισαγωγή..... | 100 |
| 5.2.3.2 | Αξιοσημείωτα στοιχεία σεναρίων ώρας 2..... | 101 |
| 5.2.3.3 | Αξιοσημείωτα στοιχεία σεναρίων ώρας 3 | 101 |
| 5.2.3.4 | Αξιοσημείωτα στοιχεία σύνθετων σεναρίων ώρας 2..... | 101 |
| 5.2.3.5 | Αξιοσημείωτα στοιχεία σύνθετων σεναρίων ώρας 3 | 101 |
| 6 | Αξιολόγηση και προτάσεις για μελλοντική έρευνα..... | 102 |
| 6.1 | Καινοτομίες διπλωματικής | 102 |
| 6.2 | Περιορισμοί μοντέλων | 103 |
| 6.3 | Προτάσεις για μελλοντική έρευνα..... | 103 |
| 7 | Βιβλιογραφία | 104 |
| 8 | Παρουσίαση Κώδικα..... | 110 |
| 8.1 | Κώδικας C | 110 |
| 8.2 | Κώδικας Python..... | 125 |

Ευρετήριο Πινάκων

| | |
|---|----|
| Πίνακας 1: Παράδειγμα Cournot, εταιρία Α | 31 |
| Πίνακας 2: Παράδειγμα Cournot, εταιρία Β | 32 |
| Πίνακας 3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα θεωρίας παιγνίων | 35 |
| Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά ΔΕΗ | 68 |
| Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά Protergia | 68 |
| Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά Volterra | 69 |
| Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά Elpedison | 69 |
| Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά NRG | 70 |
| Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά Heron | 70 |
| Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά Watt + Volt | 71 |
| Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά Εταιρίας 1 | 71 |
| Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά Εταιρίας 2 | 71 |
| Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά Εταιρίας 3 | 71 |
| Πίνακας 14: Χαρακτηριστικά Εταιρίας 4 | 72 |
| Πίνακας 15: Χαρακτηριστικά Εταιρίας 5 | 72 |
| Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά των εταιριών του κλάδου | 73 |

Ευρετήριο διαγραμμάτων

| | |
|---|----|
| Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής εξελικτικής διαδικασίας καταναλωτών..... | 48 |
| Διάγραμμα 2: Non cooperative game επιχειρήσεων | 50 |
| Διάγραμμα 3: Εξαμηνιαίο μοντέλο | 53 |
| Διάγραμμα 4: Σύνθετη εξελικτική διαδικασία καταναλωτών | 57 |
| Διάγραμμα 5: Εξαμηνιαία σενάρια..... | 58 |
| Διάγραμμα 6: Σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ | 60 |
| Διάγραμμα 7:Ωριαία σενάρια..... | 61 |
| Διάγραμμα 8: Εύρεση παραμέτρων a και b..... | 77 |
| Διάγραμμα 9:Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο-Αρχικά μερίδια αγοράς..... | 78 |
| Διάγραμμα 10: Πραγματικά μερίδια αγοράς..... | 78 |
| Διάγραμμα 11: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο-Αρχικά μερίδια αγοράς..... | 80 |
| Διάγραμμα 12: Πραγματικά μερίδια αγοράς..... | 80 |
| Διάγραμμα 13: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο-Αρχικά έσοδα..... | 81 |
| Διάγραμμα 14: Πραγματικά έσοδα..... | 81 |
| Διάγραμμα 15: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο- Τελικά μερίδια αγοράς..... | 82 |
| Διάγραμμα 16: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο-Τελικά έσοδα | 82 |
| Διάγραμμα 17: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών – Τελικά μερίδια αγοράς | 83 |
| Διάγραμμα 18: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών – Τελικά έσοδα .. | 83 |
| Διάγραμμα 19: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο– συνεργασία κατά της ΔΕΗ – Τελικά μερίδια αγοράς | 84 |
| Διάγραμμα 20: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο– συνεργασία κατά της ΔΕΗ – Τελικά έσοδα | 84 |
| Διάγραμμα 21: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο– συνεργασία εις βάρος του καταναλωτή – Τελικά μερίδια αγοράς..... | 85 |
| Διάγραμμα 22: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο– συνεργασία εις βάρος του καταναλωτή – Τελικά έσοδα | 85 |
| Διάγραμμα 23: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο – Αρχικά μερίδια αγοράς..... | 86 |
| Διάγραμμα 24: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο – Αρχικά έσοδα | 86 |
| Διάγραμμα 25:Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο – Τελικά μερίδια αγοράς | 87 |
| Διάγραμμα 26:Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο - Τελικά έσοδα..... | 87 |

| | |
|---|-----|
| Διάγραμμα 27: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο χωρίς συνεχείς μειώσεις - Τελικά μερίδια αγοράς | 88 |
| Διάγραμμα 28: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο χωρίς συνεχείς μειώσεις – Τελικά έσοδα..... | 88 |
| Διάγραμμα 29: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο - συνεργασία σε βάρος ΔΕΗ- Τελικά μερίδια αγοράς | 89 |
| Διάγραμμα 30: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο - συνεργασία σε βάρος ΔΕΗ- Τελικά έσοδα ... | 89 |
| Διάγραμμα 31: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο - συνεργασία σε βάρος καταναλωτή – Τελικά μερίδια αγοράς..... | 90 |
| Διάγραμμα 32: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο - συνεργασία σε βάρος καταναλωτή- Τελικά έσοδα | 90 |
| Διάγραμμα 33: Απλό μοντέλο ώρας 1 - Αρχικά μερίδια αγοράς | 91 |
| Διάγραμμα 34: Απλό μοντέλο ώρας 1 – Αρχικά έσοδα | 91 |
| Διάγραμμα 35: Απλό ωριαίο μοντέλο – Τελικά μερίδια αγοράς..... | 92 |
| Διάγραμμα 36: Απλό ωριαίο μοντέλο – Τελικά έσοδα | 92 |
| Διάγραμμα 37: Απλό μοντέλο ώρας 1 χωρίς συνεχείς μειώσεις – Τελικά μερίδια αγοράς..... | 93 |
| Διάγραμμα 38: Απλό μοντέλο ώρας 1 χωρίς συνεχείς μειώσεις – Τελικά έσοδα | 93 |
| Διάγραμμα 39: Απλό μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία κατά ΔΕΗ – Τελικά μερίδια αγοράς..... | 94 |
| Διάγραμμα 40: Απλό μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία κατά ΔΕΗ – Τελικά έσοδα | 94 |
| Διάγραμμα 41: Απλό μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία σε βάρος καταναλωτή – Τελικά μερίδια αγοράς | 95 |
| Διάγραμμα 42: Απλό μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία σε βάρος καταναλωτή – Τελικά έσοδα | 95 |
| Διάγραμμα 43: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1- Αρχικά μερίδια αγοράς..... | 96 |
| Διάγραμμα 44: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 – Αρχικά έσοδα..... | 96 |
| Διάγραμμα 45: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 – Τελικά μερίδια αγοράς..... | 97 |
| Διάγραμμα 46: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 – Τελικά έσοδα..... | 97 |
| Διάγραμμα 47: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 χωρίς συνεχείς μειώσεις – Τελικά μερίδια αγοράς | 98 |
| Διάγραμμα 48: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 χωρίς συνεχείς μειώσεις – Τελικά έσοδα..... | 98 |
| Διάγραμμα 49: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία σε βάρος ΔΕΗ – Τελικά μερίδια αγοράς | 99 |
| Διάγραμμα 50: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία σε βάρος ΔΕΗ – Τελικά έσοδα | 99 |
| Διάγραμμα 51: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία σε βάρος καταναλωτή – Τελικά μερίδια αγοράς..... | 100 |
| Διάγραμμα 52: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία σε βάρος καταναλωτή – Τελικά έσοδα | |

Ευρετήριο Εικόνων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1: Ποσοστιαία κατανομή παραγωγής ενέργειας για τα έτη 2004 και 2016 [99] | 22 |
| Εικόνα 2: Υφιστάμενη Κατάσταση του Συστήματος Ηλεκτροπαραγωγής ανά τεχνολογία [99] | 22 |
| Εικόνα 3: Υφιστάμενοι Θερμικοί Σταθμοί Παραγωγής Συνδεδεμένοι στο Σύστημα [99]..... | 23 |
| Εικόνα 4: Υφιστάμενοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Παραγωγής Συνδεδεμένοι στο Σύστημα [99] | 24 |
| Εικόνα 5: Ισχύς των Σταθμών Παραγωγής ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ [99]..... | 24 |
| Εικόνα 6: Εξέλιξη της Καθαρής Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας στο ΕΣΜΗΕ [99] | 25 |
| Εικόνα 7: Σενάρια ΑΔΜΗΕ για την εξέλιξη της συνολικής ζήτησης ενέργειας στο ΕΣΜΗΕ [99] | 25 |
| Εικόνα 8: Πώληση ενέργειας από παραγωγούς σε παρόχους [99]..... | 26 |
| Εικόνα 9: Παράδειγμα Cournot [77] | 31 |
| Εικόνα 10: Παράδειγμα Bertrand [79] | 33 |
| Εικόνα 11: Παράδειγμα Kinked Demand [81] | 34 |
| Εικόνα 12: Σκάκι ως παιχνίδι Stackelberg | 36 |
| Εικόνα 13: Απεικόνιση εξελικτικής διαδικασίας [74]..... | 39 |
| Εικόνα 14: Η κεντρική ιδέα..... | 39 |
| Εικόνα 15: Ηλικιακή κατανομή ελληνικού πληθυσμού | 55 |
| Εικόνα 16: Παρουσίαση σεναρίων..... | 63 |

1 Εισαγωγή

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Χιλιετίες πριν πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε τεκμηριωμένη έρευνα περί ηλεκτρισμού, οι επιδράσεις του είχαν αρχίσει ήδη να γίνονται αντιληπτές. Αιγυπτιακά κείμενα που χρονολογούνται σε περίοδο προγενέστερη και από το Παλιό Βασίλειο αναφέρονται σε ηλεκτροφόρα ψάρια στον Νείλο, τα οποία μάλιστα θεωρούνταν και προστάτες των άλλων ψαριών. Μερικές χιλιετίες αργότερα, αυτά τα ψάρια απασχόλησαν ξανά Ρωμαίους και Έλληνες ιατρούς, καθώς πίστευαν ότι το ηλεκτροσόκ που προκαλούν μπορούσε να θεραπεύσει ασθένειες όπως η αρθρίτιδα και ο πονοκέφαλος. Παράλληλα, αντιλήφθηκαν πως το ηλεκτροσόκ μπορούσε να μεταδοθεί και μέσω αγωγίων αντικειμένων. Εκτός από τα ψάρια όμως, ιδιότητες του ηλεκτρισμού είχαν γίνει αντιληπτές και σε διάφορα υλικά όπως το κεχριμπάρι. Ο Θαλής υποστήριξε το 600 π.Χ περίπου ότι η τριβή μετατρέπει το κεχριμπάρι προσωρινά σε ένα είδος μαγνήτη, ενώ εικάζεται πως η αυτοκρατορία των Πάρθων είχε γνώσεις ηλεκτρόλυσης, καθώς είχε παράξει ένα γαλβανικό στοιχείο γνωστό ως μπαταρία της Βαγδάτης.

Η συστηματική μελέτη του ηλεκτρισμού ξεκίνησε αιώνες μετά, στις αρχές του 17ου αιώνα. Σε λιγότερο από 300 χρόνια, είχαν διαμορφωθεί οι κατάλληλες συνθήκες για τη δημιουργία της πρώτης εταιρίας παροχής του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό συνέβη το 1882, όταν ο Edison ανέλαβε να φωταγωγήσει τους δρόμους του Λονδίνου για διάστημα 3 μηνών. Στην Ελλάδα η ηλεκτροδότηση ξεκίνησε το 1889, όταν η “Γενική Εταιρεία Εργοληψιών” κατασκεύασε στην Αθήνα και στην οδό Αριστείδου συγκεκριμένα την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρώτο κτήριο που φωταγωγήθηκε ήταν τα Ανάκτορα, ενώ στη συνέχεια ο ηλεκτροφωτισμός επεκτάθηκε και στο ιστορικό κέντρο. Τον ίδιο χρόνο επρόκειτο να φτάσει ο ηλεκτρισμός και στην Θεσσαλονίκη, όταν η “Βελγική Ηλεκτρική Εταιρεία” έλαβε από τις Οθωμανικές αρχές άδεια για τον φωτισμό και την τροχοδρόμηση της πόλης.

Δέκα χρόνια αργότερα έκαναν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα οι πολυεθνικές εταιρείες ηλεκτρισμού. Η αμερικανική εταιρεία Thomson-Houston, με τη σύμπραξη της Εθνικής Τράπεζας, ίδρυσε την “Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρεία”, η οποία ανέλαβε την ηλεκτροδότηση μεγάλων ελληνικών πόλεων. Μέχρι το 1929 είχαν ηλεκτροδοτηθεί 250 πόλεις με πληθυσμό άνω των 5.000 κατοίκων. Στις πιο απομακρυσμένες και αραιοκατοικημένες περιοχές, που ήταν οικονομικά ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρείες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, την ηλεκτροδότηση ανέλαβαν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια. Το έτος 1950 υπήρχαν στην Ελλάδα περίπου 400 εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ως πρωτογενή καύσιμα χρησιμοποιούσαν το

πετρέλαιο και το γαιάνθρακα, αμφότερα εισαγόμενα από το εξωτερικό. Η κατάτμηση της παραγωγής σε πολλές μικρές μονάδες, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στα ύψη, φτάνοντας στο τριπλάσιο μέχρι και πενταπλάσιο των τιμών που ίσχυαν στις άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Η ηλεκτρική ενέργεια τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο.

Από τον Αύγουστο του 1950 που ιδρύθηκε η ΔΕΗ, οι δραστηριότητες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας συγκεντρώθηκαν σε ένα δημόσιο φορέα. Το 1956 αποφασίστηκε η εξαγορά όλων των ιδιωτικών και δημοτικών επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και έτσι η ΔΕΗ σταδιακά κυριάρχησε [89-90].

1.2 Τρέχον νομικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Έπειτα από δεκαετίες μονοπωλιακής λειτουργίας, οι ανάγκες εκσυγχρονισμού και αύξησης της ανταγωνιστικότητας οδήγησαν στη σταδιακή απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Συγκεκριμένα, ο τομέας ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί κατά κύριο λόγο με βάση το πλαίσιο που καθορίζει ο Ν. 2773/1999, ο οποίος αφορά την «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας: Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις» (ΦΕΚ Α' 286) και ψηφίστηκε καθ' ολοκλήρωση της Οδηγίας 96/92/ΕΚ για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και με αρχή ισχύος από τον Φεβρουάριο του 2001. Ο νόμος αυτός προβλέπει την σύσταση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) ως μια ανεξάρτητη και αυτοτελής διοικητική αρχή που εποπτεύεται από τον Υπουργό Ανάπτυξης, αλλά και τη σύσταση του Διαχειριστή του Ηλεκτρικού Συστήματος, ο οποίος θα εποπτεύεται από την ΡΑΕ. Παράλληλα, προβλέπεται και η απελευθέρωση της παραγωγής και της εκμετάλλευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η μετατροπή της ΔΕΗ σε ανώνυμη εταιρία.

Το 2000, ο Ν. 2773/1999 τροποποιήθηκε με την πρώτη τροπολογία του Ν. 2837/00 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 178/03-08-00), ο οποίος αφορά την «Ρύθμιση θεμάτων Ανταγωνισμού Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας, Τουρισμού και άλλες διατάξεις.». Το 2001 εμφανίστηκε μια δεύτερη τροπολογία του Ν.2773/99, με τον Ν. 2941/01 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 201/12-09-01), ο οποίος αφορά την «Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότησης ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. "ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ" και άλλες διατάξεις.» Με τον Ν. 3175/03 (Τεύχος ΦΕΚ Α 207/29-08-03), θεσπίστηκε η τρίτη τροποποίηση των διατάξεων του Ν. 2773/99, ο οποίος αφορά στην «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, της τηλεθέρμανσης και άλλες διατάξεις». Με αυτή την τροποποίηση παρέχεται ένα νομοθετικό πλαίσιο, το οποίο στοχεύει στην ουσιαστική αλλαγή του τρόπου οργάνωσης και λειτουργίας της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας τη χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Το 2005, ψηφίστηκε η τέταρτη τροπολογία του Ν. 2773/99 με τον Ν. 3426/05 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 309/22-12-05), ο οποίος αφορά την «Επιτάχυνση της διαδικασίας για την απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.» Το 2006 ψηφίστηκε ο Ν.3468/06 (ΦΕΚ Α 129/27-6-06), ο οποίος αφορά την «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις». Ο νόμος αυτός ρυθμίστηκε στην συνέχεια με εγκύκλιο που αφορά τις «Πρώτες οδηγίες εφαρμογής του Ν. 3468/2006 για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και τη Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης».

Με το Ν.4203/2013 (ΦΕΚ 235Α/1-11-2013) θεσμοθετήθηκε για πρώτη φορά η δυνατότητα των καταναλωτών να κάνουν χρήση του net-metering. Οι ρυθμίσεις αυτές τροποποιήθηκαν με το Ν.4254/2014 (ΦΕΚ 85Α/7-4-2014) και προβλέπουν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών

σταθμών και μικρών ανεμογεννητριών από αυτοπαραγωγούς. Το πιο πρόσφατο βήμα στην πορεία προς την απελευθέρωση της αγοράς αποτελεί η ψήφιση του νομοσχεδίου που αφορά την πώληση λιγνιτικών μονάδων της ΔΕΗ τον Απρίλιο του 2018 [94][96]. Σύμφωνα με το Ν. 4533/2018 (ΦΕΚ Α'75/27.04.2018) αναιρείται το μονοπωλιακό δικαίωμα της ΔΕΗ στην εξόρυξη και εκμετάλλευση ελληνικού λιγνίτη. Στο πλαίσιο αυτό προβλέπεται και διαδικασία αποεπένδυσης της ΔΕΗ με τη δημιουργία δύο θυγατρικών εταιριών, οι οποίες θα μεταβιβαστούν μέσω διαγνωστικών διαδικασιών σε ενδιαφερόμενους επενδυτές. Στόχος είναι να μειωθεί σταδιακά το μερίδιο αγοράς της ΔΕΗ σε ποσοστό κάτω του 50%. Με αυτόν τον τρόπο, η κυριαρχία της ΔΕΗ θα τελειώσει οριστικά.

1.3 Τρέχουσα Οργάνωση ελληνικής αγοράς

Η ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) [92] είναι υπεύθυνη για την ρύθμιση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτήν την αγορά συμμετέχουν οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας, ο διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ΑΔΜΗΕ, ο διαχειριστής του Δικτύου Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ΔΕΔΔΗΕ, οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας και οι καταναλωτές.

Στις αρμοδιότητες της συγκαταλέγονται οι εξής:

- Παρακολούθηση και εποπτεία της αγοράς ενέργειας
- Προστασία των καταναλωτών
- Παρακολούθηση της ασφάλειας και του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας
- Χορήγηση αδειών
- Εποπτεία επί των Ανεξάρτητων Διαχειριστών Μεταφοράς
- Έγκριση τιμολογίων μη ανταγωνιστικών δραστηριοτήτων
- Χορήγηση εξαιρέσεων από υποχρεώσεις παροχής πρόσβασης τρίτων
- Παρακολούθηση πρόσβασης στις ενεργειακές διασυνδέσεις
- Λήψη ρυθμιστικών μέτρων για την εύρυθμη λειτουργία των ενεργειακών αγορών

Ο ΑΔΜΗΕ (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) συστάθηκε σύμφωνα με το Ν. 4001/2011 και σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/EK της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την οργάνωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό να αναλάβει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ). Στο πλαίσιο αυτό σκοπός του ΑΔΜΗΕ Α.Ε. είναι η λειτουργία, συντήρηση και ανάπτυξη του ΕΣΜΗΕ ώστε να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια με τρόπο ασφαλή, αποδοτικό και αξιόπιστο. Ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. είναι 100% θυγατρική της ΔΕΗ Α.Ε., ωστόσο είναι πλήρως ανεξάρτητος λειτουργικά και διοικητικά, έχοντας ουσιαστικές εξουσίες λήψης αποφάσεων, τηρώντας όλες τις προς αυτό απαιτήσεις ανεξαρτησίας που ενσωματώνονται στο Νόμο 4001/2011 και στην Οδηγία 2009/72/EK.

Η ΔΕΔΔΗΕ [93] (Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) συστάθηκε με την απόσχιση του κλάδου Διανομής της ΔΕΗ Α.Ε. σύμφωνα με το Ν. 4001/2011 και σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/EK της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σχετικά με την οργάνωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό να αναλάβει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής. Είναι κατά 100% θυγατρική εταιρεία της ΔΕΗ Α.Ε., ωστόσο είναι ανεξάρτητη λειτουργικά και διοικητικά, τηρώντας όλες τις απαιτήσεις ανεξαρτησίας που ενσωματώνονται στο παραπάνω νομικό πλαίσιο. Η ΔΕΔΔΗΕ είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη, την λειτουργία και τη συντήρηση του ΕΔΔΗΕ υπό οικονομικούς όρους, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αξιόπιστη, αποδοτική και ασφαλής λειτουργία του, καθώς και η μακροπρόθεσμη ικανότητά του να ανταποκρίνεται σε εύλογες ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας τη δέουσα μέριμνα για το περιβάλλον και την

ενεργειακή αποδοτικότητα, καθώς και για τη διασφάλιση, κατά τον πλέον οικονομικό, διαφανή, άμεσο και αμερόληπτο τρόπο, της πρόσβασης των χρηστών (παραγωγών, προμηθευτών, πελατών) στο ΕΔΔΗΕ, προκειμένου να ασκούν τις δραστηριότητές τους, σύμφωνα με την Άδεια Διαχείρισης του ΕΔΔΗΕ και τον Κώδικα Διαχείρισης του ΕΔΔΗΕ.

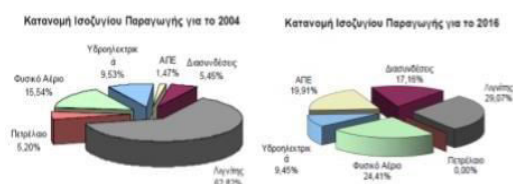
Ο ΛΑΓΗΕ [95] (Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) ιδρύθηκε με βάση το Ν 4001/2011 για τη “Λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις” (Φεκ 179/22-8-2011). Οι αρμοδιότητες του ΛΑΓΗΕ είναι κυρίως οι εξής:

- Προγραμματίζει τις εγχύσεις ηλεκτρικής ενέργειας στο ΕΣΜΗΕ, καθώς και τις απορροφήσεις ενέργειας σε αυτό, κατά τα προβλεπόμενα στον Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Υπολογίζει την Οριακή Τιμή Συστήματος
- Εκκαθαρίζει τις συναλλαγές στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού.
- Συνεργάζεται με το Διαχειριστή του ΕΣΜΗΕ σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και του Κώδικα Διαχείρισης του ΕΣΜΗΕ.
- Τηρεί ειδικό Μητρώο Συμμετεχόντων στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας και εγγράφει τους Συμμετέχοντες, σύμφωνα με τις ειδικότερες διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Παρέχει έγκαιρα και με κάθε πρόσφορο τρόπο στους Συμμετέχοντες στην Αγορά αυτή Ηλεκτρικής Ενέργειας τις απαραίτητες πληροφορίες για τη συμμετοχή τους στην Αγορά.
- Συμμετέχει σε κοινές επιχειρήσεις, ιδίως με διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς, καθώς και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενέργειας και άλλους ανάλογους φορείς, με στόχο τη δημιουργία περιφερειακών αγορών στο πλαίσιο της εσωτερικής αγοράς ενέργειας.
- Εισπράττει από τους συμμετέχοντες τέλη για τη διαχείριση και λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και τηρεί τους αναγκαίους λογαριασμούς, σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Συμμετέχει σε ενώσεις, οργανώσεις ή εταιρίες, μέλη των οποίων είναι λειτουργοί αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες έχουν σκοπό την επεξεργασία και διαμόρφωση κανόνων κοινής δράσης που συντείνουν, στο πλαίσιο της κρατικής νομοθεσίας, στη δημιουργία εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Συνάπτει συμβάσεις πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τα προβλεπόμενα στο άρθρο 12 του Ν. 3468/2006 που παράγονται από εγκαταστάσεις ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ, εφόσον οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται στο σύστημα είτε απευθείας είτε μέσω του Δικτύου, και καταβάλει τις πληρωμές που προβλέπονται στις συμβάσεις αυτές. Τα ποσά που καταβάλλονται στους αντισυμβαλλόμενους ανακτώνται κατά τα προβλεπόμενα στο άρθρο 143 του Ν. 4001/2011.
- Διενεργεί τη διευθέτηση των χρηματικών συναλλαγών στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού σε συνεργασία με τους διαχειριστές του ΕΣΜΗΕ και του ΕΔΔΗΕ.

1.4 Παραγωγή και κατανάλωση στην Ελλάδα

Σύμφωνα με την μελέτη επάρκειας του ΑΔΜΗΕ, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στο

ΕΣΜΗΕ ανέρχεται σε 17,5 GW. Διαχρονικά η κυριότερη πηγή ενέργειας στην Ελλάδα ήταν ο λιγνίτης, καθώς είναι διαθέσιμος σε μεγάλες ποσότητες. Ωστόσο, η χαμηλή του απόδοση, σε συνδυασμό με τις υψηλή επιβάρυνση του περιβάλλοντος, οδήγησαν στην αναζήτηση νέων πηγών. Σε σύγκριση με την προηγούμενη δεκαετία, έχει αυξηθεί σημαντικά η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του φυσικού αερίου. Επίσης, παρατηρείται και η ύπαρξη μιας αρκετά μεγάλης εισαγόμενης ποσότητας.



Εικόνα 1: Ποσοστιαία κατανομή παραγωγής ενέργειας για τα έτη 2004 και 2016 [99]

Η πλειονότητα του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (53% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος) αποτελείται από θερμικές μονάδες, οι οποίες περιλαμβάνουν λιγνιτικές μονάδες και μονάδες φυσικού αερίου. Οι μονάδες αυτές καλύπτουν και το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (53,5% για το 2016).

| | Εγκατεστημένη Ισχύς (MW) | (%) |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------|
| Θερμικές Μονάδες | 8.819,3 | 52,8 |
| Υδροηλεκτρικές Μονάδες με ταμιευτήρα | 3.017,7 | 18,1 |
| ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ | 4.872,4 | 29,2 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 17.528,3 | 100,0 |

Εικόνα 2: Υφιστάμενη Κατάσταση του Συστήματος Ηλεκτροπαραγωγής ανά τεχνολογία [99]

Οι κύριοι λιγνιτικοί σταθμοί βρίσκονται στην περιοχή της Πτολεμαΐδας, στη βόρεια Ελλάδα και στη περιοχή της Μεγαλόπολης, στην Πελοπόννησο. Οι μονάδες φυσικού αερίου βρίσκονται κυρίως κοντά στην περιοχή της πρωτεύουσας, όπου συγκεντρώνεται περίπου το 30% της συνολικής κατανάλωσης του Συστήματος. Ο στόλος των θερμικών μονάδων μπορεί να χαρακτηριστεί πεπαιλωμένος σε γενικές γραμμές, αφού σχεδόν οι μισές μονάδες έχουν συμπληρώσει πάνω από είκοσι χρόνια λειτουργίας, αν και την τελευταία δεκαετία τέθηκαν σε εμπορική λειτουργία πέντε νέες μονάδες συνδυασμένου κύκλου συνολικής καθαρής ισχύος 2115 MW και μία κατανεμόμενη μονάδα ΣΗΘΥΑ καθαρής ισχύος 334 MW. Αναλυτικά, οι θερμικές μονάδες είναι οι εξής:

| ΠΑΡΑΓΩΓΟΣ | ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ | ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ | ΕΓΚΑΤ/ΝΗ ΙΣΧΥΣ (ΔΙW) ¹ | ΚΑΘΑΡΗ ΙΣΧΥΣ (ΔΙW) |
|---|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Αγναιτικές Μονάδες | | | | |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου | Αγ. Δημήτριος Ι | 300 | 274 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου | Αγ. Δημήτριος ΙΙ | 300 | 274 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου | Αγ. Δημήτριος ΙΙΙ | 310 | 283 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου | Αγ. Δημήτριος ΙV | 310 | 283 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου | Αγ. Δημήτριος V | 375 | 342 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Αμυνταίου | Αμύνταιο Ι | 300 | 273 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Αμυνταίου | Αμύνταιο ΙΙ | 300 | 273 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Καρδιάς | Καρδιά Ι | 300 | 271 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Καρδιάς | Καρδιά ΙΙ | 300 | 271 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Καρδιάς | Καρδιά ΙΙΙ | 306 | 280 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Καρδιάς | Καρδιά ΙV | 306 | 280 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Μεγαλόπολης Α | Μεγαλόπολη ΙΙΙ | 300 | 255 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Μεγαλόπολης Β | Μεγαλόπολη ΙV | 300 | 256 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Μελίτης | Μελίτη Ι | 330 | 289 |
| Σύνολο ισχύος Αγναιτικών Μονάδων: | | | 4337 | 3904 |
| Μονάδες Φυσικού Αερίου Συνδεδεμένου Κύκλου (ΜΣΚ) | | | | |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Αλιβερίου | Αλιβερί V | 426,9 | 417 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Κομοτηνής | ΜΣΚ Κομοτηνής | 484,6 | 476,3 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Λαορίου | Λαόριο ΙV («Μεγάλη ΜΣΚ») | 560 | 550,2 |
| ΔΕΗ | ΑΗΣ Λαορίου | Λαόριο V («Νέο ΜΣΚ») | 385,2 | 377,6 |
| ELPEDISON ENERΓEIAKH | ΘΗΣ ΕΝΘΕΣ | ΜΣΚ ΕΝΘΕΣ | 408,4 | 400,3 |
| ΗΡΩΝ ΙΙ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΒΟΙΩΤΙΑΣ | ΘΗΣ ΗΡΩΝ ΙΙ | ΜΣΚ ΗΡΩΝ ΙΙ | 432 | 422,1 |
| ΚΟΡΙΝΘΟΣ POWER | ΘΗΣ Αγ. Θεοδώρων | ΜΣΚ Αγ. Θεοδώρων | 436,6 | 433,5 |
| ELPEDISON ENERΓEIAKH | ΘΗΣ Θιάβης | ΜΣΚ Θιάβης | 421,6 | 410 |
| PROTERGHA S.A. | ΘΗΣ Αγ. Νικολάου | ΜΣΚ Αγ. Νικολάου | 444,5 | 432,7 |
| Σύνολο ισχύος Μονάδων ΦΑ Συνδεδεμένου Κύκλου: | | | 3999,8 | 3919,7 |
| Μονάδες Φυσικού Αερίου Ανοικτού Κύκλου | | | | |
| ΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ | ΘΗΣ ΗΡΩΝ | 3 μονάδες | 148,5 | 147,8 |
| Σύνολο ισχύος Ατμοστρωβίλικών Μονάδων ΦΑ: | | | 148,5 | 147,8 |
| Κατανεμόμενες Μονάδες ΣΗΘΥΑ | | | | |
| ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ | ΘΗΣ Αλουμινίου | 3 μονάδες | 334 ⁽¹⁾ | 334 |
| Σύνολο ισχύος Κατανεμόμενων Μονάδων ΣΗΘΥΑ: | | | 334 | 334 |
| Σύνολο ισχύος Θερμοηλεκτρικών Σταθμών: | | | 8819,3 | 8305,5 |

Εικόνα 3: Υφιστάμενοι Θερμικοί Σταθμοί Παραγωγής Συνδεδεμένοι στο Σύστημα [99]

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί βρίσκονται κυρίως στη δυτική και βόρεια Ελλάδα. Ενώ η εγκατεστημένη ισχύς των υδροηλεκτρικών μονάδων στο Ελληνικό σύστημα παραγωγής είναι σημαντική (περίπου 18%), η συνεισφορά τους στο ενεργειακό ισοζύγιο είναι σχετικά μικρή. Η περιορισμένη διαθεσιμότητα νερών έχει ως αποτέλεσμα οι υδροηλεκτρικές μονάδες να χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την κάλυψη αιχμών. Η παραγωγή των Υ/Η μονάδων κατά την τελευταία δεκαετία γίνεται με συντελεστή χρησιμοποίησης που κυμαίνεται από 10-20%, ανάλογα με τις υδραυλικές συνθήκες κάθε έτους.

Έχουμε τους εξής σταθμούς:

| ΠΑΡΑΓΩΓΟΣ | ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ | ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ | ΕΓΚΑΤ. ΉΧΥΣ (ΜW) ¹ | ΚΑΘΑΡΗ ΉΧΥΣ (ΜW) |
|--------------------------------------|-------------------------|---|-------------------------------|------------------|
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Αγριά | Αγριά Ι | 25 | 25 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Αγριά | Αγριά ΙΙ | 25 | 25 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Ασοματιαν | Ασοματιαν Ι | 54 | 54 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Ασοματιαν | Ασοματιαν ΙΙ | 54 | 54 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Ελευσίνας | Ελευσίνας | 19 | 19 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Θρακοπού | Θρακοπού Ι (Αναπνεύσιμη - επίγειοι μονάδες) | 128 | 128 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Θρακοπού | Θρακοπού ΙΙ (Αναπνεύσιμη - επίγειοι μονάδες) | 128 | 128 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Θρακοπού | Θρακοπού ΙΙΙ (Αναπνεύσιμη - επίγειοι μονάδες) | 128 | 128 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Καστρικίου | Καστρικίου Ι | 80 | 80 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Καστρικίου | Καστρικίου ΙΙ | 80 | 80 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Καστρικίου | Καστρικίου ΙΙΙ | 80 | 80 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Καστρικίου | Καστρικίου ΙV | 80 | 80 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Κοζιματιαν | Κοζιματιαν Ι | 109,3 | 109,3 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Κοζιματιαν | Κοζιματιαν ΙΙ | 109,3 | 109,3 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Κοζιματιαν | Κοζιματιαν ΙΙΙ | 109,3 | 109,3 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Κοζιματιαν | Κοζιματιαν ΙV | 109,3 | 109,3 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Λαδωνα | Λαδωνα Ι | 35 | 35 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Λαδωνα | Λαδωνα ΙΙ | 35 | 35 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Πηλιαν Αλάου | Πηλιαν Αλάου Ι | 105 | 105 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Πηλιαν Αλάου | Πηλιαν Αλάου ΙΙ | 105 | 105 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Πλαστριν (Τετραπας) | Πλαστριν Ι | 43,3 | 43,3 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Πλαστριν (Τετραπας) | Πλαστριν ΙΙ | 43,3 | 43,3 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Πλαστριν (Τετραπας) | Πλαστριν ΙΙΙ | 43,3 | 43,3 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Πελαγονίδων | Πελαγονίδων Ι | 28 | 28 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Πελαγονίδων | Πελαγονίδων ΙΙ | 28 | 28 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Πολίαισσου | Πολίαισσου Ι | 125 | 125 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Πολίαισσου | Πολίαισσου ΙΙ | 125 | 125 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Πολίαισσου | Πολίαισσου ΙΙΙ | 125 | 125 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Ποσειδωνίου Ι | Ποσειδωνίου Ι, Μονάδα Ι | 100 | 100 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Ποσειδωνίου Ι | Ποσειδωνίου Ι, Μονάδα ΙΙ | 100 | 100 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Ποσειδωνίου Ι | Ποσειδωνίου Ι, Μονάδα ΙΙΙ | 100 | 100 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Ποσειδωνίου ΙΙ | Ποσειδωνίου ΙΙ, Μονάδα Ι | 16 | 16 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Ποσειδωνίου ΙΙ | Ποσειδωνίου ΙΙ, Μονάδα ΙΙ | 16 | 16 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Ποσειδωνίου ΙΙ | Ποσειδωνίου ΙΙ, Μονάδα ΙΙΙ | 16 | 16 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Σπυριδιου | Σπυριδιου Ι | 75 | 75 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Σπυριδιου | Σπυριδιου ΙΙ | 75 | 75 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Σφονκιός | Σφονκιός Ι (Αναπνεύσιμη - επίγειοι μονάδες) | 105 | 105 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Σφονκιός | Σφονκιός ΙΙ (Αναπνεύσιμη - επίγειοι μονάδες) | 105 | 105 |
| ΔΕΗ | ΥΗΕ Σφονκιός | Σφονκιός ΙΙΙ (Αναπνεύσιμη - επίγειοι μονάδες) | 105 | 105 |
| Σύνολο ισχύος Υδροηλεκτρικών Μονάδων | | | 3917,7 | 3917,7 |

Εικόνα 4: Υφιστάμενοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Παραγωγής Συνδεδεμένοι στο Σύστημα [99]

Ήδη έχει χορηγηθεί ιδιαίτερα μεγάλος αριθμός Αδειών Παραγωγής για έργα ΑΠΕ περί τα 30 GW σε όλη τη χώρα. Οι Άδειες αυτές αφορούν κυρίως αιολικά πάρκα (Α/Π) και φωτοβολταϊκούς σταθμούς (Φ/Β) και σε μικρότερη έκταση μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς (ΜΥΗΣ) και σταθμούς καύσης βιομάζας ή βιοαερίου (ΣΒΙΟ). Επίσης, περιλαμβάνονται και οι σταθμοί συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ). Έως το τέλος του 2016, στο ΕΣΜΗΕ λειτουργούσαν σταθμοί ΑΠΕ συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 4872 MW, εκ των οποίων τα 2047 MW αφορούν Α/Π και τα 2444 MW Φ/Β (συμπεριλαμβανομένων των Φ/Β του Ειδικού Προγράμματος ΦΕΚ Β 1079/2009). Παράλληλα, έχουν χορηγηθεί Οριστικές Προσφορές Σύνδεσης για επιπλέον 127 σταθμούς ΑΠΕ συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 2647 MW για σύνδεση στο Σύστημα (χωρίς να περιλαμβάνονται οι Σταθμοί αρμοδιότητας ΔΕΔΔΗΕ). Από το γενικό σύνολο των 127 Οριστικών Προσφορών Σύνδεσης, οι 119 αφορούν Α/Π ισχύος 2400 MW περίπου.

| ΕΙΔΟΣ | ΉΧΥΣ (ΜW) | | |
|--------|---|--|------------------------------|
| | Με μη Δεσμεντικές Προσφορές Σύνδεσης ⁽¹⁾ | Με Οριστικές Προσφορές Σύνδεσης ⁽¹⁾ | Σε λειτουργία ⁽²⁾ |
| Α/Π | 16745 | 2403 | 2047 |
| ΜΥΗΣ | 220 | 4 | 223 |
| ΣΗΘΥΑ | 73 | 0 | 100 |
| Φ/Β | 2065 | 240 | 2444 |
| ΣΒΙΟ | 65 | 0 | 57 |
| ΗΘ | 121 | 0 | 0 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 19289 | 2647 | 4871 |

Εικόνα 5: Ισχύς των Σταθμών Παραγωγής ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ [99]

Όσον αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, την τελευταία δεκαετία υπήρξε μια στασιμότητα, αν όχι πτώση. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί κυρίως στην οικονομική κρίση που αντιμετώπισε η Ελλάδα. Ωστόσο, οι προβλέψεις για την επόμενη δεκαετία προβλέπουν μια ελαφρώς αυξητική πορεία.

| Έτος | Καθαρό Φορτίο Συστήματος ⁽¹⁾ (GWh) | Ετήσια μεταβολή | Συνολική Καθαρή Ζήτηση (GWh) | Ετήσια μεταβολή | Μέση ετήσια μεταβολή | | |
|------|---|-----------------|------------------------------|-----------------|----------------------|------------------|------------------|
| | | | | | 10-ετία 2007-2016 | 5-ετία 2012-2016 | 3-ετία 2014-2016 |
| 2006 | 53 597 | | 53 990 | | | | |
| 2007 | 55 253 | 3.09% | 55 690 | 3.15% | | | |
| 2008 | 55 675 | 0.76% | 56 310 | 1.11% | | | |
| 2009 | 52 436 | -5.56% | 53 490 | -5.01% | | | |
| 2010 | 52 329 | -0.20% | 53 545 | 0.10% | | | |
| 2011 | 51 492 | -1.60% | 52 915 | -1.18% | | | |
| 2012 | 50 289 | -2.34% | 52 611 | -0.58% | -0.93% | | |
| 2013 | 46 450 | -7.63% | 50 664 | -3.70% | | | |
| 2014 | 45 766 | -1.47% | 50 228 | -0.86% | | -0.67% | |
| 2015 | 46 641 | 1.91% | 51 355 | 2.24% | | | 0.97% |
| 2016 | 46 478 | -0.35% | 51 212 | -0.28% | | | |

Εικόνα 6: Εξέλιξη της Καθαρής Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας στο ΕΣΜΗΕ [99]

| Σενάριο | ΧΑΜΗΛΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ | ΑΝΑΦΟΡΑΣ | ΥΨΗΛΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ |
|---------|-----------------|----------|----------------|
| Έτος | (GWh) | | |
| 2017 | 52440 | 52600 | 52770 |
| 2018 | 53360 | 53720 | 54070 |
| 2019 | 54130 | 54700 | 55280 |
| 2020 | 56310 | 57110 | 57920 |
| 2021 | 56670 | 57690 | 58730 |
| 2022 | 56800 | 58050 | 59320 |
| 2023 | 56940 | 58420 | 59920 |
| 2024 | 57080 | 58780 | 60530 |
| 2025 | 59080 | 61010 | 63100 |
| 2026 | 59270 | 61440 | 63790 |
| 2027 | 59460 | 61840 | 64430 |

Εικόνα 7: Σενάρια ΑΔΜΗΕ για την εξέλιξη της συνολικής ζήτησης ενέργειας στο ΕΣΜΗΕ [99]

1.5 Τιμολόγηση σε Ελλάδα και real time pricing σε εξωτερικό

1.5.1 Κατάσταση στην Ελλάδα

Οφείλουμε αρχικά να επισημάνουμε πως οι έννοιες “πάροχοι” και “παραγωγοί” δεν θα πρέπει να συγχέονται, διότι παραγωγοί είναι αυτοί που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω λιγνίτη, φυσικού αερίου ή άλλων πρώτων υλών, ενώ πάροχοι αυτοί που αγοράζουν την ενέργεια που παράχθηκε και την πουλάνε μετά στους καταναλωτές. Οι πάροχοι έχουν δηλαδή ρόλο διαμεσολαβητή. Οι ρόλοι τους είναι διακριτοί, αν και στην Ελλάδα τις περισσότερες φορές τυχαίνει οι παραγωγοί να είναι και πάροχοι ταυτόχρονα.

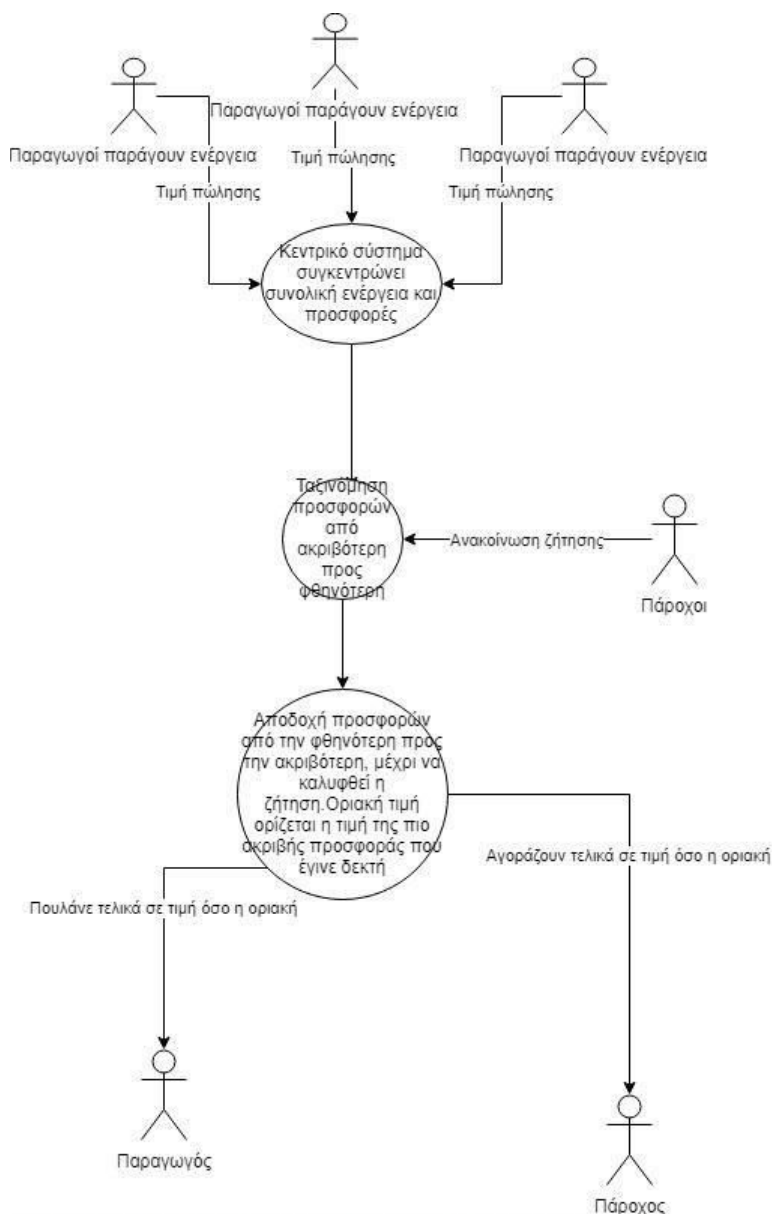
Σύμφωνα με τον [58], οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα αυτή τη στιγμή προσφέρουν είτε σταθερά επίπεδα τιμολόγησης, είτε διαφορετική χρέωση νυχτερινών και μη νυχτερινών ωρών, είτε κλιμακούμενη χρέωση ανάλογα με τα επίπεδα κατανάλωσης, είτε κάποιο συνδυασμό των παραπάνω [47-57], [5-14].

Οι πάροχοι, με τη σειρά τους, προμηθεύονται την ενέργεια αγοράζοντάς την έμμεσα από τους παραγωγούς. Όλη η παραγόμενη ενέργεια συγκεντρώνεται σε ένα υποχρεωτικό “electricity pool”. Η τιμή στην οποία γίνεται η πώληση ενέργειας από παραγωγούς σε παρόχους

ονομάζεται οριακή τιμή συστήματος και καθορίζεται από το συνδυασμό των προσφορών τιμών και ποσοτήτων που υποβάλλουν κάθε μέρα οι διαθέσιμες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και του ωριαίου φορτίου ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας που διαμορφώνεται σε καθημερινή βάση από τους καταναλωτές.

Για να είμαστε πιο ακριβείς, η οριακή τιμή καθορίζεται με τον εξής τρόπο:

- 1) Οι παραγωγοί παράγουν.
- 2) Κάθε μονάδα παραγωγής που παρήγαγε ανακοινώνει μια τιμή πώλησης της ενέργειάς της.
- 3) Η συνολική ποσότητα που παράχθηκε θεωρείται ως “electricity pool”.
- 4) Οι τιμές πώλησης που δόθηκαν από τις μονάδες κατατάσσονται στη σειρά, από την μεγαλύτερη στην μικρότερη.
- 5) Ανακοινώνεται η πρόβλεψη της συνολικής ζήτησης για τις επόμενες ώρες.
- 6) Το σύστημα υπολογίζει ποιες από τις προσφορές θα πρέπει να γίνουν δεκτές για να καλυφθεί η ζήτηση, ξεκινώντας από την πιο φτηνή προς την πιο ακριβή.
- 7) Η τιμή της πιο ακριβής προσφοράς που πρέπει να γίνει δεκτή θεωρείται οριακή τιμή.
- 8) Όλοι οι παραγωγοί πουλάνε τελικά σε αυτήν την τιμή και όλοι οι πάροχοι αγοράζουν σε αυτήν την τιμή.



Εικόνα 8: Πώληση ενέργειας από παραγωγούς σε παρόχους [99]

Υπάρχει ένα κατώτερο όριο στις προσφορές του βήματος 2) , έτσι ώστε να καλύπτονται τα κόστη παραγωγής των παραγωγών. Σε αντίθετη περίπτωση, ο ανταγωνισμός μεταξύ των παραγωγών θα είχε εξωθήσει τις τιμές σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Μπορεί παραγωγοί σκόπιμα να έκαναν πολύ χαμηλές προσφορές, έτσι ώστε να οδηγήσουν σε χρεοκοπία τους αντιπάλους τους. Εκτός από κατώτερο όριο, υπάρχει και ανώτερο όριο ίσο με 0.15 ευρώ ανά KW, προκειμένου να αποφευχθεί το ακριβώς αντίθετο σενάριο : συνεργασία των παραγωγών σε βάρος των προμηθευτών.

Η κεντρική ιδέα του “energy pool” είναι ότι διαχωρίζει την παραγωγή από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας σε περισσότερες εταιρίες να εισέλθουν στην αγορά και να πουλήσουν ηλεκτρισμό, ακόμα και αν δεν μπορούν να παράγουν οι ίδιες. Στην Ελλάδα όμως, τυχαίνει οι περισσότεροι παραγωγοί να είναι και πάροχοι. Έτσι, λοιπόν, για να εμποδίσουν τις υπόλοιπες εταιρίες να εισέλθουν στην αγορά, θέτουν υψηλές προσφορές, έτσι ώστε να προκύψει αναγκαστικά υψηλή οριακή τιμή. Αυτή είναι και μία από τις αιτίες που πρόκειται να γίνει και πώληση λιγνιτικών μονάδων της ΔΕΗ. Όσο η ΔΕΗ ελέγχει ένα τόσο μεγάλο ποσοστό της παραγωγής, είναι σχεδόν αδύνατο να μειωθεί η οριακή τιμή, επειδή η ΔΕΗ καταθέτει υψηλές προσφορές, γνωρίζοντας πως δεν μπορεί να ικανοποιηθεί η ζήτηση χωρίς να γίνουν αποδεκτές. Σε περίπτωση που αναλάβουν άλλες εταιρίες όμως τμήματα της παραγωγής, θα μπορεί πλέον να ικανοποιηθεί η ζήτηση και χωρίς να γίνονται δεκτές οι προτάσεις της ΔΕΗ, και έτσι η οριακή τιμή θα μειωθεί. Αξίζει να σημειωθεί πως αυτό θεωρητικά θα είναι και για τον καταναλωτή ωφέλιμο, καθώς αν οι πάροχοι αποκτούν ενέργεια σε χαμηλότερο κόστος από τους παραγωγούς, θα μπορούν και να πουλήσουν και αυτοί σε χαμηλότερες τιμές.

152 Real time pricing

Η δημιουργία των έξυπνων μετρητών και η γενικότερη πρόοδος στον τομέα του Internet of Things (IoT) έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη μιας νέας μεθόδου δυναμικής τιμολόγησης, γνωστή ως τιμολόγηση πραγματικού χρόνου (real time pricing) [97][98]. Στο real time pricing οι χρήστες χρεώνονται ανά ώρα, ανάλογα με την ποσότητα που κατανάλωσαν. Οι τιμές μεταβάλλονται κάθε ώρα και οι χρήστες έχουν γνώση αυτών.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργία αυτού του συστήματος είναι η εγκατάσταση έξυπνων μετρητών από την πλευρά των πελατών, έτσι ώστε να μπορεί να μετράται η ποσότητα που καταναλώνουν οι καταναλωτές. Έπειτα, θα πρέπει οι πληροφορίες σχετικά με τις τιμές και τα επίπεδα κατανάλωσης να ανταλλάσσονται μεταξύ επιχειρήσεων και καταναλωτών.

Θεωρητικά από αυτό το είδος τιμολόγησης μπορούν να επωφεληθούν τόσο οι επιχειρήσεις όσο και οι καταναλωτές. Χρεώνοντας περισσότερο τις ώρες με υψηλή ζήτηση, ο καταναλωτής έχει κίνητρο να μειώσει την κατανάλωσή του εκείνες τις ώρες και να προτιμήσει να πραγματοποιήσει κάποιες δραστηριότητές του κατά τη διάρκεια των πιο φτηνών ωρών. Ταυτόχρονα όμως κερδίζει και η επιχείρηση, γιατί μειώνοντας το φορτίο αιχμής, δεν χρειάζεται να χρησιμοποιήσει τους πιο ακριβούς και λιγότερο αποδοτικούς παραγωγικούς σταθμούς της. Μακροπρόθεσμα μπορεί να εξοικονομήσει ακόμα περισσότερα χρήματα η επιχείρηση, καθώς όσο μικρότερη είναι η μέγιστη κατανάλωση, τόσο μικρότερη παραγωγική δυνατότητα χρειάζεται για να ικανοποιηθεί τη ζήτηση. Η ομοιομορφία της ζήτησης κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι προς όφελός της.

Πρακτικά ωστόσο, δεν έχει υπάρξει έως τώρα η αναμενόμενη ανταπόκριση από τους καταναλωτές. Αρχικά βασικό εμπόδιο αποτελεί η δυσπιστία των καταναλωτών [97]. Χωρίς να υπάρχει κάποια διαβεβαίωση ότι δεν θα υπάρξει κάποια υπερβολική και ξαφνική άνοδος

τιμών, δεν είναι διατεθειμένοι να λάβουν το ρίσκο. Έπειτα, πολλές φορές τα προγράμματα real time pricing είναι διατυπωμένα με δυσνόητο τρόπο και δε γίνονται κατανοητά. Ακόμα, τα κόστη για την εγκατάσταση της απαιτούμενης τεχνολογίας δεν είναι αμελητέα.

Αυτή τη στιγμή, το real time pricing εφαρμόζεται εν μέρη ήδη σε χώρες όπως η Φιλανδία, η Εσθονία, η Ισπανία και η Δανία. Στην Ελλάδα δεν προβλέπεται κάποια ανάλογη εξέλιξη στο άμεσο μέλλον, αλλά δεδομένου ότι μακροπρόθεσμα το πιο πιθανό είναι πως θα καθιερωθεί κάποια στιγμή, αξίζει να αναπτύξουμε αλγόριθμο τιμολόγησης για αυτήν την μελλοντική κατάσταση.

1.5.3 Στόχος διπλωματικής

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να αναπτύξει 2 αλγορίθμους τιμολόγησης :

- Ο πρώτος αναφέρεται σε σενάριο real time pricing. Θεωρούμε πως κάθε ώρα αλλάζουν οι τιμές και ο καταναλωτής έχει δικαίωμα κάθε ώρα να επιλέξει όποια εταιρία επιθυμεί. Στο υπόλοιπο κείμενο θα αναφερόμαστε σε αυτόν τον αλγόριθμο ως “ωριαίο μοντέλο”.
- Ο δεύτερος αναφέρεται σε σενάριο στο οποίο οι τιμές είναι σταθερές για ένα ολόκληρο εξάμηνο. Πάλι θεωρούμε πως οι καταναλωτές έχουν δικαίωμα επιλογής εταιρίας ανά ώρα. Στο υπόλοιπο κείμενο θα αναφερόμαστε σε αυτόν τον αλγόριθμο με τον όρο “εξαμηνιαίο μοντέλο”

Παράλληλα, θα αναπτύξουμε 2 νέους αλγορίθμους, που θα συμπεριλαμβάνουν στοιχεία marketing.

Αφού πρώτα αναλύσουμε σε θεωρητικό επίπεδο τους αλγορίθμους, θα τους προσαρμόσουμε μετά στα ελληνικά δεδομένα, επιλέγοντας κατάλληλες τιμές για τις παραμέτρους. Στη συνέχεια θα πραγματοποιήσουμε προσομοιώσεις υπό διάφορα σενάρια και θα αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα.

Στο επόμενο κεφάλαιο ακολουθεί η θεωρητική ανάλυση.

2 Θεωρητική Ανάλυση

2.1 Απλά οικονομικά μοντέλα

2.1.1 Εισαγωγή

Αναντίρρητα το ζήτημα επιλογής βέλτιστης τιμής για το ηλεκτρικό ρεύμα δεν είναι κάτι καινούριο. Αντιθέτως, είναι ένα πρόβλημα που υφίσταται εδώ και αρκετές δεκαετίες. Παρά το γεγονός ότι έχουν καταβληθεί πολλές προσπάθειες για την εύρεση αποδοτικών λύσεων, η πολύπλοκη φύση του προβλήματος καθιστά δύσκολο αυτό το εγχείρημα. Η αδυναμία πρόβλεψης της ζήτησης, η μη ακρίβεια στον υπολογισμό των κοστών παραγωγής, η απρόβλεπτη συμπεριφορά των καταναλωτών, τα πολλές φορές μη προσδιορίσιμα κόστη μεταφοράς και πολλοί άλλοι παράγοντες αποτελούν τροχοπέδη σε οποιαδήποτε προσπάθεια.

Σε θεωρητικό επίπεδο ωστόσο, αν παραμερίσουμε τα πρακτικά προβλήματα, πλήθος απλών και σύνθετων μοντέλων έχουν προταθεί, με αμφιλεγόμενη επιχειρηματική αξία. Κάποια από αυτά βασίζονται σε γενικής χρήσεως ολιγοπωλιακές οικονομικές θεωρίες που είναι κοινές και εφαρμόσιμες για όλα τα αγαθά. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν μοντέλα όπως το Cournot και το Cartel [82]. Κοινό χαρακτηριστικό η ύπαρξη μόνο λίγων αλλά μεγάλων παραδοχών, οι οποίες επιβάλλουν και έναν συγκεκριμένο, ενδεδειγμένο τρόπο λύσης του προβλήματος. Άλλα, πιο πολύπλοκα μοντέλα, στηρίζονται στην μοντελοποίηση του προβλήματος και την εφαρμογή αρχών της θεωρίας παιγνίων. Και οι δύο προσεγγίσεις έχουν τα προτερήματά τους.

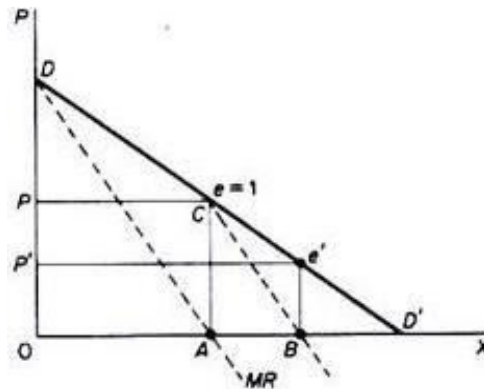
Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιάσουμε αναλυτικά κάποια από τα πιο δημοφιλή “απλά” ολιγοπωλιακά μοντέλα, ενώ στην ενότητα 2.2 θα αναλύσουμε τα νεότερα μοντέλα θεωρίας παιγνίων.

2.1.2 Cournot Duopoly Model

Το πιο παλιό από τα ολιγοπωλιακά μοντέλα είναι το Cournot Duopoly Model [77]. Προτάθηκε για πρώτη φορά το 1838 από τον Augustin Cournot. Στην αρχική εκδοχή που προτάθηκε, έχουμε 2 μόνο εταιρίες, οι οποίες είχαν ίδια κόστη παραγωγής, τα οποία μάλιστα ήταν και μηδενικά. Για την ακρίβεια, 2 εταιρίες προμηθεύονταν μεταλλικό νερό από πηγή και το πουλούσαν σε καταναλωτές, των οποίων η ζήτηση ήταν της μορφής που φαίνεται στην εικόνα.

Κεντρική ιδέα είναι πως κάθε εταιρία λειτουργεί με την υπόθεση ότι ο ανταγωνιστής της δεν θα αλλάξει την παραγόμενη ποσότητά του και έτσι το μόνο που έχει να κάνει είναι να αποφασίσει τι ποσότητα θα παράγει η ίδια για να μεγιστοποιήσει τα κέρδη της με αυτά τα δεδομένα.

Αυτή η προσέγγιση, εκτός από το γεγονός ότι δεν είναι ρεαλιστική, έχει και κάποια εμφανή μειονεκτήματα. Ας δούμε αναλυτικά τι θα συμβεί σε αυτό το πολύ απλό παράδειγμα:



Εικόνα 9: Παράδειγμα Cournot [77]

Ας υποθέσουμε ότι η εταιρία A ξεκινάει να πουλάει πρώτη. Για να μεγιστοποιήσει τα έσοδά της, συμφέρει να πουλήσει ποσότητα $A=1/2$. Τώρα είναι η σειρά της εταιρίας B να αποφασίσει. Νομίζοντας πως η εταιρία A δεν θα αλλάξει ποσότητα παραγωγής, οτι και αν κάνει αυτή, σκέφτεται πως της απομένει η μισή ζήτηση που δεν έχει καλυφθεί, και τελικά παράγει ποσότητα B ίση με το μισό της μισής (δηλαδή το $1/4$ της συνολικής ζήτησης).

Τώρα είναι η σειρά της εταιρίας A πάλι. Σκεπτόμενη πως δεν θα αντιδράσει η B, παράγει όσο το $1/2$ της αγοράς που δεν παράγει η εταιρία 2, δηλαδή παράγει $1/2 * 3/4 = 3/8$.

Η B τώρα με τη σειρά της θα παράξει $1/2 * (1 - 3/8) = 5/16$. Τελικά συνεχίζοντας έτσι, αποδεικνύεται ότι θα υπάρξει ισορροπία στο τέλος και κάθε μία θα καλύπτει το $1/3$ της αγοράς.

Πιο αναλυτικά, συμβαίνει το εξής:

Η ποσότητα προσφοράς της εταιρίας A σε συνεχόμενες περιόδους είναι:

Πίνακας 1: Παράδειγμα Cournot, εταιρία A

| Περίοδος | Προσφερόμενη ποσότητα εταιρίας A |
|----------|--|
| 1 | $\frac{1}{2}$ |
| 2 | $\frac{1}{2}(1 - \frac{1}{4}) = \frac{3}{8} = \frac{1}{2} - \frac{1}{8}$ |
| 3 | $\frac{1}{2}(1 - \frac{5}{16}) = \frac{11}{32} = \frac{3}{8} - \frac{1}{32}$ |
| 4 | $\frac{1}{2}(1 - \frac{42}{128}) = \frac{43}{128} = \frac{11}{32} - \frac{1}{128}$ |

Παρατηρούμε ότι το A μειώνεται σταδιακά. Μπορούμε να ξαναγράψουμε την έκφραση ως εξής:

$$\begin{aligned}
 \acute{o} \quad \acute{o} \quad \acute{i} &= \frac{1}{2} - \frac{1}{8} - \frac{1}{32} - \frac{1}{128} \dots \\
 &= \frac{1}{2} - \left[\frac{1}{8} + \frac{11}{84} + \frac{11}{84} \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \frac{11}{84} \left(\frac{1}{4}\right)^3 + \dots \right]
 \end{aligned}$$

Η έκφραση στις αγκύλες είναι φθίνουσα γεωμετρική πρόοδος με λόγο $r=1/4$. Εφαρμόζοντας τον τύπο για το άθροισμα γεωμετρικής προόδου

$$= \frac{a}{1-r}$$

όπου a είναι ο πρώτος όρος της προόδου, λαμβάνουμε:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{1}{2} \right)^i = \frac{1}{2} - \frac{\frac{1}{8}}{\left(1 - \frac{1}{4}\right)} = \frac{1}{2} - \frac{\frac{1}{8}}{\frac{3}{4}} = \frac{1}{2} - \frac{4}{24} = \frac{1}{3}$$

Η ποσότητα προσφοράς της εταιρίας B σε συνεχόμενες περιόδους είναι

Πίνακας 2: Παράδειγμα Cournot, εταιρία B

| Περίοδος | Προσφερόμενη ποσότητα εταιρίας B |
|----------|---|
| 1 | $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ = $\frac{1}{4}$ |
| 2 | $\frac{1}{2}$ $(1 - \frac{3}{8})$ = $\frac{5}{16}$ = $\frac{1}{4}$ + $\frac{1}{16}$ |
| 3 | $\frac{1}{2}$ $(1 - \frac{11}{32})$ = $\frac{21}{64}$ = $\frac{5}{16}$ + $\frac{1}{64}$ |
| 4 | $\frac{1}{2}$ $(1 - \frac{43}{128})$ = $\frac{85}{256}$ = $\frac{21}{64}$ + $\frac{1}{256}$ |

Παρατηρούμε ότι το B αυξάνεται με φθίνων ρυθμό. Γράφουμε:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{1}{4} \right)^i = \frac{1}{4} + \frac{1}{4^2} + \frac{1}{4^3} + \dots$$

Εφαρμόζοντας την παραπάνω έκφραση για το άθροισμα φθίνουσας γεωμετρικής προόδου, βρίσκουμε:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \left(\frac{1}{4} \right)^i = \frac{\frac{1}{4}}{\left(1 - \frac{1}{4}\right)} = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{3}{4}} = \frac{1}{3}$$

Βλέπουμε πως ενώ θα μπορούσαν να είχαν συνεργαστεί οι εταιρίες και να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους, σκεφτόταν η κάθε μία το δικό της βραχυπρόθεσμο όφελος. Η κάθε εταιρία θεωρούσε ότι η άλλη είναι αρκετά ανόητη ώστε να μην αντιδράσει. Τελικά και οι δύο εταιρίες, αρνούμενες να μάθουν από τη συμπεριφορά της άλλης, δεν πέτυχαν το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Όταν τα κόστη παραγωγής δεν είναι μηδενικά, πάλι αποδεικνύεται ότι υπάρχει ισορροπία και ότι τα συνολικά κέρδη δε μεγιστοποιούνται. Επειδή η απόδειξη υπερβαίνει τους σκοπούς αυτής της διπλωματικής εργασίας, ο αναγνώστης παροτρύνεται να ανατρέξει στο [77] για περισσότερες πληροφορίες.

2.13 Γενικευμένο μοντέλο Cournot

Όσα αναφέρθηκαν πριν μπορούν να γενικευτούν και για μεγαλύτερο αριθμό εταιριών. Αν έχουμε 3 εταιρίες, αποδεικνύεται πως η κάθε μία θα καλύψει το $1/4$ της ζήτησης. Στη γενική περίπτωση των k εταιριών, κάθε μία καλύπτει το $1/(k+1)$ της ζήτησης. Όσο πιο πολλές εταιρίες εισέλθουν στην αγορά τόσο μεγαλύτερο μερίδιο της ζήτησης καλύπτεται, η τιμή γίνεται όλο και πιο μικρή και τελικά το μοντέλο αρχίζει να προσεγγίζει τον τέλει ανταγωνισμό. Γενικά στο Cournot οι εταιρίες ανταγωνίζονται σε επίπεδο ποσοτήτων και όχι

τιμών. Η σκέψη τους είναι “Ποια ποσότητα θα μεγιστοποιήσει τα κέρδη μου?” και όχι “Ποια τιμή θα μεγιστοποιήσει τα κέρδη μου?”

Το μοντέλο του κεφαλαίου 2.1.3 έχει όλες τις έμφυτες αδυναμίες αυτού του κεφαλαίου 2.1.2, αλλά η υπόθεση ότι ούτε μία από τις υπόλοιπες $k-1$ εταιρίες δεν θα αντιδράσει γίνεται όλο και πιο παράλογη όσο αυξάνεται το k .

Όπως είναι λογικό, το μοντέλο έχει δεχτεί πολύ αυστηρή κριτική, κυρίως για το γεγονός ότι κάθε εταιρία αποφασίζει μη λαμβάνοντας υπόψιν τις αντιδράσεις των υπολοίπων.

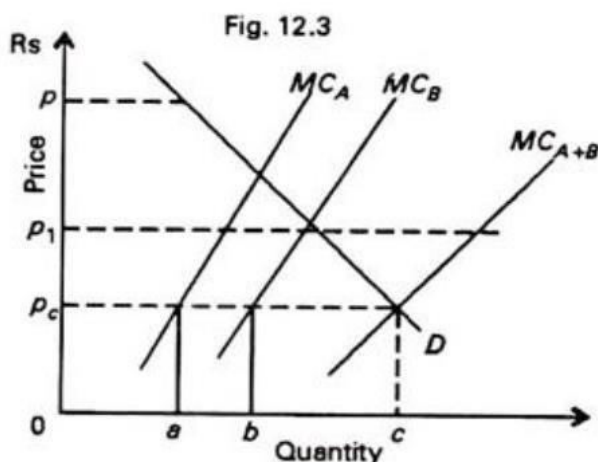
Κριτική όμως έχει ασκηθεί και για το γεγονός ότι οι εταιρίες δεν εξετάζουν το ενδεχόμενο να τροποποιήσουν τις τιμές τους αντί για την ποσότητα. Ο Bertrand συγκεκριμένα, υποστήριξε ότι στο παράδειγμα των 2 εταιριών που πρότεινε ο Cournot, αντί για ανταγωνισμό σε επίπεδο ποσότητας θα γινόταν πόλεμος τιμών. Αυτός ο διαφορετικός τρόπος σκέψης οδήγησε και το μοντέλο Bertrand το οποίο θα εξετάσουμε αμέσως μετά.

2.14 Μοντέλο Bertrand

Σε αντίθεση με τον Cournot, ο Bertrand υποθέτει πως οι εταιρίες ανταγωνίζονται σε επίπεδο τιμής και όχι ποσότητας [79]. Επίσης, γίνεται η παραδοχή πως όλοι οι καταναλωτές θα προτιμήσουν την πιο φτηνή επιχείρηση, χωρίς καμία εξαίρεση. Στόχος κάθε εταιρίας επομένως είναι να είναι πιο φτηνή από τις υπόλοιπες, έτσι ώστε να συγκεντρώσει το σύνολο των καταναλωτών υπό τον έλεγχό της.

Οι εταιρίες διαρκώς μειώνουν τιμές όσο η τιμή υπερβαίνει το οριακό κόστος στο τρέχον επίπεδο πωλήσεων. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, η αρχική τιμή p είναι υψηλότερη από τα οριακά κόστη των εταιριών A και B . Σταδιακά αρχίζει να μειώνεται η τιμή, μέχρι που φτάνουμε στο σημείο p_c της εικόνας. Σε εκείνο το σημείο η αθροιστική καμπύλη προσφοράς των 2 εταιριών τέμνεται με την καμπύλη ζήτησης και τα οριακά κόστη ίσα με την τιμή. Η εταιρία A ελέγχει μερίδιο a και η εταιρία B μερίδιο b σε αυτό το σημείο.

Ωστόσο, δεν υπάρχει ισορροπία στο μοντέλο, καθώς αν για οποιαδήποτε λόγο η τιμή πέσει κάτω από p_c , παρά το γεγονός ότι η ζήτηση υπερβαίνει την προσφορά, κανείς δεν θα τολμήσει να ανεβάσει την τιμή, γιατί δεδομένου ότι όλοι οι καταναλωτές προτιμούν την πιο φτηνή επιχείρηση, θα χάσει τα πάντα.

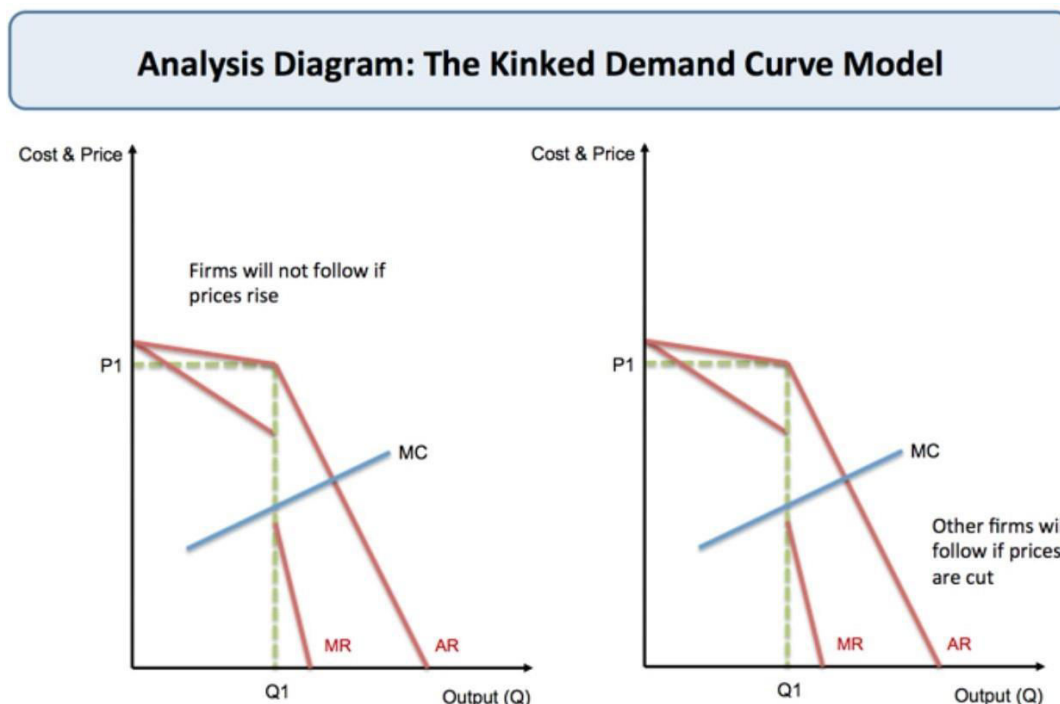


Εικόνα 10: Παράδειγμα Bertrand [79]

Όπως είναι αναμενόμενο, και αυτό το μοντέλο έχει δεχτεί σκληρή κριτική, κυρίως για την υπόθεση ότι όλοι οι καταναλωτές επιλέγουν την πιο φτηνή εταιρία. Ακόμα και αν δεχτούμε όμως ότι όλοι οι καταναλωτές επιλέγουν την πιο φτηνή εταιρία, πάλι υπάρχουν προβλήματα. Το μοντέλο σιωπηλά θεωρεί δεδομένο ότι κάθε επιχείρηση είναι σε θέση να καλύψει μόνη της το σύνολο της ζήτησης και έτσι ο ηττημένος (αυτός με την μεγαλύτερη τιμή) χάνει τα πάντα. Στην πραγματικότητα η ζήτηση στις περισσότερες αγορές είναι πολύ μεγαλύτερη από την παραγωγική δυνατότητα μιας εταιρίας, οπότε το μοντέλο του Bertrand δεν έχει λογική. Ακόμα και αν μια εταιρία είναι ακριβότερη, κάποιιοι πελάτες δεν θα μπορούν να εξυπηρετηθούν από την φτηνή εταιρία, οπότε αναγκαστικά θα επιλέξουν την ακριβή. Έτσι, η ακριβότερη εταιρία όχι μόνο θα έχει πελάτες, αλλά είναι πολύ πιθανό να έχει και μεγαλύτερο κέρδος μάλιστα αν επιβάλλει μια πολύ μεγάλη τιμή. Αυτό το πρόβλημα προσπάθησε να αντιμετωπίσει ο Edgeworth αρχικά και μετέπειτα πολλοί άλλοι που προσπάθησαν με διάφορες τροποποιήσεις να βελτιώσουν το μοντέλο [80].

2.15 Μοντέλο Kinked Demand

Αυτό το μοντέλο [81] είναι αρκετά πιο ρεαλιστικό από τα προηγούμενα. Υποθέτει ότι έχει ήδη διαμορφωθεί μια τιμή στην αγορά και ότι οι εταιρίες πάντα ανταποδίδουν αν μία μειώσει τιμή, ενώ δεν αντιδρούν αν αυξήσει την τιμή. Όταν μια εταιρία αυξάνει την τιμή, χάνει ένα πολύ σημαντικό μερίδιο ζήτησης από τις άλλες και τελικά μειώνονται τα κέρδη της, ενώ όλες οι άλλες εταιρίες αποκτούν επιπλέον μερίδιο αγοράς και αυξάνονται τα κέρδη τους. Αν μια εταιρία μειώσει την τιμή της, ανταποδίδουν και οι άλλες, με αποτέλεσμα όλες να βγαίνουν ζημιωμένες τελικά.



Εικόνα 11: Παράδειγμα Kinked Demand [81]

Οπότε τελικά με αυτόν τον τρόπο έχει διαμορφωθεί μια σταθερή κατάσταση στην αγορά, στην οποία κανείς δεν έχει κίνητρο να αλλάξει τιμή. Αντί να προβληματίζονται για το πώς θα τιμολογήσουν, το συγκεκριμένο μοντέλο προτείνει στις επιχειρήσεις απλά να ανταποδίδουν σε ενδεχόμενη μείωση τιμής και να επικεντρώνουν τις προσπάθειές τους στο να υπερισχύσουν με άλλα μέσα (με μείωση του κόστους παραγωγής παραδείγματος χάριν).

Και αυτό το μοντέλο έχει δεχτεί κριτική, καθώς υπάρχει το ενδεχόμενο όταν μια εταιρία αυξήσει την τιμή να αυξήσει τα κέρδη της, παρά το γεγονός ότι θα χάσει μεγάλο μερίδιο αγοράς. Αυτό συμβαίνει κυρίως όταν έχουμε πολύ ανελαστική ζήτηση. Έπειτα, τίθεται και το ερώτημα σχετικά με το πώς διαμορφώνεται αυτή η αρχική τιμή, την οποία είναι όλοι τόσο απρόθυμοι να αλλάξουν.

2.2 Μοντέλα θεωρίας παιγνίων

2.2.1 Σύγκριση με απλά μοντέλα

Η συνοπτική ανάλυση των μοντέλων της ενότητας 2.1 είναι αρκετή για να πείσει ακόμα και τον πιο δύσπιστο αναγνώστη ότι τα προηγούμενα μοντέλα, αν και έχουν κάποια χρησιμότητα, δεν είναι η βέλτιστη επιλογή για να προσεγγίσουμε το πρόβλημά μας. Το μοντέλο Cournot πράγματι διδάσκεται ακόμα και σε πανεπιστημιακά συγγράμματα ως κατάλληλο μοντέλο [83], αλλά η αλήθεια είναι πως καμία εταιρία δεν θα το εμπιστευόταν. Το Bertrand αποτελεί ακόμα χειρότερη επιλογή, καθώς προτείνει πόλεμο τιμών μεταξύ των εταιριών ηλεκτρικής ενέργειας. Δεν υπάρχει όφελος σε μια τέτοια επιλογή, ιδίως όταν πρόκειται για το ρεύμα, που είναι αγαθό με ανελαστική ζήτηση. Επίσης, καμία εταιρία πλην της ΔΕΗ δεν έχει τη δυνατότητα να ικανοποιήσει όλη τη ζήτηση, οπότε τίθεται σε ισχύ και το πρόβλημα που επισήμανε ο Edgeworth και το μοντέλο κρίνεται ως εντελώς ακατάλληλο. Ούτε το Kinked Demand μοντέλο δεν είναι αποτελεσματικό, καθώς η ζήτηση είναι ανελαστική.

Για αυτούς τους λόγους, λοιπόν, τα τελευταία χρόνια καταβάλλονται διεθνώς προσπάθειες για την ανάπτυξη πιο σύνθετων μοντέλων που στηρίζονται σε θεωρία παιγνίων, προκειμένου να δοθεί μια πειστική λύση στο πρόβλημα τιμολόγησης ηλεκτρικού ρεύματος. Προτού συνεχίσουμε, ας επισημάνουμε τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των μοντέλων θεωρίας παιγνίων:

Πίνακας 3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα θεωρίας παιγνίων

| Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα |
|---|---|
| Δυνατότητα κατάστρωσης πολύπλοκων στρατηγικών | Πολύπλοκα, μεγάλη δυσκολία στην μοντελοποίηση του προβλήματος |
| Δεν υπάρχει ανάγκη για μεγάλες υποθέσεις | Μη κλιμακωσιμότητα : Κάθε μοντέλο επιλύει μόνο ένα πολύ συγκεκριμένο πρόβλημα |
| Δυνατότητα προσαρμογής σε νέα δεδομένα | Ανάγκη για διαρκή τροποποίηση κάθε φορά που αλλάζουν οι συνθήκες |
| Δυνατότητα συνυπολογισμού επιπρόσθετων παραμέτρων | |

2.2.2 Stackelberg game

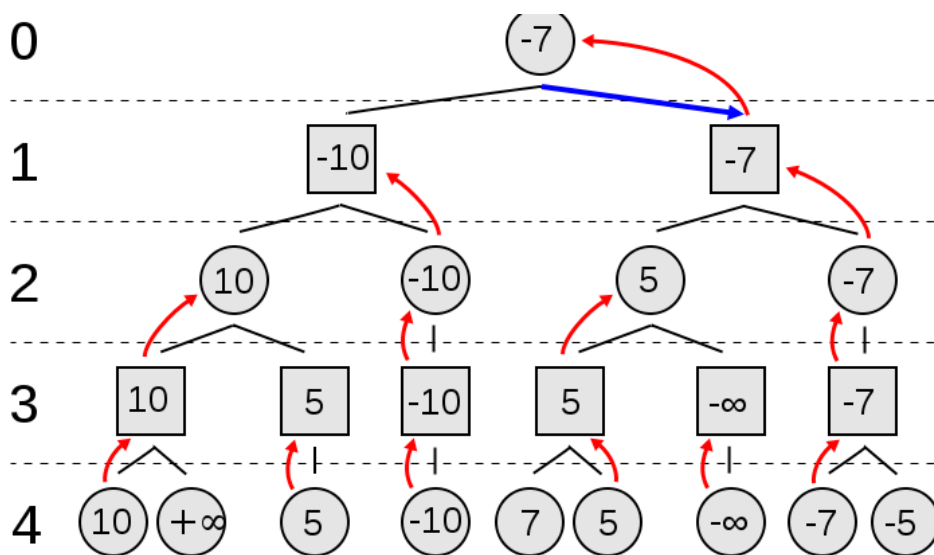
Η θεωρία παιγνίων είναι ένα αχανές επιστημονικό πεδίο, με πλήθος εφαρμογών σε διαφορετικούς τομείς [84]. Οφείλουμε να αποσαφηνίσουμε σε αυτό το σημείο πως από όλες τις υποκατηγορίες της θεωρίας παιγνίων, τα Stackelberg games [85] είναι αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο για την μοντελοποίηση της ηλεκτρικής αγοράς.

Σε ένα Stackelberg game, οι παίχτες (επιχειρήσεις και καταναλωτές στην περίπτωση μας) λαμβάνουν αποφάσεις διαδοχικά. Ο πρώτος παίχτης λαμβάνει την απόφασή του, μετά

αποφασίζει ο δεύτερος παίχτης με βάση την κατάσταση που διαμορφώθηκε από την απόφαση του πρώτου, μετά αποφασίζει ο τρίτος με βάση την κατάσταση που διαμορφώθηκε από τις αποφάσεις των δύο προηγούμενων κ.ό.κ.

Κεντρική αρχή αποτελεί ο σχεδιασμός δέντρων αποφάσεων [86], καθώς κάθε παίχτης προσπαθεί να βρει ποια από τις στρατηγικές του θα του αποφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις πιθανές κινήσεις που μπορεί να κάνουν μετά οι ανταγωνιστές του. Όταν δηλαδή ο πρώτος παίχτης κληθεί να αποφασίσει, θα λάβει την απόφαση που μεγιστοποιεί το όφελός του, θεωρώντας ότι οι άλλοι παίχτες μετά θα κάνουν τη βέλτιστη κίνηση με βάση τα δεδομένα που θα διαμορφωθούν.

Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα Stackelberg game είναι το σκάκι : 2 παίχτες κάνουν διαδοχικά κινήσεις προσπαθώντας να μεγιστοποιήσουν το όφελός τους, λαμβάνοντάς υπόψη τους όλες τις εναλλακτικές επιλογές που διαθέτει μετά ο αντίπαλος.



Εικόνα 12: Σκάκι ως παιχνίδι Stackelberg

Στο παράδειγμα της εικόνας, οι κύκλοι ταυτίζονται με τις δυνατές καταστάσεις του πρώτου παίχτη και τα τετράγωνα με τις δυνατές καταστάσεις του δεύτερου παίχτη. Κάθε μία από τις δύο αρχικές επιλογές του πρώτου παίχτη οδηγεί σε μία συγκεκριμένη κατάσταση για τον παίχτη 2. Μετά οι επιλογές του παίχτη 2 αντιστοιχούν σε νέες καταστάσεις για τον παίχτη 1 κ.ο.κ. Ο παίχτης 1, για να αποφασίσει τι επιλογή θα κάνει, σκέφτεται ποια από τις δύο αρχικές επιλογές του θα τον οδηγήσει στην βέλτιστη για αυτόν τελική κατάσταση, αν ο παίχτης 2 κάνει τις βέλτιστες επιλογές.

Στον τομέα της οικονομίας, τα Stackelberg games κατηγοριοποιούνται σε ομάδες ανάλογα με το είδος της βέλτιστης απόφασης (απόφαση ως προς την ποσότητα προσφοράς ή ως προς την τιμή) και το πλήθος των γύρων. Στην πιο διαδεδομένη εκδοχή, έχουμε βελτιστοποίηση ως προς την ποσότητα, με μόνο 1 γύρο.

2.2.2.1 Βελτιστοποίηση ως προς την ποσότητα, 1 γύρος

Αυτή η εκδοχή είναι σαν μια εξελιγμένη μορφή του Cournot. Κάθε επιχείρηση αποφασίζει τι ποσότητα να προσφέρει, λαμβάνοντας όμως υπόψη την αντίδραση της επόμενης εταιρίας.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα πώς λειτουργεί το μοντέλο, ας μελετήσουμε ξανά το

παράδειγμα του 2.1.2. Θα συγκρίνουμε για το ίδιο παράδειγμα τα αποτελέσματα μεταξύ Cournot και Stackelberg ποσότητας και 1 γύρου.

| Cournot | Stackelberg |
|--|---|
| <p>Όπως αναφέραμε και πριν, αν x είναι η τιμή της εταιρίας A, τότε η ζήτηση θα είναι $1 - x$, με 1 να είναι η μέγιστη τιμή.</p> <p>Τα κέρδη της εταιρίας A είναι $\pi_A(x) = (1 - x)x = x^2 - x$.</p> <p>Το μέγιστο της $f(x)$ επιτυγχάνεται για $x=1/2$. Τότε, αν y είναι η τιμή της εταιρίας B, η ζήτηση θα είναι $1 - (1 - x) - y$.</p> <p>Οπότε, τα κέρδη της είναι $\pi_B(x) = (1 - 1/2 - y)y = y(1/2 - y)$. Η βέλτιστη επιλογή είναι $y=1/4$.</p> <p>Όπως αναφέραμε πριν, η A θα απαντήσει με $x=3/8$.</p> | <p>Η εταιρία A γνωρίζει ότι $\pi_B(x) = (1 - (1 - x) - y)y = (1 - x - y)y$.</p> <p>Η παράγωγος είναι $\pi_B'(y) = 1 - x - 2y$.</p> <p>Το μέγιστο επιτυγχάνεται για $y = 1/2 - x/2$.</p> <p>Η ζήτηση της B θα είναι $1 - (1 - x) - (1/2 - x/2) = 1 - 1 + x - 1/2 + x/2 = x/2$.</p> <p>Η εταιρία A ξέρει ότι αν η B απαντήσει με $y=x/2$, τα τελικά κέρδη της A θα είναι $(1 - x - x/2)x = (1 - 3x/2)x$.</p> <p>Οπότε το βέλτιστο είναι $x=3/8$.</p> |

Βλέπουμε ότι στο Stackelberg 1 γύρου, αντί να ξεκινήσει από $x=1/2$, η εταιρία A προέβλεψε τι θα συμβεί και επέλεξε απευθείας $3/8$. Αν είχαμε Stackelberg 2 γύρων, θα προέβλεπε τι θα συμβεί σε βάθος 2 γύρων και θα επέλεγε $11/32$. Αν είχαμε άπειρους γύρους, θα επέλεγε $1/3$.

Είναι εμφανές πως σε αυτήν την εκδοχή η εταιρία που αποφασίζει δεύτερη (γνωστή και ως follower) είναι σε μειονεκτική θέση σε σύγκριση με αυτήν που αποφασίζει πρώτη (leader), επειδή καλείται να διαχειριστεί μια κατάσταση που ήδη έχει διαμορφωθεί από τις επιλογές της πρώτης εταιρίας. Σε περίπτωση συμμετοχής περισσότερο των 2 εταιριών, το συμπέρασμα γενικεύεται. Όσο πιο αργά παίζει μια εταιρία, σε τόσο χειρότερη θέση θα είναι.

Έχει αποδειχτεί ότι

- Η συνολική παραγόμενη ποσότητα αυτής της εκδοχής Stackelberg είναι μεγαλύτερη από τη συνολική στο Cournot αλλά λιγότερο από ότι σε Bertrand. Επίσης είναι μεγαλύτερη από ότι σε μονοπώλιο ή καρτέλ και μικρότερη από ότι σε τέλει ανταγωνισμό.
- Η τιμή που διαμορφώνεται σε αυτήν την εκδοχή είναι χαμηλότερη από Cournot και μεγαλύτερη από Bertrand. Επίσης είναι μικρότερη από ότι σε μονοπώλιο ή καρτέλ και μεγαλύτερη από ότι σε τέλει ανταγωνισμό.
- Το πλεόνασμα καταναλωτή είναι μεγαλύτερο από ότι στο Cournot και λιγότερο από ότι στο Bertrand.

2.2.2.2 Βελτιστοποίηση ως προς την τιμή, 1 γύρος

Κατά κάποιον τρόπο, αυτή η εκδοχή είναι σαν μια εξελιγμένη μορφή του Bertrand. Κάθε επιχείρηση αποφασίζει τι ποσότητα να προσφέρει, λαμβάνοντας όμως υπόψιν την αντίδραση της επόμενης εταιρίας.

Σε αντίθεση με το 2.2.2.1 και με τη γενικότερη τάση στην πλειοψηφία των Stackelberg games , πλεονέκτημα έχει η δεύτερη εταιρία και όχι η πρώτη, καθώς βλέποντας τι τιμή επέλεξε η πρώτη, μπορεί να το εκμεταλλευτεί. [88]

Γενικά όπως και στο 2.2.2.1, βλέπουμε πως υπάρχει μια μεροληψία, καθώς κάποιος από τους παίχτες έχει προβάδισμα. Σε περίπτωση που δεν θέλουμε να έχει κανείς προβάδισμα, αυτή είναι και η μεγαλύτερη αδυναμία του Stackelberg game με πεπερασμένο πλήθος γύρων.

2.2.2.3 Δυναμικό Stackelberg game

Όταν ένα παιχνίδι Stackelberg έχει διάρκεια πάνω από έναν γύρο, ονομάζεται δυναμικό. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των γύρων, τόσο μικρότερο γίνεται και το πλεονέκτημα του πρώτου παίχτη. Για άπειρο πλήθος γύρων, το πλεονέκτημα εκμηδενίζεται. Άλλωστε, αν ανατρέξουμε στο παράδειγμα της ενότητας 2.1.2, θα θυμηθούμε πως μόνιμα είχε ένα προβάδισμα η πρώτη εταιρία, το οποίο γινόταν όλο και πιο μικρό, μέχρι που τελικά κατέληξαν και οι δύο εταιρίες στο 1/3 της αγοράς.

Αυτή η δυνατότητα εξάλειψης του πλεονεκτήματος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν μελετάμε φαινόμενα σε μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα, καθώς με αυτόν τον τρόπο εξαφανίζεται η μεροληψία και διορθώνεται έτσι η σημαντικότερη αδυναμία του Stackelberg.

2.2.3 Εξελικτική θεωρία παιγνίων

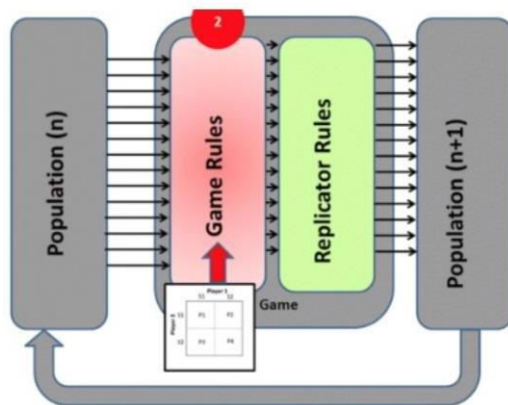
Είναι εμφανές πως τα Stackelberg games αποτελούν μια αρκετά καλύτερη προσέγγιση σε σύγκριση με τα προηγούμενα μοντέλα. Ωστόσο, εξακολουθούν να υφίστανται κάποια προβλήματα:

Βασική προϋπόθεση για να λειτουργήσει ένα Stackelberg game είναι να υπάρχει πράγματι μια ιεραρχία μεταξύ των παιχτών που να υποχρεώνει τους παίχτες να παίξουν σε σειρά. Διαφορετικά είτε όλοι θα ήθελαν να παίξουν πρώτοι (ανταγωνισμός ποσότητας), είτε όλοι θα ήταν απρόθυμοι να κάνουν κίνηση πρώτοι (ανταγωνισμός τιμής).

Παράλληλα, ακόμα πιο σημαντική είναι η παραδοχή πως όλοι οι επόμενοι παίχτες θα κάνουν την επιλογή που βελτιστοποιεί το δικό τους όφελος. Όταν πρόκειται για επιχειρήσεις, θα μπορούσε κάποια επιχείρηση σκόπιμα να κάνει μια μη βέλτιστη κίνηση, με σκοπό να ζημιώσει την προηγούμενη εταιρία. Βραχυπρόθεσμα μπορεί να μην φαίνεται λογικό, αλλά αν σκεφτούμε μακροπρόθεσμα, μπορεί έτσι να αναγκάσει σταδιακά την προηγούμενη εταιρία να εξέλθει από την αγορά. Μόνο αν γνωρίζαμε την μακροπρόθεσμη συνάρτηση οφέλους κάθε εταιρίας θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε με επιτυχία ένα Stackelberg game. Θα πρέπει να μοντελοποιούμε την αγορά σαν ένα παιχνίδι διάρκειας πολλών γύρων κάθε φορά, το οποίο είναι πολύ δύσκολο.

Εκτός αυτών των προβλημάτων όμως, δεν είναι ακόμα ιδιαίτερα εμφανής η χρησιμότητα των μοντέλων Stackelberg. Δείχνουν να κάνουν πιο επιτυχημένες βραχυπρόθεσμες επιλογές, αλλά σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα δεν επιφέρουν κάποιο όφελος. Η πραγματική τους αξία όμως αναδεικνύεται όταν τα συνδυάσουμε με εξελικτική θεωρία παιγνίων [74]. Η κεντρική ιδέα στην εξελικτική θεωρία προέρχεται από τη βιολογία : Θεωρούμε πως έχουμε έναν πληθυσμό από N άτομα, K διαφορετικών ειδών. Κάθε είδος έχει μια συγκεκριμένη “καταλληλότητα” που καθορίζεται από κάποιους κανόνες. Όταν έρθει η ώρα να αναπαραχθούν, τα είδη που είναι περισσότερο κατάλληλα από τον μέσο όρο αφήνουν περισσότερους απογόνους, ενώ αυτά που είναι λιγότερο κατάλληλα λιγότερους. Η επόμενη γενιά πάλι N άτομα θα έχει συνολικά, αλλά το πλήθος των μελών κάθε είδους θα είναι διαφορετικό. Με τον ίδιο τρόπο θα παραχθεί μετά και η επόμενη γενιά. Η διαδικασία κανονικά συνεχίζεται επ’ άπειρον στη

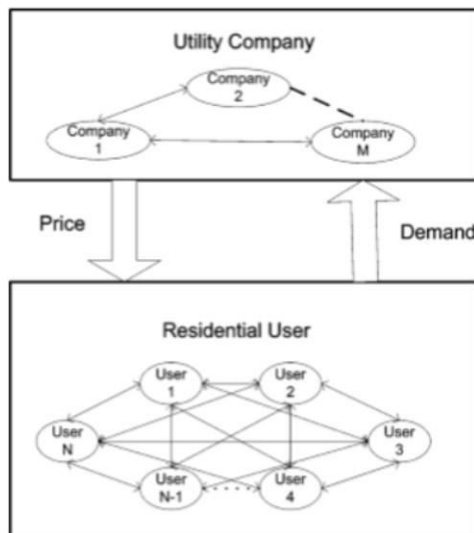
βιολογία, αλλά στην θεωρία παιγνίων μπορούμε να θέσουμε εμείς κάποιο κριτήριο τερματισμού. Συνήθως κριτήριο είναι η άνοδος της μέσης καταλληλότητας πάνω από ένα επιθυμητό επίπεδο.



Εικόνα 13: Απεικόνιση εξελικτικής διαδικασίας [74]

2.2.4 Η κεντρική ιδέα: Συνδυασμός Stackelberg με εξελικτική θεωρία

Οι αδυναμίες των συνηθισμένων μοντέλων Stackelberg οδήγησαν τα τελευταία χρόνια τους ερευνητές στην εξής ιδέα: Αντί να έχουμε Stackelberg game μεταξύ των επιχειρήσεων, θεωρούμε ένα Stackelberg game μεταξύ επιχειρήσεων και καταναλωτών. Έχουμε 2 παίχτες μόνο: Τις επιχειρήσεις (όλες μαζί ως έναν παίχτη) και τους καταναλωτές (όλοι μαζί ως παίχτη). Οι επιχειρήσεις ως εξ' ορισμού leader θέτουν μια τιμή και οι καταναλωτές ως follower κάνουν τη βέλτιστη με αυτά τα δεδομένα επιλογή.



Εικόνα 14: Η κεντρική ιδέα

Όσον αφορά τον ανταγωνισμό μεταξύ των επιχειρήσεων, κάθε μία επιχείρηση δεν χρειάζεται να γνωρίζει τα στοιχεία των άλλων επιχειρήσεων. Απλά βλέπει απευθείας πώς αντιδρούν οι καταναλωτές στη στρατηγική της. Με αυτόν τον τρόπο, κάνοντας συνεχώς μικρές αυξομειώσεις τιμών, καταλήγει σταδιακά στη βέλτιστη στρατηγική.

Σχετικά με τον τρόπο που αποφασίζουν οι καταναλωτές, χρησιμοποιείται εξελικτική θεωρία παιγνίων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, με πολύ φαντασία, N καταναλωτές θεωρούνται ως άτομα και ως "είδος" ορίζουμε τους πελάτες κάθε μίας από τις K εταιρίες. Η καταλληλότητά εξαρτάται από το αν είναι συμφέρουσες ή όχι οι εταιρίες. Με αυτόν τον τρόπο, οι

καταναλωτές αλλάζουν σταδιακά προτιμήσεις (υποτίθεται ότι παράγεται νέα γενιά καταναλωτών), μέχρι να κρίνουμε πως η μέση καταλληλότητα έχει ανέβει σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Οπότε συνολικά έχουμε τις επιχειρήσεις να αυξομειώνουν τιμές (non cooperative game μεταξύ επιχειρήσεων), τους καταναλωτές να σκέφτονται πώς θα απαντήσουν στις αλλαγές των επιχειρήσεων (εξελικτική διαδικασία καταναλωτών) και τους καταναλωτές να ανακοινώνουν τη βέλτιστη επιλογή τους στις εταιρίες (Stackelberg game επιχειρήσεων – καταναλωτών).

Συνολικά αυτός ο σύνθετος μηχανισμός οδηγεί συνήθως σε ισορροπία, καθώς γνωρίζουμε ότι η εξελικτική διαδικασία έχει ισορροπία λόγω replicator dynamics. Η ύπαρξη ισορροπίας στην εξελικτική διαδικασία συνεπάγεται και ότι για κάθε απόφαση των επιχειρήσεων οι καταναλωτές καταλήγουν πάντα σε μια συγκεκριμένη βέλτιστη επιλογή, από την οποία δεν έχουν λόγο να παρεκκλίνουν. Έτσι, και το Stackelberg game έχει ισορροπία. Το μόνο που μένει αβέβαιο, είναι η ύπαρξη ισορροπίας στο non cooperative game των επιχειρήσεων. Κάθε μοντέλο αυτού του τύπου θα πρέπει να αποδείξει ότι υπάρχει κάποια κατάσταση τιμών, από την οποία η επιχειρήσεις δεν έχουν κίνητρο να παρεκκλίνουν.

Έχουμε K εταιρίες και N καταναλωτές. Η διαδικασία του παιχνιδιού είναι η εξής:

Βήμα 1:

Οι εταιρίες επιλέγουν τις τιμές τους μια-μια και τις ανακοινώνουν στους καταναλωτές. Οι παραγωγικές τους δυνατότητες και η ζήτηση των καταναλωτών καθορίζουν την απόφασή τους.

Βήμα 2:

Οι καταναλωτές αποφασίζουν σύμφωνα με τις τιμές, προσπαθώντας να μεγιστοποιήσουν το όφελός τους.

Βήμα 3:

Οι εταιρίες λαμβάνουν υπόψιν τους τις αντιδράσεις των καταναλωτών, κάνουν νέες προβλέψεις και αλλάζουν τιμές αν χρειαστεί. Αν καμία τιμή δεν αλλάξει, το παιχνίδι τελειώνει.

Βήμα 4:

Αν το Βήμα 3 δεν ήταν το τελικό βήμα, οι χρήστες λαμβάνουν αποφάσεις σύμφωνα με τις νέες τιμές. Μετά, επιστρέφουμε στο Βήμα 3.

2.2.5 Υπάρχουσα σχετική βιβλιογραφία σε Stackelberg games

Τα μοντέλα στα [19]-[23] μελετούν την περίπτωση που $K=1$, δηλαδή την περίπτωση που υπάρχει μόνο μία επιχείρηση στην αγορά. Φυσικά δεν μπορούν να εφαρμοστούν στο δικό μας πρόβλημα, αλλά αποτελούν ένα πρώτο βήμα για τα πιο σύνθετα μοντέλα που ακολούθησαν. Βασικές έννοιες όπως η συνάρτηση χρησιμότητας των καταναλωτών και των επιχειρήσεων διατυπώθηκαν σε αυτά.

Στο μοντέλο [24], οι επιχειρήσεις θεωρείται ότι γνωρίζουν τη συμπεριφορά των καταναλωτών. Οι καταναλωτές επίσης επιτρέπεται να μην αγοράσουν εξ ολοκλήρου την ποσότητα που χρειάζονται από την ίδια επιχείρηση. Έπειτα, τα κόστη παραγωγής των επιχειρήσεων αγνοούνται τελείως επειδή υποτίθεται πως παράγουν πάντα το μέγιστο που μπορούν, ενώ κάθε καταναλωτής έχει ένα μέγιστο εισόδημα που μπορεί να διαθέσει.

Η χρησιμότητα των καταναλωτών είναι:

$$y_k = \sum_{n=1}^N (C_n + y_k)$$

Έστω y_k η τιμή/μονάδα προϊόντος που θέτει η εταιρία k και $C_n > 0$ το μέγιστο διαθέσιμο εισόδημα του χρήστη n . Για ένα σύνολο τιμών από τις εταιρίες $\{y_1, y_2, \dots, y_k\}$, ο χρήστης $n \in N$ υπολογίζει την βέλτιστη για αυτόν ζήτηση λύνοντας το παρακάτω πρόβλημα βελτιστοποίησης χρήστη (OP_{user}):

$$\begin{aligned} \max_{y_k} & \sum_{n=1}^N (C_n + y_k) \\ \text{s.t.} & y_k \geq 0 \forall k \end{aligned}$$

Από την πλευρά των επιχειρήσεων, η συνάρτηση χρησιμότητας είναι:

$$U_k(y_k) = \sum_{n=1}^N y_k$$

όπου y_k είναι η τιμή από εταιρίες εκτός της k . Έτσι, το πρόβλημα βελτιστοποίησης για μια εταιρία (OP_{gen}) γίνεται:

$$\begin{aligned} \max_{y_k} & U_k(y_k) \\ \text{s.t.} & y_k \geq 0 \forall k \end{aligned}$$

Με αυτόν τον τρόπο, διαμορφώνεται ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης υπό περιορισμούς και βρίσκεται η βέλτιστη λύση.

Εκτός από την κριτική που έχει δεχτεί από τους συγγραφείς του [26], αξίζει να προστεθεί πως η λογαριθμική συνάρτηση χρησιμότητας δεν ευσταθεί από οικονομική σκοπιά. Δηλώνει πως οι καταναλωτές επιθυμούν όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια, χωρίς κάποιο ανώτατο όριο. Στην πραγματικότητα όμως, μετά από ένα σημείο, παύει να αυξάνεται η χρησιμότητα.

Στο μοντέλο [25], οι καταναλωτές έχουν μια συνάρτηση χρησιμότητας και ένα “συλλογικό όφελος” το οποίο χρησιμοποιείται ως μέτρο καταλληλότητας στην εξελικτική διαδικασία που ακολουθούν, ενώ οι επιχειρήσεις προσπαθούν να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους αυξομειώνοντας τιμές και παραγόμενη ποσότητα, ανάλογα με το τι μέρος της τρέχουσας παραγόμενης ποσότητας είναι η ζήτηση που είχαν.

$$U_h(y_h) = y_h \cdot y_h - \frac{(y_h)^2}{2}, \quad y_h \leq y_h \leq y_h$$

Στη συνέχεια, θα ορίσουμε τη συλλογική χρησιμότητα που σχετίζεται με την εταιρία j ως το άθροισμα των χρησιμοτήτων που απέκτησαν οι χρήστες από την εταιρία j . Υπάρχουν 2 σενάρια.

Σενάριο 1: Αν $y_h \geq 1$ (λόγος προσφερόμενης ποσότητας προς ζήτηση), η ζήτηση μπορεί να ικανοποιηθεί και η συλλογική χρησιμότητα είναι:

$$h_i = \sum_{=1} ((h_i - h_i) \cdot h_i - \frac{(h_i)}{2} \cdot (h_i^2))$$

$$h_i = \sum_{=1} (h_i \cdot (h_i)^2 - \frac{(h_i)}{2} \cdot (h_i^2))$$

$$h_i = \frac{1}{2} \cdot \sum_{=1} (\frac{(h_i)}{2} \cdot (h_i^2))$$

Σενάριο 2: Αν $r_{h,j} < 1$, η ζήτηση δεν μπορεί να ικανοποιηθεί και ο καταναλωτής i μπορεί να πάρει μόνο $r_{j,h} \cdot x_{j,i,h}$ ποσότητα ενέργειας. Το $p_{h,j}$ σε αυτή την περίπτωση, δίνεται από τον τύπο:

$$h_i = \sum_{=1} ((h_i - h_i) \cdot h_i \cdot h_i - \frac{(h_i)}{2} * (h_i \cdot h_i^2))$$

$$h_i = (h_i - \frac{(h_i)^2}{2}) \cdot \sum_{=1} (\frac{(h_i)}{2} \cdot (h_i^2))$$

Σε αυτό το μη συνεργατικό παιχνίδι, αν $h_{h,j}$ η προσφερόμενη ποσότητα, η συνάρτηση χρησιμότητας μιας εταιρίας μπορεί να γραφτεί ως:

$$h_i = h_i \cdot h_i - (h_i \cdot (h_i)^2 + h_i \cdot h_i + h_i)$$

$$h_i = (h_i, h_i)$$

Η βέλτιστη ποσότητα για κάθε εταιρία j είναι:

$$h_i = \frac{(h_i - h_i)}{(2 \cdot h_i)}$$

Η νέα τιμή είναι:

$$h_i = h_i + 2 \cdot (1 - h_i)$$

Η νέα προσφερόμενη ποσότητα είναι:

$$h_i = \frac{(h_i - h_i)}{(2 \cdot h_i)}$$

Κριτήριο για την αλλαγή της τιμής είναι η σχέση της ζήτησης με την παραγόμενη ποσότητα. Το μοντέλο φαίνεται αρκετά πειστικό. Ωστόσο, δεν είναι βέβαιη η ύπαρξη ισορροπίας στο Stackelberg game μεταξύ επιχειρήσεων και καταναλωτών.

Το [26] είναι αρκετά παρόμοιο με το [25]. Η διαφορά του είναι ότι αντί να ασχολείται και με τη βελτιστοποίηση της ποσότητας παραγωγής, θεωρεί πως ήδη οι εταιρίες έχουν παράξει/αγοράσει μια ποσότητα, οπότε το μόνο ζητούμενο είναι η εύρεση βέλτιστης τιμής με αυτά τα δεδομένα. Ωστόσο, το μεγαλύτερο πρόβλημά του είναι πως θεωρεί ότι υπάρχει ισορροπία όταν η ζήτηση κάθε εταιρίας είναι ίση με τη διαθέσιμη ποσότητα L της εταιρίας. Υποστηρίζει πως όταν οι επιχειρήσεις έχουν ζήτηση μεγαλύτερη από αυτήν την ποσότητα οφείλουν να αυξήσουν τιμές, ενώ όταν είναι μικρότερη να μειώσουν τιμές.

Αν θεωρήσουμε τώρα πως αυτή η διαθέσιμη ποσότητα δεν είναι ίση με την παραγωγική δυνατότητα της εταιρίας, τότε τίθεται το ερώτημα σχετικά με το πόση θα πρέπει να είναι η διαθέσιμη ποσότητα. Αν από την άλλη είναι ίση με την παραγωγική δυνατότητα, τότε το μοντέλο δεν έχει καμία εφαρμογή σε χώρες όπως η Ελλάδα, καθώς στην περίπτωση της ΔΕΗ, η παραγωγική της δυνατότητα υπερβαίνει κατά πολύ τη ζήτηση. Ακόμα και αν οι τιμές μειωθούν σε απίστευτα χαμηλά επίπεδα, πάλι δεν θα φτάσει η ζήτηση την παραγωγική δυνατότητα και έτσι το μοντέλο δεν θα συγκλίνει ποτέ.

2.2.6 Στόχος νέου μοντέλου

Σε αντίθεση με τα μοντέλα [25] και [26], το δικό μας μοντέλο δεν θα βασίζεται στην ισορροπία ζήτησης-διαθέσιμης ποσότητας. Κριτήριο για την αυξομείωση της τιμής θα είναι μόνο τα κέρδη. Η βέλτιστη ποσότητα θα προκύψει έμμεσα, ως συνάρτηση της τιμής που μεγιστοποιεί τα κέρδη. Με αυτόν τον τρόπο, προσδιορίζεται και το βέλτιστο L που αναφέρει το [26], χωρίς να χρειάζεται να το θεωρήσουμε ως δεδομένο.

2.3 Προτεινόμενο μοντέλο

2.3.1 Θεωρητική συνεισφορά του νέου μοντέλου

Βασιζόμενοι στα παραπάνω μοντέλα, θα πραγματοποιήσουμε τις αναγκαίες τροποποιήσεις για την ανάπτυξη ενός νέου, που θα ανταποκρίνεται καλύτερα στην ελληνική πραγματικότητα. Όπως και στα προηγούμενα μοντέλα, η συμπεριφορά των καταναλωτών θα μοντελοποιηθεί ως ένα evolutionary game [74] όσον αφορά τις ιδιωτικές πληροφορίες των εταιριών και καταναλωτών, ενώ η συμπεριφορά των επιχειρήσεων μοντελοποιείται ως non cooperative game [73]. Στη συνέχεια, θα επεκτείνουμε αυτό το μοντέλο από ωριαία σε εξαμηνιαία βάση.

Η συνεισφορά του νέου μοντέλου σε θεωρητικό επίπεδο έγκειται συνοπτικά στα εξής σημεία:

Το non cooperative game μεταξύ των εταιριών λειτουργεί με διαφορετικό τρόπο. Αντί να ελέγχουμε αν $demand > supply$ ή $supply < demand$, πραγματοποιούμε 3 ενδιάμεσους υπολογισμούς:

1. Val_0 = έσοδα με ίδια τιμή
2. Val_1 = έσοδα με ελαφρώς υψηλότερη τιμή
3. Val_2 = έσοδα με ελαφρώς χαμηλότερη τιμή

Για να γίνουν αυτοί οι υπολογισμοί, θεωρούμε ως “μαύρο κουτί” τη συμπεριφορά των καταναλωτών. Δηλαδή οι επιχειρήσεις είναι σε θέση να μάθουν τι θα έκαναν οι καταναλωτές για κάθε πιθανή τροποποίηση της τιμής τους. Μόλις υπολογιστούν τα Val_0 , Val_1 , Val_2 , οι επιχειρήσεις συγκρίνουν και αποφασίζουν ποια από τις 3 επιλογές είναι προτιμότερη. Αν το Val_0 είναι το μέγιστο, η νέα τιμή παραμένει ίδια. Αν το Val_1 είναι μέγιστο, αυξάνεται κατά μια μικρή ποσότητα e_2 η νέα τιμή. Αν είναι το Val_2 , μειώνεται κατά e_2 η νέα τιμή.

Η συνθήκη σύγκλισης είναι επίσης διαφορετική. Το παιχνίδι τελειώνει όταν καμία επιχείρηση δεν άλλαξε τιμή. Επικεντρώνοντας την προσοχή μας στα έσοδα αντί για την ισότητα ζήτησης-προσφοράς, δεν χρειάζεται πλέον να έχουμε προκαθορισμένη ποσότητα παραγωγής. Στο προτεινόμενο παιχνίδι, αντί να τροποποιούν όλες ταυτόχρονα τις τιμές τους, οι εταιρίες αλλάζουν ακολουθιακά τις τιμές και η απόφαση κάθε εταιρίας δεν εξαρτάται μόνο από τους καταναλωτές, αλλά και από τις αποφάσεις όλων των προηγούμενων. Αυτή η τροποποίηση κάνει το μοντέλο πιο ρεαλιστικό, αφού στην πραγματικότητα κάθε εταιρία μπορεί να ανακοινώνει την τιμή όποτε η ίδια επιθυμεί. Αν ποτέ δημιουργηθεί μια κεντρική αρχή που θα επιβάλει την ταυτόχρονη ανακοίνωση τιμών, εύκολα μπορεί το μοντέλο να τροποποιηθεί ξανά σε ταυτόχρονη επιλογή τιμών. Η προτεινόμενη συνάρτηση κόστους είναι διαφορετική, λαμβάνοντας υπόψιν τα ελληνικά δεδομένα.

2.3.2 Ανάλυση συμπεριφοράς καταναλωτών

2.3.2.1 Ορισμός τιμής και ζήτησης (p και q)

Συμβολίζουμε τις τιμές των επιχειρήσεων και τη ζήτηση των καταναλωτών για κάθε επιχείρηση με τον τρόπο που περιγράφεται παρακάτω.

Έστω p_1, p_2, \dots, p_k οι τιμές των εταιριών και $q_{11}, q_{12}, \dots, q_{1k}, q_{21}, q_{22}, \dots, q_{2k}, q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nk}$ η ζήτηση από τον καταναλωτή i στην περίπτωση που επιλέγει την εταιρία j . Οφείλουμε να διευκρινίσουμε πως κάθε καταναλωτής επιλέγει μία επιχείρηση για να αγοράσει εξ' ολοκλήρου την ποσότητα που χρειάζεται από αυτήν, για τη συγκεκριμένη ώρα. Δεν είναι δυνατόν να αγοράσει από πολλές διαφορετικές εταιρίες την ίδια ώρα.

2.3.2.2 Συνάρτηση χρησιμότητας και συνάρτηση οφέλους (U και W)

Θα χρησιμοποιήσουμε τις ίδιες συναρτήσεις που προτάθηκαν στο [26], καθώς αποδίδουν αρκετά πειστικά το φαινόμενο ότι οι καταναλωτές θέλουν όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια, αλλά έως ένα σημείο. Παράλληλα η επιθυμία απόκτησης ενέργειας είναι μεγαλύτερη από τη δυσαρέσκεια της καταβολής χρημάτων, με την προϋπόθεση πάντα ότι θα επιλεγούν οι σωστές τιμές παραμέτρων.

Έτσι, λοιπόν, για την χρησιμότητα έχουμε:

$$= \begin{cases} \cdot - \frac{1}{2} \cdot (\quad)^2 & \text{for } \leq - \\ \frac{1}{(2 \cdot \quad)} & \text{for } > - \end{cases}$$

Παρατηρούμε πως η συνάρτηση είναι συνεχής. Για να το θέσουμε πιο απλά, μπορούμε να πούμε ότι

$$= \cdot - \frac{1}{2} \cdot (\quad)^2, \quad \leq \leq$$

Όσον αφορά το όφελος, έχουμε:

$$= \cdot - \frac{1}{2} \cdot (\quad)^2 - * , \quad \leq \leq$$

όπου j η εταιρία που επέλεξε ο καταναλωτής.

Οι παράμετροι a και b είναι διαφορετικοί για κάθε καταναλωτή, αλλά ακόμα και όταν πρόκειται για τον ίδιο καταναλωτή, διαφοροποιούνται ανά ώρα.

2.3.2.3 Βέλτιστη ζήτηση καταναλωτή (Q)

Αν για κάθε καταναλωτή υπολογίσουμε τα ακρότατα της προηγούμενης συνάρτησης, λαμβάνουμε:

$$\text{for } (\quad - \quad) \leq$$

$$= (\quad - \quad) \text{ for } \leq (\quad - \quad) \leq$$

$$\{ \text{for } \leq (\quad - \quad)$$

όπου Q_{ij} η βέλτιστη ζήτηση για κάθε καταναλωτή.

(Πρακτικά μόνο ο δεύτερος κλάδος της συνάρτησης χρησιμοποιείται στα σενάρια που θα αναφερθούν στην ενότητα 3, λόγω της επιλογής παραμέτρων που έκανα.)

2.3.2.4 Ορισμός πιθανότητας εταιρίας (pr_j)

Η πιθανότητα μιας εταιρίας j να επιλεγεί από έναν καταναλωτή είναι pr_j .

Ισχύει ότι: $\sum_{j=1}^n pr_j = 1$ και $0 \leq pr_j \leq 1$.

Τονίζεται σε αυτό το σημείο πως η πιθανότητα είναι κοινή για όλους τους καταναλωτές.

Οι καταναλωτές σταδιακά θα είναι σε θέση να επαναξιολογήσουν μόνοι τους τις πιθανότητες, λαμβάνοντας υπόψιν τους τις τιμές των εταιριών και τη δυνατότητά τους να παραδώσουν την απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας. Η ακριβής διαδικασία θα περιγραφεί παρακάτω.

2.3.2.5 Ορισμός συνολικής ζήτησης και παραγωγικής δυνατότητας εταιρίας (D και $Power_j$)

Ορίζουμε τη συνολική ζήτηση κάθε εταιρίας j ως εξής:

$$= \sum_{j=1}^n$$

και την παραγωγική δυνατότητα κάθε εταιρίας $Power_j$.

Οι εταιρίες δεν είναι πάντα σε θέση να διαθέσουν όση ενέργεια τους ζητείται. Όταν $D_j > Power_j$, μόνο ένα κλάσμα $Power_j/D_j$ μπορεί να παραδοθεί στους πελάτες. Σε περίπτωση που η συνολική ζήτηση ξεπερνά την παραγωγική δυνατότητα, οι καταναλωτές θα πάρουν μόνο ένα μέρος της ποσότητας που ζήτησαν.

2.3.2.6 Συλλογική χρησιμότητα καταναλωτών (Net utility)

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον όρο “net utility” (συλλογική χρησιμότητα).

Συλλογική χρησιμότητα είναι η χρησιμότητα που έχουν όλοι οι καταναλωτές ως σύνολο από μια επιχείρηση. Χρησιμοποιείται για να τροποποιηθούν οι πιθανότητες με τον τρόπο που θα περιγραφεί στο 2.3.3. Όταν το σύνολο των καταναλωτών έχει μεγαλύτερο όφελος από μια επιχείρηση A σε σύγκριση με μια επιχείρηση B , αυτό σημαίνει πως οι καταναλωτές έχουν κίνητρο να επιλέξουν την A αντί για τη B . Επομένως, η πιθανότητα της A θα πρέπει να αυξηθεί και της B να μειωθεί. Αυτή είναι και η κεντρική ιδέα κάθε εξελικτικής διαδικασίας. Όπως συμβαίνει και στη βιολογία, τα άτομα ενός πληθυσμού που είναι πιο κατάλληλα αφήνουν περισσότερους απογόνους στην επόμενη γενιά, ενώ τα άτομα που είναι λιγότερο

κατάλληλα λιγότερους. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο οι εταιρίες που είναι περισσότερο κατάλληλες θα επιλεγούν περισσότερο στον επόμενο γύρο, ενώ οι λιγότερο κατάλληλες λιγότερο. Το “λιγότερο” και το “περισσότερο” εκφράζονται ως μείωση και αύξηση της πιθανότητας αντίστοιχα.

Η χρησιμοποίηση net utility και πιθανοτήτων είναι απαραίτητη, γιατί αν δεν υπήρχαν, όλοι οι καταναλωτές θα επέλεγαν να αγοράσουν από την πιο φτηνή επιχείρηση. Αυτή δεν θα μπορούσε να ικανοποιήσει όλη τη ζήτηση, θα δυσαρεστούνταν οι καταναλωτές και μετά θα επέλεγαν τη δεύτερη πιο φτηνή. Ούτε αυτή δεν θα κατάφερνε να τους ικανοποιήσει, θα επέστρεφαν στην πρώτη και η διαδικασία δεν θα τελείωνε ποτέ.

Η συλλογική χρησιμότητα που οι πελάτες λαμβάνουν από την εταιρία j ορίζεται ως εξής:

Αν $D_j < Power_j$, η εταιρία j μπορεί να ικανοποιήσει όλη τη ζήτηση, οπότε:

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n (\dots - \frac{1}{2} \cdot (\dots)^2 - \dots) , && \geq \\
 &= \sum_{i=1}^n (\dots \cdot (\dots) - \frac{1}{2} \cdot (\dots)^2) , && \geq \\
 &= \sum_{i=1}^n (\dots \cdot (\dots)^2 - \frac{1}{2} \cdot (\dots)^2) = \sum_{i=1}^n (\frac{1}{2} \cdot (\dots)^2) , && \geq
 \end{aligned}$$

Αν $D_j > Power_j$, τότε κάθε πελάτης παίρνει μόνο ένα κλάσμα $Power_j/D_j$, οπότε:

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n (\dots \cdot \dots - \frac{1}{2} \cdot (\dots)^2 - \dots) , && < \\
 &= \sum_{i=1}^n (\dots \cdot (\dots) - \frac{1}{2} \cdot (\dots)^2) , && < \\
 &= \sum_{i=1}^n (\dots \cdot (\dots)^2 - \frac{1}{2} \cdot (\dots)^2) , && < \\
 &= (\dots - \frac{1}{2}) \cdot \sum_{i=1}^n (\dots)^2 , && < \\
 &= \frac{ \dots - (\dots) }{ 2 } \cdot \sum_{i=1}^n (\dots)^2 , && < \\
 & \quad (\dots)
 \end{aligned}$$

Συνοψίζοντας,

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i=1}^n (\dots)^2 \quad \text{for} \quad \geq \\
 &= \frac{ \dots - (\dots) }{ 2 } \cdot \sum_{i=1}^n (\dots)^2 \quad \text{for} \quad < \\
 & \{ (\dots) \}
 \end{aligned}$$

2.3.2.7 Μέση συλλογική χρησιμότητα καταναλωτών (N_{avg})

Ως μέση συλλογική χρησιμότητα ορίζουμε:

$$= \sum_{i=1}^n (\dots)$$

2.3.3 Εξελικτική διαδικασία καταναλωτών

Οι καταναλωτές τελικά λαμβάνουν τις αποφάσεις τους με τον εξής τρόπο:

Βήμα 1

Αρχικοποιούμε το p_j και μαθαίνουμε τις τρέχουσες p_j .

Βήμα 2

Για όλους τους καταναλωτές i , για κάθε επιχείρηση j , υπολογίζουμε Q_{ij} .

Βήμα 3

Για κάθε εταιρία j , υπολογίζουμε D_j .

Βήμα 4

Για κάθε εταιρία j , υπολογίζουμε N_j .

Βήμα 5

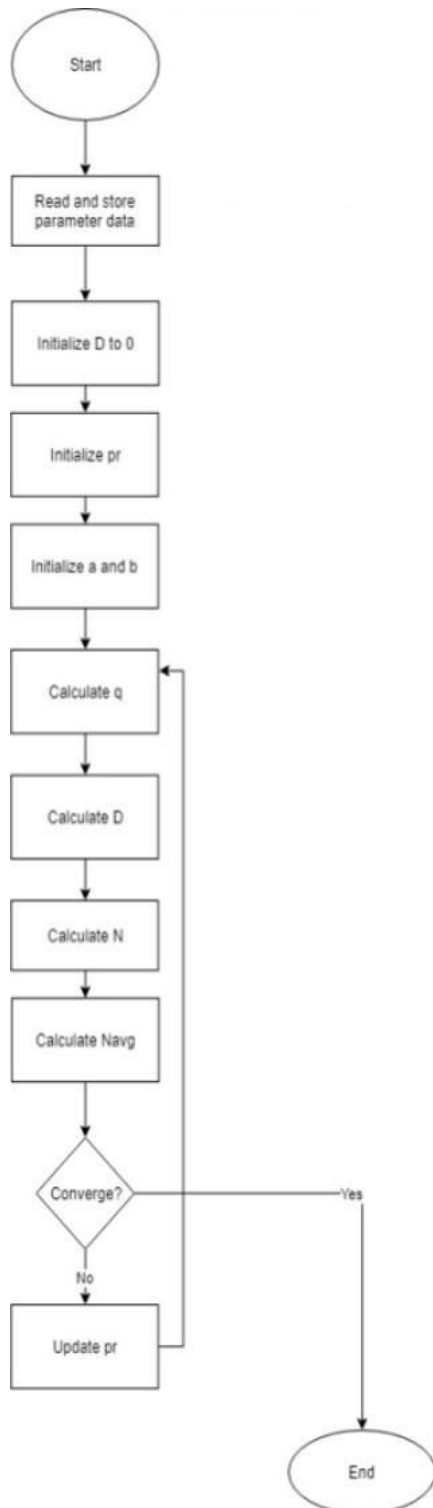
Υπολογίζουμε το $N_{(avg)}$.

Βήμα 6

Αν για κάθε εταιρία j $|N_j - N_{(avg)}| < \epsilon_1$, τότε η διαδικασία τελειώνει. Διαφορετικά, ενημερώνουμε $\epsilon_1 = \epsilon_1 + \epsilon_1 \cdot (\dots)$ για όλες τις εταιρίες που δεν ικανοποιούν την παραπάνω συνθήκη και επιστρέφουμε στο Βήμα 3.

Εν ολίγοις, υπολογίζουν την ποσότητα που θα πάρουν από κάθε εταιρία, υπολογίζουν μετά τη συνολική ζήτηση που αντιστοιχεί σε κάθε εταιρία, στη συνέχεια υπολογίζουν το συλλογικό όφελος που έχουν από κάθε εταιρία και το μέσο συλλογικό όφελος και τελικά ελέγχουν αν η μέση συλλογική χρησιμότητα έχει φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα. Αν δεν έχει φτάσει, μειώνουν την πιθανότητα στις εταιρίες που ρίχνουν τον μέσο όρο, αυξάνουν την πιθανότητα σε αυτές που την ανεβάζουν και επαναλαμβάνουν τη διαδικασία, μέχρι τελικά η συλλογική χρησιμότητα να φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα.

Τα ϵ_1 και σ_1 είναι θετικές σταθερές που εκφράζουν το όριο και την ταχύτητα σύγκλισης της διαδικασίας αντίστοιχα. (Αξίζει να σημειωθεί πως δεχόμαστε ότι οι καταναλωτές γνωρίζουν την παραγωγική δυνατότητα κάθε επιχείρησης, ενώ στην πραγματικότητα για πολλές εταιρίες δεν υπάρχουν στοιχεία.)



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής εξελικτικής διαδικασίας καταναλωτών

2.3.4 Ανάλυση συμπεριφοράς επιχειρήσεων

Τα έσοδα και τα έξοδα κάθε επιχείρησης μπορούν να εκφραστούν όπως περιγράφεται παρακάτω. Κάθε εταιρία έχει έσοδα $p_j * s_j$, όπου $s_j = \min(D_j, Power_j)$. Τα έξοδα κάθε εταιρίας είναι $s_j * c_j + A_j$, όπου το c αντιπροσωπεύει το μεταβλητό κόστος παραγωγής και το A τα

σταθερά κόστη.

Σίγουρα μπορεί κανείς να διαφωνήσει με την υπεραπλουστευμένη, γραμμική μορφή της συνάρτησης κόστους. Στην πραγματικότητα κάθε άλλο παρά γραμμικό είναι, όπως φαίνεται σε σχετικές έρευνες [75]. Ωστόσο, στη συγκεκριμένη περίπτωση, επειδή η Ελλάδα είναι πολύ χαμηλά σε σχέση με τους μεγαλύτερους παραγωγούς ενέργειας [76], για τις μικρές ποσότητες που παράγουν οι ελληνικές εταιρίες, σύμφωνα με το [72], μπορούμε να δεχτούμε πως έχει σχεδόν γραμμική μορφή. Μπορούμε επίσης να θεωρήσουμε πως κάθε επιχείρηση τη συμφέρει να πουλήσει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα μπορεί, αφού $\text{Marginal_Income} > \text{Marginal_Cost}$ για τις τιμές που επικρατούν.

Τα κέρδη των επιχειρήσεων είναι:

$$= \sum_{i=1}^n (p_i - c_i) \cdot q_i \quad \text{for } p_i \geq c_i$$

$$= \sum_{i=1}^n (c_i - p_i) \cdot q_i \quad \text{for } p_i < c_i$$

2.3.5 Αλγόριθμος τιμολόγησης επιχειρήσεων

Βήμα 1

Για κάθε εταιρία επιλέγουμε αρχικές τιμές και μετά προσομοιώνουμε την εξελικτική διαδικασία των καταναλωτών, για να δούμε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν.

Βήμα 2

Για κάθε εταιρία j , ενημερώνουμε την τιμή με τον παρακάτω τρόπο:

Βήμα 2a

Τρέχουμε την εξελικτική διαδικασία των καταναλωτών χρησιμοποιώντας τις νέες τιμές των προηγούμενων εταιριών, τις τρέχουσες τιμές των επόμενων εταιριών και την τρέχουσα τιμή της εταιρίας j . Υπολογίζουμε το sn_{ew_j} , το οποίο είναι η νέα προβλεπόμενη ποσότητα πώλησης για την εταιρία j και το $p_j = p_j - e_1$.

Βήμα 2b

Τρέχουμε την εξελικτική διαδικασία των καταναλωτών χρησιμοποιώντας τις νέες τιμές των προηγούμενων εταιριών, τις τρέχουσες τιμές των επόμενων εταιριών και $p_j = p_j + e_2$ ως τιμή για την εταιρία j . Υπολογίζουμε το sn_{ew_j} , το οποίο είναι η νέα προβλεπόμενη ποσότητα πώλησης για την εταιρία j και το $p_j = p_j + e_2$.

Βήμα 2c

Τρέχουμε την εξελικτική διαδικασία των καταναλωτών χρησιμοποιώντας τις νέες τιμές των προηγούμενων εταιριών, τις τρέχουσες τιμές των επόμενων εταιριών και $p_j = p_j - e_2$ ως τιμή για την εταιρία j . Υπολογίζουμε το sn_{ew_j} , το οποίο είναι η νέα προβλεπόμενη ποσότητα πώλησης για την εταιρία j και το $p_j = p_j - e_2$.

Βήμα 2d

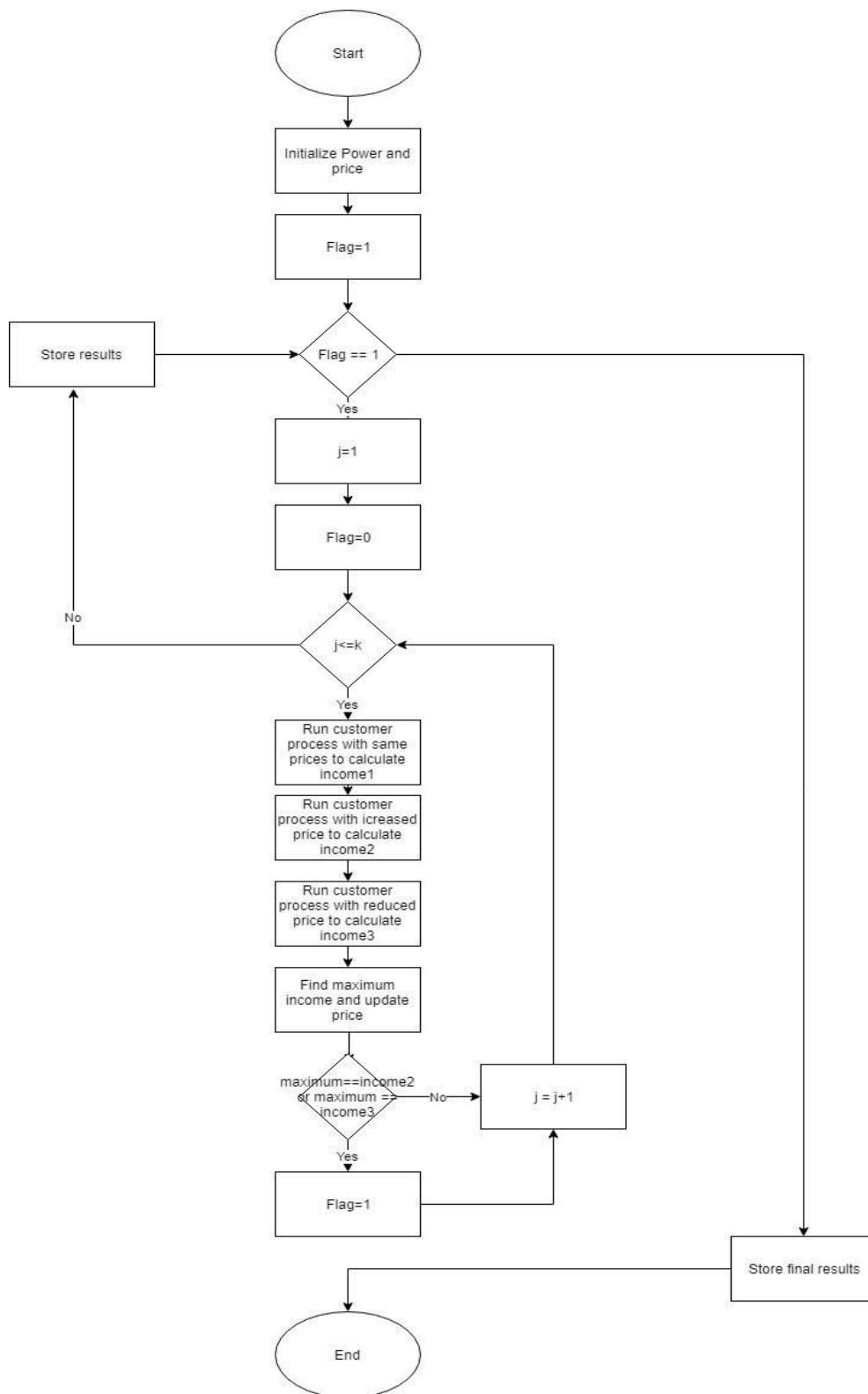
Συγκρίνουμε τα income_0 , income_1 και income_2 . Αν $\max(\text{income}_0, \text{income}_1, \text{income}_2) = \text{income}_0$, τότε η τιμή παραμένει ως έχει. Αν $\max(\text{income}_0, \text{income}_1, \text{income}_2) = \text{income}_1$, τότε $p_j = p_j + e_2$. Αν $\max(\text{income}_0, \text{income}_1, \text{income}_2) = \text{income}_2$, τότε $p_j = p_j - e_2$.

Βήμα 3

Αν οποιαδήποτε τιμή άλλαξε κατά τη διάρκεια του Βήματος 2, τότε επιστρέφουμε στο Βήμα 2. Αλλιώς, ανακοινώνουμε τις τελικές τιμές.

Οι επιχειρήσεις ξεκινούν από μία τυχαία τιμή και βλέπουν πώς θα αντιδρούσαν οι καταναλωτές με αυτήν την τιμή. Στη συνέχεια, σειριακά τροποποιούν τις τιμές τους. Κάθε εταιρία ελέγχει τι θα συμβεί

αν δεν αλλάξει τιμή, αν αυξήσει λίγο την τιμή της και αν μειώσει λίγο την τιμή της. Ανάλογα με το ποια επιλογή θα της δώσει τα μεγαλύτερα έσοδα, επιλέγει αυτήν. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να υπάρξει ένας γύρος στον οποίο καμία επιχείρηση δεν θα αλλάξει τιμή. Έχουμε, δηλαδή, το παρακάτω διάγραμμα ροής :



Διάγραμμα 2: Non cooperative game επιχειρήσεων

2.3.6 Απόδειξη ύπαρξης ισορροπίας

Θεώρημα 1

Η ισορροπία Nash ισχύει σε μη συνεργατικό παιχνίδι μεταξύ εταιριών.

Λήμμα 1

Η ισορροπία Nash ισχύει αν:

- Το σύνολο των παιχτών είναι πεπερασμένο.
- Τα σύνολα στρατηγικών είναι κλειστά, κυρτά και φραγμένα.
- Οι συναρτήσεις χρησιμότητας είναι συνεχείς και ημικοίλες στο διάστημα των στρατηγικών.

Βασισμένοι στο Λήμμα 1, μπορούμε να αποδείξουμε το Θεώρημα 1.

Απόδειξη 1

Είναι προφανές ότι ο αριθμός των επιχειρήσεων είναι περιορισμένος.

Για κάθε τιμή p_j , έχουμε $p_j \in [p_{\min}, p_{\max}]$. Το p_{\min} υπάρχει επειδή οι εταιρίες χρειάζονται τουλάχιστον να καλύψουν τα έξοδά τους για να λειτουργήσουν. Το p_{\max} υπάρχει λόγω της κυβερνητικής νομοθεσίας που προστατεύει τους καταναλωτές. Επιπλέον, οι τιμές (στρατηγικές) είναι μοναδικές τιμές, οπότε είναι κυρτές. Οπότε τα σύνολα στρατηγικών είναι κλειστά, κυρτά και φραγμένα.

Όπως αναφέραμε, έχουμε:

$$= \begin{cases} (-) \cdot \sum_{i=1}^n (-) - & \text{for } \geq \\ (-) \cdot - & \text{for } < \end{cases}$$

Αν υπολογίσουμε τη δεύτερη παράγωγο του πρώτου κλάδου, έχουμε:

$$\frac{\partial^2}{\partial p_j^2} < 0$$

Αν την υπολογίσουμε για τον δεύτερο κλάδο, έχουμε:

$$\frac{\partial^2}{\partial p_j^2} = 0$$

Οπότε συνολικά έχουμε:

$$\frac{\partial^2}{\partial p_j^2} \leq 0$$

Άρα, οι συναρτήσεις χρησιμότητας είναι συνεχείς και ημικοίλες.

Εφόσον ισχύουν οι συνθήκες 1-3, έχουμε ισορροπία Nash σε μη συνεργατικό παιχνίδι μεταξύ εταιριών.

Θεώρημα 2

Η ισορροπία Stackelberg ισχύει μεταξύ των εταιριών ηλεκτρικής ενέργειας και των καταναλωτών που τη χρησιμοποιούν.

Απόδειξη 2

Η ύπαρξη της ισορροπίας Nash στο παιχνίδι των επιχειρήσεων αποδείχτηκε στο Θεώρημα 1. Βασισμένη στην τιμή ισορροπίας των εταιριών, η σύγκλιση στην ισορροπία της εξελικτικής διαδικασίας των καταναλωτών είναι εγγυημένη, λόγω των replicator dynamics. Έτσι, η ισορροπία του Stackelberg επίσης ισχύει.

2.3.7 Αξιολόγηση σε σύγκριση με προηγούμενα μοντέλα

Σε αντίθεση με το [26], βρέθηκε τρόπος να καθοριστεί το βέλτιστο επίπεδο παραγωγής. Στο [26] θεωρούνταν δεδομένο, ενώ στο δικό μας μοντέλο είναι θεωρητικά ίσο με τη μεγαλύτερη ποσότητα που μπορεί να καταφέρει να πουλήσει τελικά η εταιρία. Πρακτικά βέβαια καλό θα ήταν να παράγει λίγο περισσότερο η επιχείρηση, για να είναι σίγουρη πως δεν θα υπάρξει πρόβλημα σε περίπτωση λανθασμένης εκτίμησης της ζήτησης.

Στο [25] χρησιμοποιείται μια πολύπλοκη συνάρτηση κόστους παραγωγής, η οποία δυσχεραίνει την εύρεση τελικού αποτελέσματος. Στο [26] η μελέτη του κόστους αποφεύγεται με τον μη προσδιορισμό του επιπέδου παραγωγής. Στο δικό μας μοντέλο προτείνεται μια συνάρτηση γραμμικής μορφής που ανταποκρίνεται καλύτερα στα ελληνικά δεδομένα και που ταυτόχρονα δε δυσκολεύει τον υπολογισμό του τελικού αποτελέσματος.

Η μη ταυτόχρονη αλλαγή τιμών είναι μια προσθήκη που απλά κατά την άποψή μου κάνει το μοντέλο πιο ρεαλιστικό, χωρίς να αλλάζει κάτι από άποψη ουσίας. Όπως και κάθε άλλο θεωρητικό μοντέλο, έτσι και το δικό μας βασίζεται σε κάποιες παραδοχές: Οι καταναλωτές υποτίθεται ότι γνωρίζουν την παραγωγική δυνατότητα των επιχειρήσεων, ενώ οι επιχειρήσεις υποτίθεται πως γνωρίζουν ακριβώς τη συμπεριφορά των καταναλωτών. Προφανώς η δεύτερη υπόθεση δεν ισχύει, αλλά είναι μια αναπόφευκτη παραδοχή που πρέπει να γίνει σε όλα τα μοντέλα.

2.3.8 Επέκταση σε εξαμηνιαία βάση

Για να δούμε τι θα συμβεί σε περίπτωση που οι επιχειρήσεις επιλέγουν ενιαία τιμή για όλο το εξάμηνο ενώ οι καταναλωτές διαλέγουν επιχείρηση κάθε ώρα, το μόνο που πρέπει να αλλάξουμε είναι το να εφαρμόσουμε την εξελικτική διαδικασία των καταναλωτών για κάθε μία από τις ώρες ξεχωριστά. Θα αθροίσουμε για κάθε μία από τις ώρες τη ζήτηση που προκύπτει για κάθε επιχείρηση, θα αθροίσουμε και την ποσότητα που μπορεί κάθε ώρα να πουλήσει και κατά τα άλλα, το μοντέλο παραμένει ως έχει.

Βήμα 1

Αρχικοποιούμε τις pr_{jt} και μαθαίνουμε τις τρέχουσες p_j .

Βήμα 2

Για όλους τους καταναλωτές i , όλες τις εταιρίες j , όλες τις ώρες t , υπολογίζουμε το Q_{ijt} .

Βήμα 3

Για όλες τις εταιρίες j και όλες τις ώρες t υπολογίζουμε τις ποσότητες

$$N_{jt} = \sum_{i=1}^h Q_{ijt}, \quad N_{(aug)t} = \sum_{i=1}^h Q_{iit}, \quad N_{(aug)t} = \sum_{i=1}^h Q_{iit}$$

Βήμα 4

Για κάθε ώρα t , κάθε εταιρία j , υπολογίζουμε το N_{jt} .

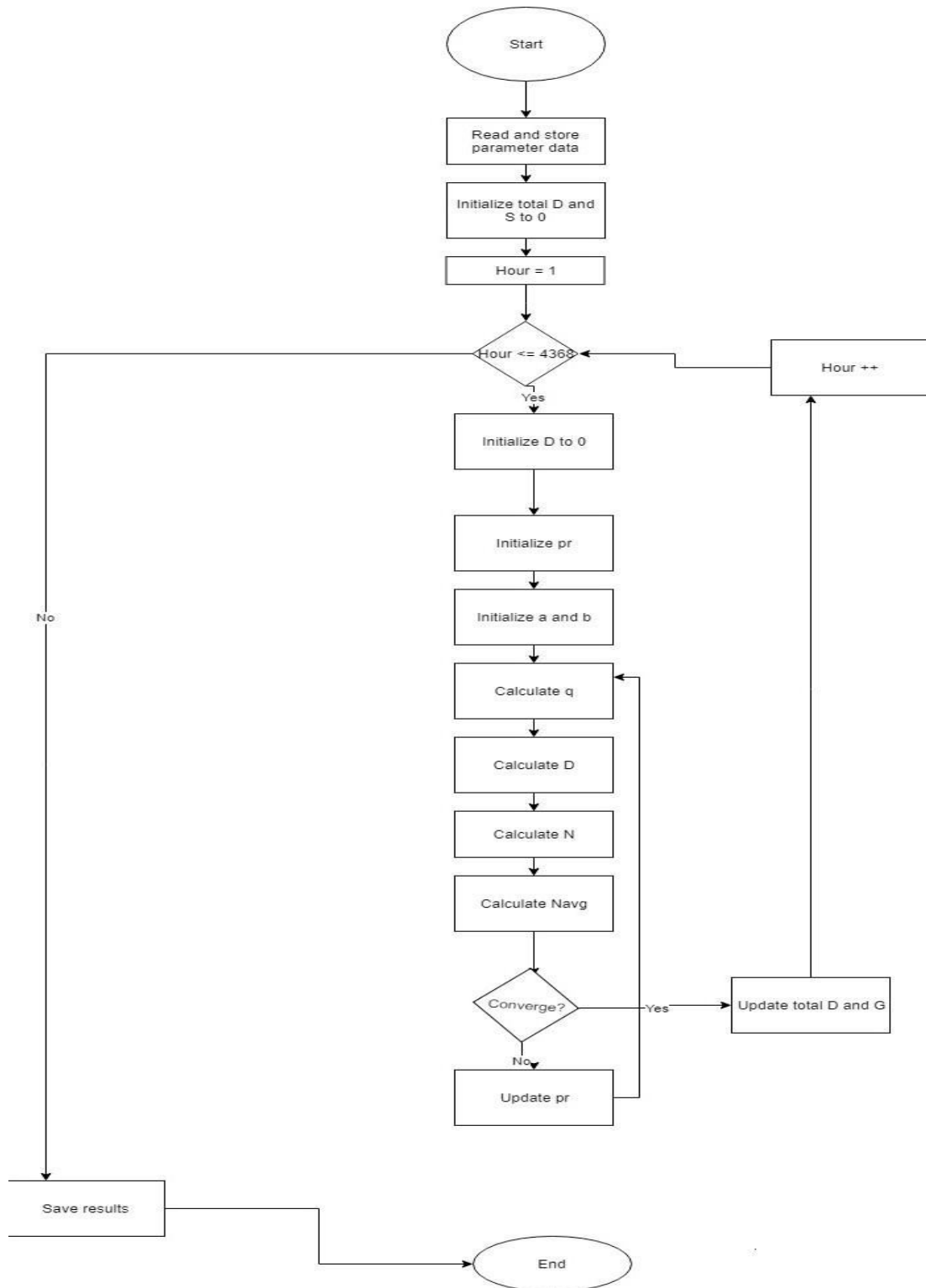
Βήμα 5

Υπολογίζουμε το $N_{(aug)t}$ για κάθε ώρα.

Βήμα 6

Για κάθε ώρα t , αν για κάθε εταιρία j $|N_{jt} - N_{(aug)t}| < \epsilon_1$, τότε η διαδικασία τελειώνει.

Διαφορετικά ενημερώνουμε $pr_{jt} = pr_{jt} + \sigma_1 * (N_{jt} - N_{(aug)t})$ για όλες τις εταιρίες και ώρες που δεν ικανοποιούν την παραπάνω συνθήκη και επιστρέφουμε στο Βήμα 3.



Διάγραμμα 3: Εξαμηνιαίο μοντέλο

3

Περιγραφή εξεταζόμενων σεναρίων

3.1 Εισαγωγή

Για να επαληθεύσουμε αν πράγματι το θεωρητικό μοντέλο που μόλις περιγράφηκε ευσταθεί και σε πρακτικό επίπεδο, θα το προσαρμόσουμε σε κάποια συγκεκριμένα σενάρια αγοράς και θα αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα που δίνει. Αυτά τα σενάρια θα διαφοροποιούνται μεταξύ τους ανάλογα με τον χρονικό ορίζοντα και το επίπεδο συνεργασίας μεταξύ των επιχειρήσεων.

Παράλληλα, επειδή στην πραγματικότητα η συμπεριφορά των καταναλωτών δεν είναι και τόσο ορθολογική (παράγοντες όπως η διαφημιστική εκστρατεία των επιχειρήσεων, η φήμη και άλλα ασκούν καταλυτική επίδραση), θα αναπτυχθεί και ένα πιο σύνθετο μοντέλο, το οποίο θα λαμβάνει υπόψην του το customer loyalty, έτσι ώστε να αναδειχτούν οι προοπτικές που έχει το αρχικό θεωρητικό μας μοντέλο, αν γίνουν κάποιες κατάλληλες προσθήκες στοιχείων marketing. Το σύνθετο μοντέλο θα δοκιμαστεί και αυτό σε όλα τα σενάρια.

Κριτήριο αξιολόγησης θα είναι τα αρχικά μερίδια αγοράς που δίνει το μοντέλο, πριν ακόμα αλλάξει οποιαδήποτε τιμή. Στην ιδανική περίπτωση, θα πρέπει τα πάντα να έχουν μοντελοποιηθεί τόσο καλά που να ταυτίζονται με τα πραγματικά που καταγράφονται στην αγορά. Για τον υπολογισμό του μεριδίου αγοράς δεν απαιτείται κάποια εξεζητημένη ενέργεια, βρίσκουμε απλώς τι ποσοστό της συνολικής ζήτησης έχει η κάθε επιχείρηση ($\frac{1}{1+2+\dots+n}$) για να το εκφράσουμε και σε ορολογία του μοντέλου).

Ως επιπλέον κριτήριο θα μπορούσε να θεωρηθεί η σύγκριση των εσόδων που δίνει το μοντέλο με τα πραγματικά έσοδα που καταγράφηκαν στους ισολογισμούς. Ωστόσο, αν σκεφτούμε πως δε συνυπολογίζουμε έσοδα από μεγάλους βιομηχανικούς πελάτες και από κόστη συνδέσεων, είναι αναμενόμενο πως θα υπάρχει μια σημαντική απόκλιση, καθώς τα υπολογιζόμενα θα είναι αρκετά μικρότερα από τα πραγματικά. Οπότε στη συγκεκριμένη περίπτωση, αυτό που μπορούμε να ελέγξουμε είναι αν όντως είναι αρκετά μικρότερα από τα πραγματικά. Αν δεν είναι, κάτι θα έχει γίνει λάθος.

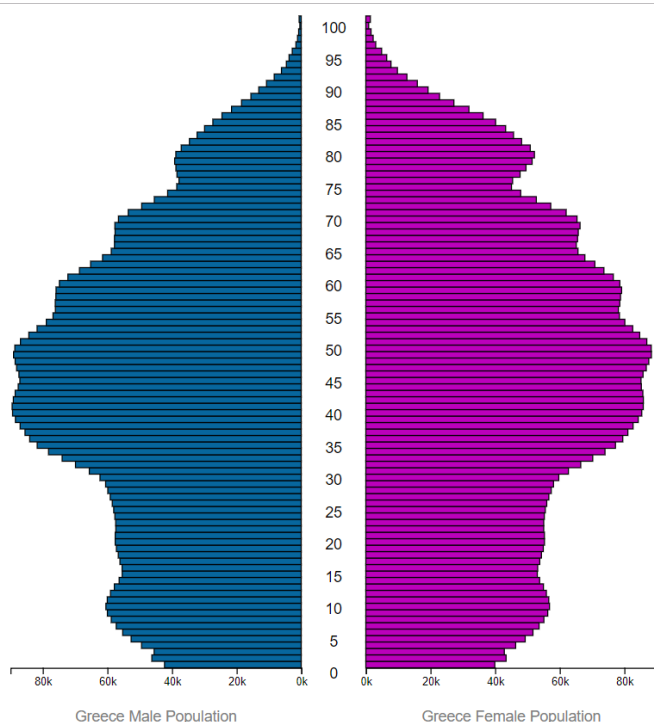
Το πιο σημαντικό κριτήριο όμως είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων στα διάφορα σενάρια.

Αν παρατηρηθούν συμπεριφορές αντίθετες με την οικονομική λογική (δηλαδή ότι σε σενάριο καρτέλ μειώνονται τα έσοδα των επιχειρήσεων παραδείγματος χάριν), τότε σίγουρα κάποιο πρόβλημα θα υπάρχει.

3.2 Περιγραφή σύνθετου μοντέλου

Το σύνθετο μοντέλο διαφοροποιείται από το απλό σε μόνο ένα σημείο. Ενώ στο απλό μοντέλο που περιγράψαμε όλοι οι καταναλωτές είχαν τη δυνατότητα να επιλέγουν κάθε ώρα εταιρία, τώρα στο σύνθετο μοντέλο υποθέτουμε ότι μόνο το 40% των καταναλωτών έχει αυτή τη δυνατότητα, ενώ το υπόλοιπο 60% παραμένει πιστό στη ΔΕΗ, ανεξάρτητα από τις τιμές. Αυτή η υπόθεση μπορεί να δικαιολογηθεί με το παρακάτω σκεπτικό:

Σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού του 2011 [67][68], συνολικά η χώρα έχει 10.816.286 κατοίκους. Από αυτούς 1.569.268 είναι ηλικίας 0-14 ετών, σχεδόν το 100% συγκατοικεί με τους γονείς του, οπότε πρακτικά απομένουν 9.247.018 αποφασίζοντες. Σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat [69][70], το 96,9 % από τους 553.276 Έλληνες ηλικίας 15-19 ετών συγκατοικεί με γονείς, οπότε μένουν 8.710.894 αποφασίζοντες. Το 75,1 % εκ των 1.350.868 Ελλήνων ηλικίας 20-29 ετών συγκατοικούν με γονείς, οπότε μειώνονται σε 7.696.393 οι αποφασίζοντες. Το 51,6 % των Ελλήνων ηλικίας 20-34 συγκατοικούν με γονείς. Αυτό σημαίνει πως το 64,4% περίπου των Ελλήνων ηλικίας 30-34 παραμένουν στους γονείς. Στην απογραφή αναφέρεται ότι 1.635.304 Έλληνες έχουν ηλικία 30-39. Οπότε αν κάνουμε την απλοϊκή υπόθεση ότι οι μισοί έχουν ηλικία 30-34, μας μένουν 7.169.825 αποφασίζοντες. Συνολικά έχουμε 4.126.475 άτομα ηλικίας άνω των 50.



Εικόνα 15: Ηλικιακή κατανομή ελληνικού πληθυσμού

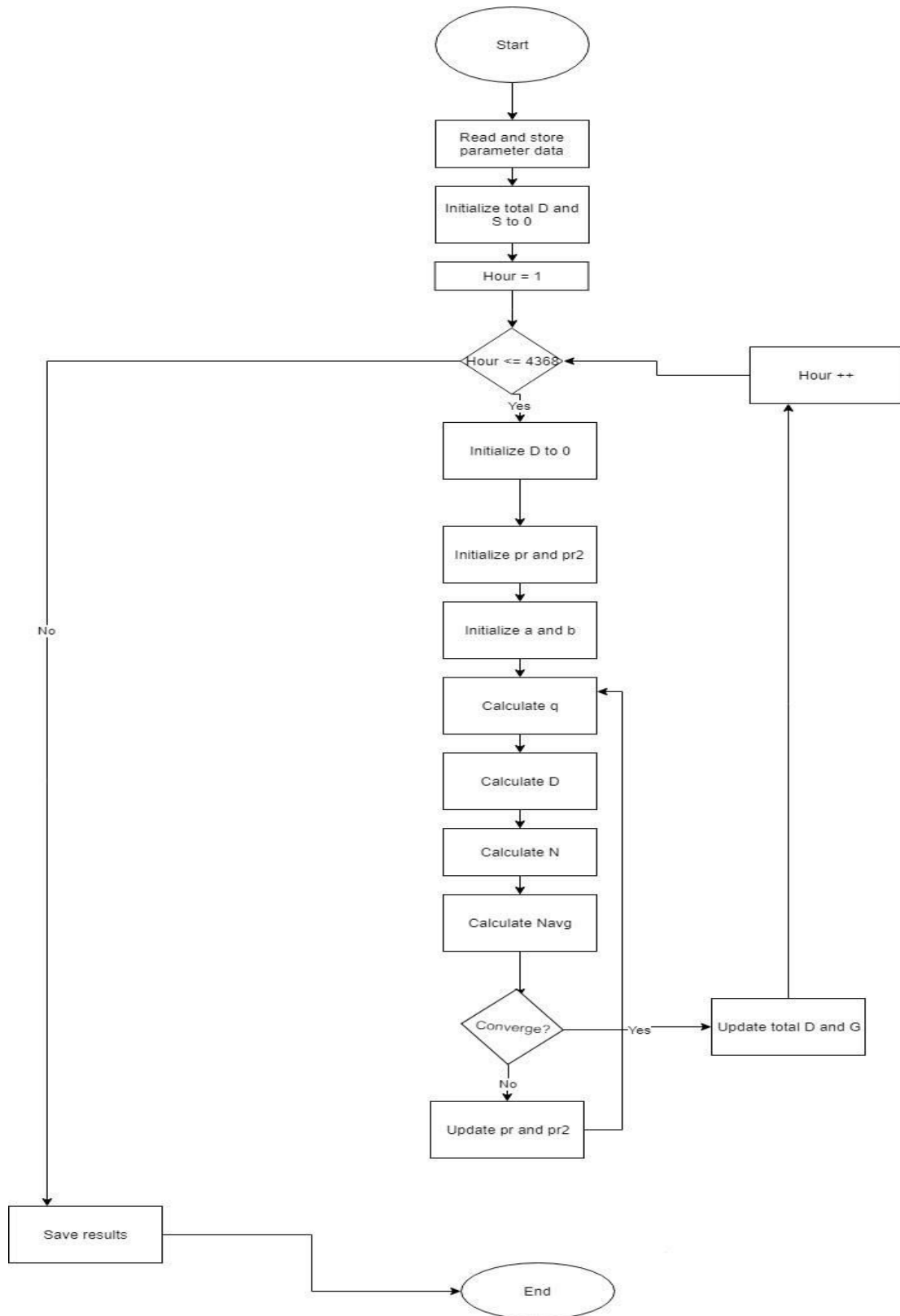
Κάπου εδώ τελειώνουν τα δεδομένα μας. Αλλά αν σκεφτούμε ότι τα 4.126.475 άτομα ηλικίας άνω των 50 δύσκολα αλλάζουν άποψη και ότι σίγουρα θα ασκούν και κάποια επιρροή στις ηλικιακές ομάδες 35-39 και 40-49, τότε σίγουρα το 60% είναι απόλυτα δικαιολογημένο σε βραχυπρόθεσμη βάση. Άλλωστε, υπάρχουν και απομακρυσμένες περιοχές του δικτύου στις οποίες μόνο η ΔΕΗ έχει πρόσβαση.

Με μόνο αυτήν την απλή διαφοροποίηση, θα δείξουμε πόσο ακριβές μπορεί να γίνει το

μοντέλο.

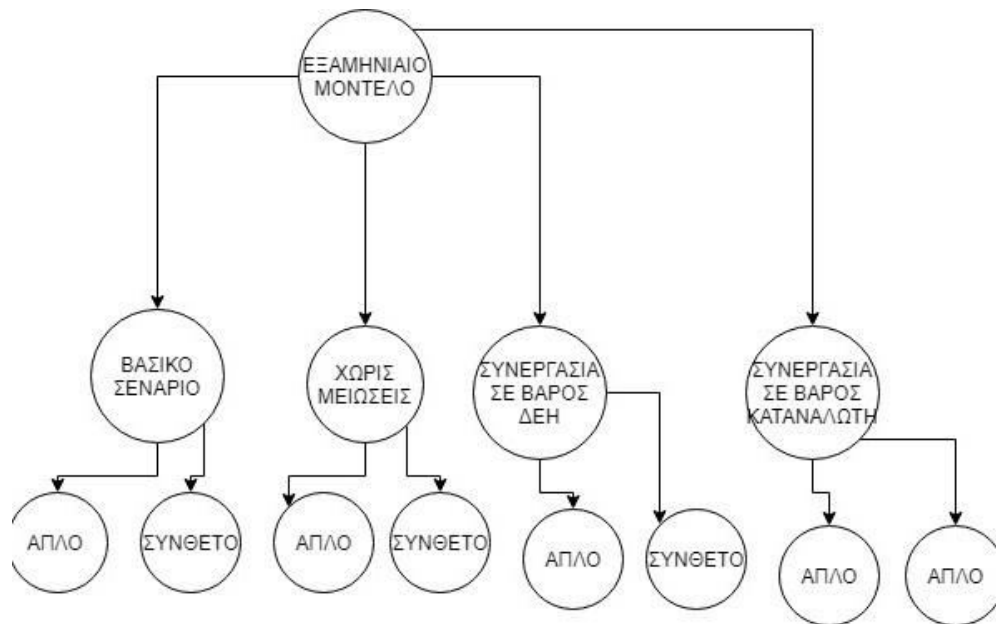
Τώρα αντί να έχουμε απλώς μια κατανομή πιθανοτήτων pr , έχουμε μια κατανομή πιθανοτήτων $pr2$ που μεταβάλλεται κατά την εκτέλεση του προγράμματος, και η συνολική πιθανότητα pr ορίζεται ως $pr[j] = 0.4 * pr2[j]$ για όλες τις επιχειρήσεις εκτός της ΔΕΗ και $pr[j] = 0.6 + 0.4 * pr2[j]$ για τη ΔΕΗ.

Το διάγραμμα ροής των καταναλωτών για τις εξαμηνιαίες περιπτώσεις διαμορφώνεται τώρα με τον εξής τρόπο:



Διάγραμμα 4: Σύνθετη εξελικτική διαδικασία καταναλωτών

3.3 Εξαμηνιαία σενάρια



Διάγραμμα 5: Εξαμηνιαία σενάρια

3.3.1 Βασικό σενάριο

Το βασικό σενάριο είναι αυτό ακριβώς που περιγράφηκε και στο θεωρητικό μοντέλο. Οι εταιρίες έχουν ενιαίες τιμές για το εξάμηνο, ενώ οι καταναλωτές επιλέγουν εταιρία κάθε ώρα.

Θεωρητικά περιμένουμε να δούμε αρχικά μερίδια αγοράς παραπλήσια με τα πραγματικά στο σύνθετο μοντέλο, ενώ στο απλό μοντέλο ελπίζουμε πως τουλάχιστον θα υπάρχει μια αναλογικότητα, δηλαδή πως η ΔΕΗ θα έχει με διαφορά το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς, θα ακολουθούν Heron, Elpedison Protergia, μετά οι Volterra, NRG, Watt + Volt και στο τέλος οι 5 μικρότερες. Σίγουρα πάντως η ΔΕΗ θα εμφανίζεται με αρκετά μικρότερο μερίδιο, λόγω του μη υπολογισμού του customer loyalty. Όσον αφορά τα έσοδα, και στο απλό και στο σύνθετο μοντέλο σίγουρα θα πρέπει να είναι μικρότερα από τα πραγματικά που έχουν καταγραφεί.

Σχετικά με τα τελικά αποτελέσματα, αναμένουμε να υπάρχει μια πτώση των κερδών, επειδή οι εταιρίες λειτουργούν χωρίς κάποια συνεργασία μεταξύ τους. Επομένως, διαρκώς θα μειώνουν τιμές προσπαθώντας να διευρύνουν το μερίδιο αγοράς τους.

3.3.2 Σενάριο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών

Για να αποφευχθεί το φαινόμενο που μόλις αναφέρθηκε, πραγματοποιούμε την εξής τροποποίηση:

Όταν μια εταιρία εξετάζει τι θα συμβεί αν μειώσει την τιμή της (στο σημείο δηλαδή που υπολογίζεται το $Income_2$), υποθέτει πως και οι άλλες εταιρίες μειώνουν ταυτόχρονα τις δικές τους τιμές και υπολογίζει αν ακόμα και έτσι εξακολουθεί να τη συμφέρει να μειώσει την τιμή. Με αυτόν τον τρόπο οι εταιρίες είναι σε θέση να αντιληφθούν τον πιθανό κίνδυνο πρόκλησης πολέμου τιμών από μια επιθετική τους κίνηση.

Αντί δηλαδή να χρησιμοποιεί $1, 2, \dots, -2, \dots, -1$ στους υπολογισμούς, χρησιμοποιεί $1 - 2, 2 - 2, \dots, -2, \dots, -2$. Αυτή η προσέγγιση γενικά μοιάζει αρκετά με kinked demand [81].

Σε αυτό το σενάριο περιμένουμε σίγουρα αρκετά υψηλότερα έσοδα από ότι στο βασικό, επειδή οι εταιρίες είναι περισσότερο διστακτικές στο να μειώνουν τις τιμές τους και έτσι κατά μέσο όρο προκύπτουν υψηλότερες τελικές τιμές. Υψηλότερες τιμές συνεπάγονται και υψηλότερα έσοδα, αφού έχουμε ανελαστική ζήτηση.

3.3.3 Σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ

Σε αυτό το σενάριο υποθέτουμε πως όλες οι υπόλοιπες εταιρίες συνεργάζονται σε βάρος της ΔΕΗ.

Αυτό που αναμένουμε να συμβεί σίγουρα είναι μια αύξηση των συνολικών εσόδων των συνεργαζόμενων επιχειρήσεων, χωρίς ωστόσο να έχουμε και κατ' ανάγκη αύξηση όλων των μεμονωμένων εσόδων. Κάποιες εταιρίες θα παραμερίσουν το δικό τους όφελος, προκειμένου να ωθήσουν τους καταναλωτές σε κάποια άλλη συνεργαζόμενη εταιρία. Όσον αφορά τη ΔΕΗ, δεν μπορούμε να προδικάσουμε κάτι με βεβαιότητα. Θα μπορούσαν ακόμα και να αυξηθούν τα έσοδά της, αν οι υπόλοιπες εταιρίες συνεννοηθούν και ανεβάσουν όλες τις τιμές. Στο απλό μοντέλο πάντως οι δυνατότητες θα είναι πολύ περισσότερες από ότι στο σύνθετο, επειδή στο σύνθετο μόνο το 40% των καταναλωτών “μετακινείται”.

Αξίζει να σημειωθεί πως στην πραγματικότητα είναι αρκετά δύσκολο να υλοποιηθεί αυτό το σενάριο, καθώς ο συντονισμός μεταξύ τόσων εταιριών είναι χρονοβόρος και δύσκολος. Εκτός από αυτό όμως, εμπόδιο αποτελεί σίγουρα και η έλλειψη εμπιστοσύνης στη διανομή των κερδών. Οι εταιρίες που θα κληθούν να μειώσουν τα δικά τους έσοδα για το συλλογικό συμφέρον δύσκολα θα το δεχτούν. Από θεωρητική άποψη όμως, είναι ένα σενάριο που αξίζει να μελετηθεί για να διαπιστωθεί αν τα μοντέλα μας υλοποιούν σωστά τις συνεργασίες μεταξύ εταιριών.

Ακόμα, οφείλει να επισημανθεί πως μικρότεροι συνασπισμοί μεταξύ δύο, τριών και περισσότερων εταιριών έχουν δοκιμαστεί με επιτυχία αλλά τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται σε αυτή τη διπλωματική, διότι είναι παρόμοια με αυτά της συνεργασίας που περιγράφηκε και δεν έχουν να προσδώσουν κάτι στην έρευνα.

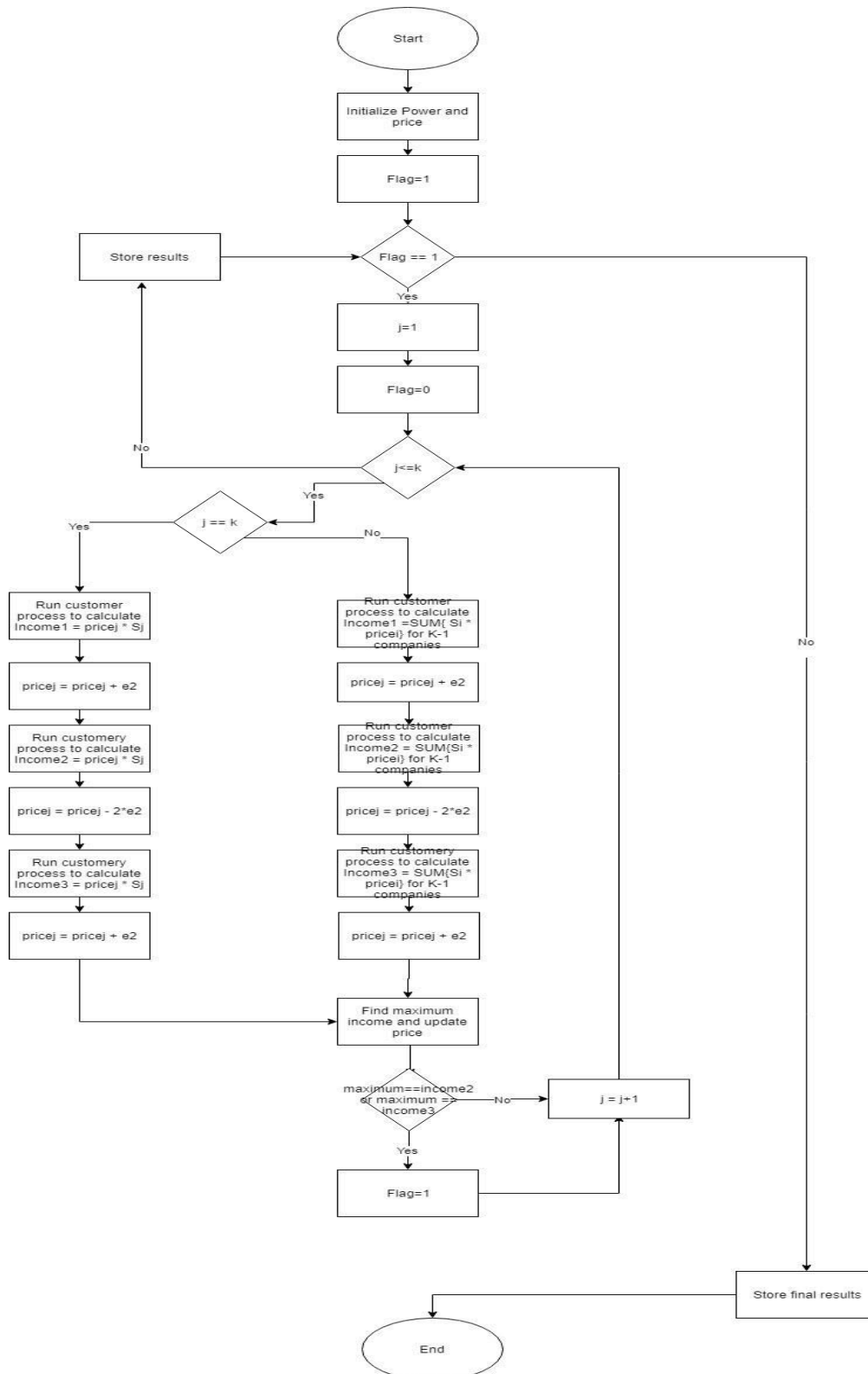
Για να υλοποιηθεί στην πράξη η συνεργασία των εταιριών σε βάρος της ΔΕΗ, η κάθε εταιρία j αντιλαμβάνεται ως $Income_1$, $Income_2$ και $Income_3$ τα συνολικά έσοδα των $K-1$ εταιριών και όχι τα δικά της και αποφασίζει με βάση τη συνολικά έσοδα.

Δηλαδή τώρα έχουμε:

$$\begin{aligned}
 1 &= \sum_{i=1}^{-1} (*) \\
 2 &= \sum_{i=1}^{-1} (*), \quad h = + 2, \\
 3 &= \sum_{i=1}^{-1} (*), \quad h = - 2
 \end{aligned}$$

Αντί για:

$$\begin{aligned}
 1 &= * \\
 2 &= * , \quad h = + 2, \\
 3 &= * , \quad h = - 2
 \end{aligned}$$



Διάγραμμα 6: Σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ

334 Σενάριο συνεργασίας σε βάρος του καταναλωτή

Υποθέτουμε τώρα ότι όλες οι εταιρίες συνεργάζονται σε βάρος του καταναλωτή. Το φυσιολογικό θα είναι τα συνολικά έσοδα των επιχειρήσεων να αυξηθούν, αφού διαμορφώνεται μια πολύ υψηλή τιμή στην αγορά. Για την ακρίβεια, τα συνολικά έσοδα θα

πρέπει να είναι περισσότερα από κάθε άλλο σενάριο.

Μακροπρόθεσμα αυτό το καρτέλ δεν θα μπορούσε να είναι βιώσιμο, καθώς είτε κάποια εταιρία θα αισθανθεί αδικημένη και θα αποχωρήσει, είτε θα παρέμβει η κυβέρνηση θεσπίζοντας νόμους, είτε απλά θα εισέρθουν νέες εταιρίες στην αγορά. Σε θεωρητικό επίπεδο όμως, αξίζει να δοκιμάσουμε και αυτό το σενάριο, για να ελέγξουμε αν το μοντέλο μας ανταποκρίνεται καλά σε σενάρια καρτέλ.

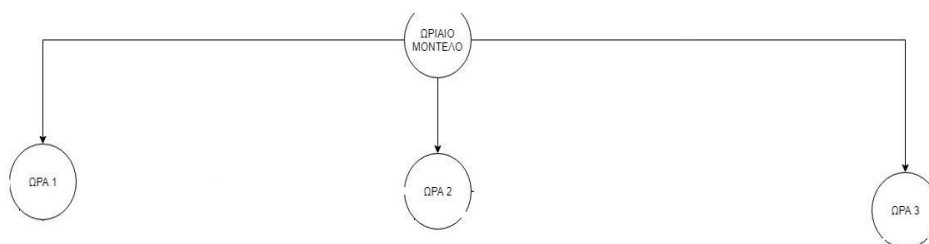
Για να υλοποιηθεί στην πράξη αυτή η συνεργασία, κάνουμε ό,τι και στο προηγούμενο σενάριο, αλλά συμπεριλαμβάνουμε και τη ΔΕΗ στο άθροισμα.

3.4 Ωριαία σενάρια

Σε κάθε ένα από τα ωριαία σενάρια, διακρίνουμε 3 υποσενάρια όπως περιγράφονται παρακάτω.

Ένα για μια ώρα χαμηλής ζήτησης (3500 MW),
Ένα για μια ώρα μέσης ζήτησης (5500 MW)
Και ένα για μια ώρα υψηλής ζήτησης (8500 MW).

Αυτό η απόφαση ελήφθη με σκοπό την πιο ακριβή μελέτη της συμπεριφοράς του ωριαίου μοντέλου. Αν εξετάζαμε μόνο σενάριο μέσης ζήτησης, τα αποτελέσματα θα ήταν όμοια με αυτά του εξαμηνιαίου μοντέλου. Εξετάζοντας και τα 3 υποσενάρια όμως, είμαστε σε θέση να διαπιστώσουμε πως λειτουργεί το μοντέλο υπό ακραίες συνθήκες.



Διάγραμμα 7: Ωριαία σενάρια

3.4.1 Βασικό σενάριο

Το βασικό σενάριο είναι αυτό ακριβώς που περιγράφηκε και στο θεωρητικό μοντέλο. Οι εταιρίες μεταβάλλουν ανά ώρα τις τιμές τους και οι καταναλωτές επιλέγουν κάθε ώρα.

Θεωρητικά περιμένουμε να δούμε αρχικά μερίδια αγοράς παραπλήσια με τα πραγματικά στο σύνθετο μοντέλο, ενώ στο απλό μοντέλο ελπίζουμε πως τουλάχιστον θα υπάρχει μια αναλογικότητα, δηλαδή πως η ΔΕΗ θα έχει με διαφορά το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς, θα ακολουθούν Heron, Elpedison Protergia, μετά οι Volterra, NRG, Watt + Volt και στο τέλος οι 5 μικρότερες. Σίγουρα πάντως η ΔΕΗ θα εμφανίζεται με αρκετά μικρότερο μερίδιο, λόγω του μη υπολογισμού του customer loyalty.

Σχετικά με τα τελικά αποτελέσματα, αναμένουμε να υπάρχει μια πτώση των κερδών, επειδή οι εταιρίες λειτουργούν χωρίς κάποια συνεργασία μεταξύ τους. Επομένως, διαρκώς θα μειώνουν τιμές προσπαθώντας να διευρύνουν το μερίδιο αγοράς τους.

3.4.1.1 Βασικό σενάριο με χαμηλή ζήτηση

Το γεγονός ότι είναι πολύ χαμηλή η συνολική ζήτηση σημαίνει πως θα έχουμε σκληρό ανταγωνισμό τιμών, επειδή θα προσπαθούν όλες οι εταιρίες να διεκδικήσουν το μικρό μερίδιο που υπάρχει. Στο απλό μοντέλο ζημιωμένες αναμένουμε να είναι οι πιο Ακριβές, μεγάλες εταιρίες και ευνοημένες οι μικρότερες, καθώς θα είναι σε θέση σχεδόν να καλύψουν τη ζήτηση και ο καταναλωτής δεν θα χρειάζεται να καταφύγει στις μεγαλύτερες. Στο σύνθετο μοντέλο, ζημιωμένες αναμένεται να βγουν οι μεσαίες εταιρίες, επειδή η ΔΕΗ ελέγχει τουλάχιστον το 60% του μεριδίου αγοράς ο,τι και αν συμβεί. Οπότε θα έχουμε αρκετές μετακινήσεις από πελάτες των μεσαίων εταιριών προς τις μικρές και ίσως εξισωθούν σε μεγάλο βαθμό τα μερίδιά τους.

3.4.1.2 Βασικό σενάριο με μέση ζήτηση

Τα αποτελέσματα θα είναι όπως στη γενική περιγραφή του κεφαλαίου 3.4.1 , χωρίς κάποια σημαντική διαφοροποίηση.

3.4.1.3 Βασικό σενάριο με υψηλή ζήτηση

Υπάρχει μεγάλη ζήτηση να ικανοποιηθεί και επομένως προβλέπεται να αυξηθούν πολύ οι τιμές, αφού οι περισσότερες εταιρίες θα έχουν πιο πολύ ζήτηση από όσο μπορούν να ικανοποιήσουν. Ευνοημένες θα είναι οι εταιρίες με μεγαλύτερη παραγωγική δυνατότητα. Στο απλό μοντέλο περιμένουμε να αυξηθεί αρκετά το μερίδιό της η ΔΕΗ. Σε αντίθεση με τη γενική περιγραφή του 3.4.1, δεν θα έχουμε πτώση τιμών.

3.4.2 Σενάριο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών

Όταν μια εταιρία εξετάζει τι θα συμβεί αν μειώσει την τιμή της (στο σημείο δηλαδή που υπολογίζεται το $Income_2$) , υποθέτει πως και οι άλλες εταιρίες μειώνουν ταυτόχρονα τις δικές τους τιμές και υπολογίζει αν ακόμα και έτσι εξακολουθεί να τη συμφέρει να μειώσει την τιμή. Με αυτόν τον τρόπο οι εταιρίες είναι σε θέση να αντιληφθούν τον πιθανό κίνδυνο πρόκλησης πολέμου τιμών από μια επιθετική τους κίνηση. (Το αντίστοιχο του κεφαλαίου 3.3.2 δηλαδή). Όπως και στο 3.3.2 , αναμένουμε υψηλότερα έσοδα από το βασικό σενάριο, για τους ίδιους λόγους.

3.4.2.1 Σενάριο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών με χαμηλή ζήτηση

Περίπου ο,τι αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.4.2 , με την προσθήκη ότι η μη μείωση τιμών θα ζημιώσει κυρίως τη ΔΕΗ που έχει την υψηλότερη τιμή.

3.4.2.2 Σενάριο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών με μέση ζήτηση

Περίπου ο,τι αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.4.3

3.4.2.3 Σενάριο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών με υψηλή ζήτηση

Ούτως ή άλλως δεν υπάρχει πρόθεση για μείωση τιμών, οπότε τα αποτελέσματα θα είναι ίδια με το κεφάλαιο 3.4.1.3.

3.4.3 Σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ

Σε αυτό το σενάριο υποθέτουμε πως όλες οι υπόλοιπες εταιρίες συνεργάζονται σε βάρος της ΔΕΗ. Σε γενικές γραμμές αναμένουμε να συμβεί ο,τι στο κεφάλαιο 3.2.3

3.4.3.1 Σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ με χαμηλή ζήτηση

Λόγω της χαμηλής ζήτησης, η ΔΕΗ είναι αρκετά ευάλωτη και θα έχει μεγάλη ζημιά. Στο σύνθετο μοντέλο θα είναι καλύτερα τα πράγματα βέβαια, γιατί θα έχει έναν σταθερό πυρήνα πελατών.

3.4.3.2 Σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ με μέση ζήτηση

Ο,τι αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.3.3.

3.4.3.3 Σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ με υψηλή ζήτηση

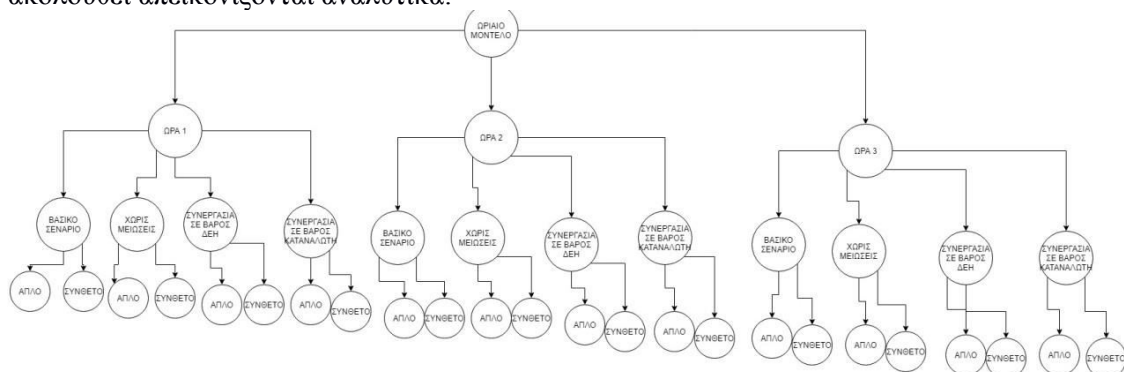
Λόγω της υψηλής ζήτησης, οι απώλειες της ΔΕΗ θα είναι πολύ μικρές. Κανείς δεν μπορεί να την εκτοπίσει, αφού οι παραγωγικές δυνατότητες των άλλων εταιριών δεν επαρκούν για να καλύψουν τη ζήτηση.

3.4.4 Σενάριο συνεργασίας σε βάρος του καταναλωτή

Σε αυτό το σενάριο, είτε πρόκειται για ώρα υψηλής είτε χαμηλής ζήτησης, τα ίδια με το κεφάλαιο 3.3.4 αναμένουμε να συμβούν.

3.5 Σύνοψη και σχολιασμός

Συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες, εξετάζουμε συνολικά 32 περιπτώσεις. $4*2=8$ σε εξαμηνιαία βάση και $3*4*2 = 24$ σε ωριαία βάση. Στο δέντρο που ακολουθεί απεικονίζονται αναλυτικά:



Εικόνα 16: Παρουσίαση σεναρίων

Εξετάζοντας αυτές τις 32 περιπτώσεις, μπορούμε να θεωρήσουμε πως έχουμε καλύψει ένα μεγάλο εύρος πιθανών οικονομικών καταστάσεων. Τα βασικά σενάρια έχουν κάποια χαρακτηριστικά πλήρους ανταγωνισμού και θα μπορούσαν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις

αν κάποια στιγμή αυξηθεί πολύ το πλήθος των εταιριών που δραστηριοποιούνται, τα σενάρια χωρίς διαρκείς μειώσεις τιμών είναι αρκετά κοντά στην τρέχουσα ολιγοπωλιακή μορφή της αγοράς, τα σενάρια συνεργασίας σε βάρος των καταναλωτών μελετούν το ενδεχόμενο καρτέλ και τα σενάρια σε βάρος της ΔΕΗ εξετάζουν την επίδραση της συνεργασίας μεταξύ εταιριών. Η μόνη ίσως κατάσταση αγοράς που δεν εξετάζεται είναι το μονοπώλιο, καθώς είναι εξαιρετικά απίθανο να επιστρέψει η αγορά σε τέτοια κατάσταση. Ούτως ή άλλως βέβαια, δεν έχει αξία να το εξετάσουμε, καθώς από θεωρητική άποψη τα αποτελέσματα είναι σχεδόν βέβαια.

Έπειτα, συμπεριλαμβάνοντας σενάρια με όλα τα εύρη ζήτησης, από πολύ χαμηλή έως πολύ υψηλή, αποδεικνύεται πως το μοντέλο μπορεί να παράξει αξιοπρεπή αποτελέσματα υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Τα σύνθετα μοντέλα μάλιστα επιτυγχάνουν τελικά περισσότερη ακρίβεια από όση αναμέναμε, όπως θα δούμε αναλυτικά και στην ενότητα 5.

Προφανώς υπάρχει ένα απεριόριστο πλήθος εναλλακτικών σεναρίων που θα μπορούσαν να δοκιμαστούν ακόμα, αλλά αυτό αφήνεται ως άσκηση στον αναγνώστη. Ο σκελετός του προγράμματος του βασικού σεναρίου άλλωστε παρατίθεται στο τέλος της εργασίας, έτσι ώστε όποιος επιθυμεί να μπορεί να πραγματοποιήσει μικρές τροποποιήσεις και να πειραματιστεί και με άλλα σενάρια. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας τουλάχιστον, θεωρώ πως είναι επαρκή και αντιπροσωπευτικά τα 32 σενάρια που επιλέχθηκαν.

4

Επιλογή Παραμέτρων

4.1 Περιγραφή προβλήματος

Στην θεωρητική περιγραφή του μοντέλου αναφέρθηκαν διάφοροι παράμετροι, χωρίς ωστόσο να υπάρχει κάποια επεξήγηση σχετικά με τον τρόπο που αυτές θα προσδιοριστούν στην πράξη. Τέτοιες παράμετροι ήταν το πλήθος και το προφίλ των καταναλωτών, το πλήθος και το προφίλ των επιχειρήσεων, οι αρχικές τιμές των επιχειρήσεων, η παραγωγική τους δυνατότητα, η αρχική κατανομή πιθανότητας (ή αλλιώς τα αρχικά market share), καθώς και οι παράμετροι a , b , e , σ . Μια ακόμα παράμετρος που οφείλει να καθοριστεί είναι το q , για λόγους που θα εξηγηθούν αργότερα (κεφάλαιο 4.6.2). Σε αυτήν την ενότητα, λοιπόν, θα περιγραφεί ο τρόπος με τον οποίο επιλέχτηκαν, έτσι ώστε να βρίσκονται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αντιστοιχία με την ελληνική πραγματικότητα.

4.2 Επιλογή δεδομένων ζήτησης

Για να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε προσομοίωση δεν υπάρχει τίποτα πιο απαραίτητο από τα δεδομένα ωριαίας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς όπως θα ειπωθεί στην ενότητα 4.6, μέσω του q προσδιορίζονται οι παράμετροι a και b και όχι το αντίστροφο. Σε όλα τα εξαμηνιαία σενάρια, αποφάσισα να χρησιμοποιήσω τα δεδομένα του χειμερινού εξαμήνου για το έτος 2016. Κατά συνέπεια, έχουμε $(31+29+31+30+31+30)*24 = 182*24 = 4368$ ώρες. Ο κυριότερος λόγος που προτίμησα το 2016 είναι ότι είναι ο τελευταίος από τους χρόνους που συμπεριλαμβάνουν στην έρευνά τους οι Tyralis, H. et al. [40]. Αναλυτικά στοιχεία σχετικά με τη ζήτηση, την θερμοκρασία και το ΑΕΠ παρέχονται από τους παραπάνω συγγραφείς σε μορφή excel, γεγονός που καθιστά λιγότερο δυσχερές το δικό μου έργο, γιατί δεν απαιτείται να τα συγκεντρώσω μόνος μου [41]. Υπήρχε και η δυνατότητα να συλλέξω τα δεδομένα του έτους 2017 από τον ΑΔΜΗΕ, αλλά έκρινα πως δεν υπάρχει κάποια σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ετών. Άλλωστε, το 2016 ήταν ένας χρόνος χωρίς ιδιαίτερα ακραίες καιρικές συνθήκες και θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αρκετά αντιπροσωπευτικό για τα ελληνικά δεδομένα [42][43]. Θα μπορούσε βέβαια να είχε επιλεγεί το εαρινό εξάμηνο αντί για το χειμερινό, χωρίς βλάβη της γενικότητας. Στα ωριαία σενάρια, θεώρησα ως “ώρα μικρής ζήτησης” μια τυχαία ώρα με ζήτηση 3500 MW, ως “ώρα μέτριας ζήτησης” μια τυχαία ώρα με ζήτηση 5500 MW και ως “ώρα μεγάλης ζήτησης” μια τυχαία ώρα με ζήτηση 8500

MW. Αυτές οι επιλογές έγιναν με βάση τις τιμές που παρατήρησα στα δεδομένα. Θα μπορούσαν φυσικά να είχαν γίνει άλλες επιλογές, αλλά πιστεύω πως τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι αντιπροσωπευτικά και δικαιώνουν τις επιλογές.

4.3 Προφίλ επιχειρήσεων και καταναλωτών

4.3.1 Προφίλ καταναλωτών

Επειδή δεν είναι δυνατό να συγκεντρώσουμε προσωπικά στοιχεία και για τους περίπου 4.135.000 καταναλωτές, αποφάσισα να υποθέσω πως όλοι οι καταναλωτές έχουν την ίδια ακριβώς συμπεριφορά. Προφανώς αυτό δεν ισχύει στην πραγματικότητα, αλλά δεδομένου ότι δεν υπάρχουν δημοσιευμένα στατιστικά στοιχεία για την κατάσταση της αγοράς, είναι προτιμότερο να μοντελοποιήσουμε τον “μέσο καταναλωτή” και να θεωρήσουμε πως όλοι οι καταναλωτές συμπεριφέρονται έτσι παρά να κάνουμε εικασίες και τυχαία market segmentations χωρίς στοιχεία. Αξίζει ακόμα να αναφερθεί πως με αυτόν τον τρόπο επιταχύνεται εκατομμύρια φορές η ταχύτητα εκτέλεσης του προγράμματος, καθώς η πολυπλοκότητα μειώνεται σε $O(C1*C2*K)$ από $O(C1*C2*K*N)$.

4.3.2 Προφίλ επιχειρήσεων

Οι παρακάτω εταιρίες επιλέχτηκαν [46]:

ΔΕΗ [44][45]

“Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. είναι η μεγαλύτερη εταιρία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, με περίπου 7,4 εκατομμύρια πελάτες. Διαθέτει μια μεγάλη υποδομή σε εγκαταστάσεις ορυχείων λιγνίτη, παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Κατέχει περίπου το 68% της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα συμπεριλαμβάνοντας στο ενεργειακό της μείγμα λιγνιτικούς, υδροηλεκτρικούς και πετρελαϊκούς σταθμούς, καθώς και σταθμούς φυσικού αερίου, αλλά και μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

Μετά την απόσχιση των κλάδων Μεταφοράς και Διανομής, δημιουργήθηκαν δύο 100% θυγατρικές εταιρίες της ΔΕΗ Α.Ε., ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.) και ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.). Ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. έχει την ευθύνη της διαχείρισης, λειτουργίας, ανάπτυξης και συντήρησης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και των διασυνδέσεών του, ενώ ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. έχει την ευθύνη για την διαχείριση, ανάπτυξη, λειτουργία και συντήρηση του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων παραγωγής της ΔΕΗ το 2012 ανήλθε σε 12.5 GW. Ο αριθμός του μισθοδοτούμενου τακτικού προσωπικού ανερχόταν 19.998. Στον τομέα των ΑΠΕ, η ΔΕΗ δραστηριοποιείται μέσω της θυγατρικής της «ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε.», έχοντας στο χαρτοφυλάκιό της αιολικά πάρκα, μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς καθώς και φωτοβολταϊκούς, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 116 MW (μη συμπεριλαμβανομένων των σταθμών στους οποίους η ΔΕΗ Ανανεώσιμες συμμετέχει μέσω κοινοπραξιών, από την εγκατεστημένη ισχύ των οποίων της αναλογούν 29 MW). Η ΔΕΗ Α.Ε. ιδρύθηκε το 1950, ενώ από 12.12.2001 έχει εισαχθεί στα Χρηματιστήρια Αξιών Αθηνών και Λονδίνου.

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά ΔΕΗ

| |
|---------------------------------|
| ΔΕΗ |
| Παραγωγική δυνατότητα: 12760 MW |
| Μέση τιμή ανά ώρα: 0.15 ευρώ |
| Μερίδιο αγοράς: 83.23% |

Protergia [47][10]

“Η Protergia είναι ο Τομέας Ενέργειας της ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ , του μεγαλύτερου ιδιώτη παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, ο οποίος με ενεργειακό χαρτοφυλάκιο δυναμικότητας 1.200 MW θερμικών μονάδων και 200 MW Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας παράγει άνω του 10% της ελληνικής ηλεκτρικής ενέργειας.

Διαχειρίζεται όλες τις ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες της εταιρείας που περιλαμβάνουν μονάδες παραγωγής με καύσιμο φυσικό αέριο και μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκοί σταθμοί και μικρά υδροηλεκτρικά έργα).

Η ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ δραστηριοποιείται στην προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου με την εμπορική ονομασία Protergia, προσφέροντας σύγχρονες και αξιόπιστες υπηρεσίες και συνδυαστικά πακέτα ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου με περισσότερες από 100.000 παροχές σε ολόκληρη τη χώρα.

Ο εξελιγμένος τρόπος που προσφέρει τα προϊόντα της ανοίγει ένα καινούργιο δρόμο με νέες πιο φωτεινές και θερμικές δυνατότητες για χιλιάδες σπίτια και επιχειρήσεις. “

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά Protergia

| |
|--------------------------------|
| Protergia |
| Παραγωγική δυνατότητα: 1200 MW |
| Μέση τιμή ανά ώρα: 0.092 ευρώ |
| Μερίδιο αγοράς: 3.575% |

Volterra [5][48]

“Η VOLTERRA A.E. δραστηριοποιείται στους τομείς παραγωγής, εμπορίας και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά της Ελλάδας και της Νοτιοανατολικής Ευρώπης. Στον τομέα της Παραγωγής, η εταιρία διαθέτει αδειοδοτημένα έργα και έργα που κατασκευάζονται σε πολλές περιοχές της Ελληνικής επικράτειας, με προτεραιότητα την ανάπτυξη μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Στον τομέα της εμπορίας η εταιρία συμμετέχει στο Διασυνοριακό Εμπόριο, διακινώντας σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας σε Εισαγωγές Εξαγωγές μέσω των Αγορών Ενέργειας των γειτονικών χωρών (Ιταλία, Βουλγαρία κλπ.).

Τέλος στον τομέα της Προμήθειας, η εταιρία παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε όλες τις κατηγορίες πελατών, από Νοικοκυριά και Εμπορικά καταστήματα Χαμηλής Τάσης έως και επιχειρήσεις και βιομηχανίες Μέσης Τάσης. Μέτοχος της εταιρείας είναι ο Διεθνής Κατασκευαστικός Όμιλος J&P ΑΒΑΞ. Η J&P ΑΒΑΞ κατέχει σημαντικό χαρτοφυλάκιο έργων παραχώρησης και λειτουργίας στην Ελλάδα αλλά και στο εξωτερικό. “

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά Volterra

| |
|-------------------------------|
| Volterra |
| Παραγωγική δυνατότητα: 201 MW |
| Μέση τιμή ανά ώρα: 0.090 ευρώ |
| Μερίδιο αγοράς: 0.925% |

Elpedison [49][111][50]

“Η Elpedison έχει κληρονομήσει την εμπειρία, την τεχνογνωσία και την τεχνολογία από τις μητρικές της εταιρίες Ελληνικά Πετρέλαια, Edison και Ελλάκτωρ.

Με τις δύο ιδιότητες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου, με καύσιμο φυσικό αέριο, η ELPEDISON δεσμεύεται σε μία από τις πιο φιλικές προς το περιβάλλον διαδικασίες παραγωγής ενέργειας. Παράλληλα, η προηγμένη τεχνολογία παραγωγής συνδυασμένου κύκλου, που χρησιμοποιείται και στις δύο μονάδες διασφαλίζει την πλέον αποτελεσματική χρήση των ορυκτών καυσίμων, επιτυγχάνοντας απόδοση της τάξης του 56%.

Η ELPEDISON, χάρη στο άρτια εκπαιδευμένο προσωπικό της, προσδιορίζει με ακρίβεια τις ανάγκες των επιχειρησιακών και οικιακών της πελατών. Προτείνει στους πελάτες της εκείνο το προϊόν που ταιριάζει καλύτερα στις διαφοροποιημένες τους ανάγκες ενώ, ταυτόχρονα, μειώνει το κόστος τους σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

Σήμερα, η ELPEDISON αποτελεί μια από τις κορυφαίες εταιρεία ενέργειας, τόσο στην παραγωγή και προμήθεια ηλεκτρικού ρεύματος, όσο και στην προμήθεια φυσικού αερίου. Φιλοδοξεί να είναι πάντα ένας από τους σημαντικότερους παίκτες στον κλάδο της, προσφέροντας ενεργειακά προϊόντα και υπηρεσίες υψηλών προδιαγραφών, σε ανταγωνιστικές τιμές, με σταθερότητα και συνέπεια. “

Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά Elpedison

| |
|-------------------------------|
| Elpedison |
| Παραγωγική δυνατότητα: 820 MW |
| Μέση τιμή ανά ώρα: 0.090 ευρώ |
| Μερίδιο αγοράς: 3.66% |

NRG [13][51]

“Η nrg εισέρχεται στην αγορά της ενέργειας το 2012. Σήμερα, βρίσκεται ήδη μέσα στις κορυφαίες εταιρίες του κλάδου. Με ένα ισχυρό χαρτοφυλάκιο εταιρικών πελατών, που περιλαμβάνει μεγάλους επιχειρηματικούς ομίλους και μικρομεσαίες επιχειρήσεις, αλλά και με το διαρκώς αυξανόμενο μερίδιό της στους οικιακούς πελάτες, η εταιρεία παρουσιάζει εντυπωσιακή και ραγδαία ανοδική πορεία.

Το μακροπρόθεσμο πλάνο της προβλέπει τη διεύρυνση των δραστηριοτήτων της εταιρείας, με στόχο την ενεργή συμμετοχή της στο διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον της ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, η nrg έχει λάβει άδεια Προμήθειας Φυσικού Αερίου, με στόχο να διευρύνει το εύρος των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους πελάτες της.

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά NRG

| |
|-------------------------------|
| NRG |
| Παραγωγική δυνατότητα: 200 MW |
| Μέση τιμή ανά ώρα: 0.086 ευρώ |
| Μερίδιο αγοράς: 0.955% |

Heron [7][12][52][53]

“Ο ΗΡΩΝ είναι ένας Όμιλος επιχειρήσεων που δραστηριοποιείται στην Παραγωγή, Προμήθεια και Εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας. Με έναρξη εργασιών ήδη από το 2000, διαθέτει πλέον την υποστήριξη τριών μεγάλων ενεργειακών Ομίλων.

Ο ΗΡΩΝ ιδρύθηκε από τον Όμιλο ΓΕΚ ΤΕΡΝΑ, ο οποίος κατέχει ηγετική θέση στον τομέα της παραγωγής ενέργειας από συμβατικές και Ανανεώσιμες Πηγές (ΑΠΕ) στην Ελλάδα και διεθνώς. Το 2009, εισέρχεται στη μετοχική σύνθεση η ENGIE (πρώην GDF Suez), ο μεγαλύτερος ανεξάρτητος παραγωγός και προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο. Επιπλέον, το Μάρτιο του 2014, ολοκληρώνεται επιτυχώς η είσοδος και της QATAR PETROLEUM (μέσω της εταιρείας QPI GAS & POWER OPC.), μίας ακόμη παγκόσμιας ηγετικής δύναμης στον ενεργειακό χάρτη, στο μετοχικό κεφάλαιο του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής ΗΡΩΝ II.

Ο ΗΡΩΝ είναι ο πρώτος ιδιωτικός Όμιλος που δραστηριοποιήθηκε στα πλαίσια της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας στην Ελλάδα. Κατασκεύασε και λειτουργεί επιτυχώς από το 2004, την πρώτη ιδιωτική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα. Το 2009, ακολούθησε ένας δεύτερος σταθμός συνδυασμένου κύκλου στην ίδια θέση.

Ο ΗΡΩΝ συμμετέχει ουσιαστικά στον Εθνικό Ενεργειακό Σχεδιασμό και Προγραμματισμό, οι σταθμοί του αποτελούν επιτομή της τεχνολογίας και η λειτουργία τους είναι πλήρως εναρμονισμένη με τις απαιτήσεις της αγοράς. Διαθέτοντας ισχυρή μετοχική και παραγωγική βάση, ο Όμιλος είναι σε θέση να προσφέρει ουσιαστικά και μακροχρόνια οφέλη στους πελάτες και στους συνεργάτες του.”

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά Heron

| |
|-------------------------------|
| Heron |
| Παραγωγική δυνατότητα: 582 MW |
| Μέση τιμή ανά ώρα: 0.089 ευρώ |
| Μερίδιο αγοράς: 3.68% |

Watt + Volt [6][9][54]:

“Η WATT+VOLT είναι ένας ευέλικτος και επιτυχημένος οργανισμός που εξελίσσεται συνεχώς και προσαρμόζεται στις νέες ανάγκες που προκύπτουν στο χώρο της ενέργειας.

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά Watt +Volt

| Watt + Volt |
|-------------------------------|
| Παραγωγική δυνατότητα: 250 MW |
| Μέση τιμή ανά ώρα: 0.085 ευρώ |
| Μερίδιο αγοράς: 1.365% |

5 εταιρίες random

Εκτός από τις παραπάνω 7 εταιρίες, υπάρχουν αρκετές δεκάδες ακόμα που δραστηριοποιούνται στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς ωστόσο να έχουν κατορθώσει έως τώρα να συγκεντρώσουν σημαντικό μερίδιο αγοράς. Επειδή δεν είναι εφικτό να συγκεντρωθούν επαρκή στοιχεία για αυτές, αλλά και επειδή είναι ιδιαίτερα δύσκολο να μην παραληφθεί καμία, έκρινα πως ήταν προτιμότερο να εκπροσωπηθούν όλες αυτές οι εταιρίες από 5 αντιπροσωπευτικές, οι οποίες αθροιστικά θα έχουν μερίδιο αγοράς όσο το εναπομείναν μερίδιο που αντιστοιχεί σε όλες αυτές που εκπροσωπούν. Ο λόγος που επιλέχθηκαν 5 εταιρίες και όχι λιγότερες είναι ότι σε αντίθετη περίπτωση θα προέκυπταν εταιρίες σχεδόν το ίδιο ισχυρές με τις πιο αδύναμες από τις 7 ισχυρότερες, με πιθανώς αρνητικές επιδράσεις. Αν αντίθετα χρησιμοποιούσαμε ένα μεγαλύτερο πλήθος, θα επιβαρύναμε χρονικά το πρόγραμμα, χωρίς να έχουμε κάποιο ποιοτικό όφελος στα αποτελέσματα. Οι τιμές και οι παραγωγικές δυνατότητες αυτών των 5 αντιπροσωπευτικών εταιριών έχουν επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει μια διακύμανση, αλλά να είναι συνάμα και ανά 2 ίδια, έτσι ώστε να υπάρχει μια επιπρόσθετη δυνατότητα επαλήθευσης της ορθής λειτουργίας του μοντέλου.

Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά Εταιρίας 1

| Εταιρία 1 |
|-------------------------------|
| Παραγωγική δυνατότητα: 75 MW |
| Μέση τιμή ανά ώρα: 0.083 ευρώ |

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά Εταιρίας 2

| Εταιρία 2 |
|-------------------------------|
| Παραγωγική δυνατότητα: 75 MW |
| Μέση τιμή ανά ώρα: 0.083 ευρώ |

Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά Εταιρίας 3

| Εταιρία 3 |
|-------------------------------|
| Παραγωγική δυνατότητα: 75 MW |
| Μέση τιμή ανά ώρα: 0.084 ευρώ |

Πίνακας 14: Χαρακτηριστικά Εταιρίας 4

| |
|-------------------------------|
| Εταιρία 4 |
| Παραγωγική δυνατότητα: 100 MW |
| Μέση τιμή ανά ώρα: 0.084 ευρώ |

Πίνακας 15: Χαρακτηριστικά Εταιρίας 5

| |
|-------------------------------|
| Εταιρία 5 |
| Παραγωγική δυνατότητα: 100 MW |
| Μέση τιμή ανά ώρα: 0.084 ευρώ |

4.4 Αρχικές τιμές και Παραγωγικές δυνατότητες

4.4.1 Αρχικές τιμές

Είναι γεγονός πως το θεωρητικό μας μοντέλο αντιμετωπίζει την τιμή πώλησης κάθε εταιρίας ως single value. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα στα ωριαία σενάρια. Ωστόσο, στα εξαμηνιαία σενάρια, οι εταιρίες εφαρμόζουν διάφορες σύνθετες τιμολογιακές πολιτικές, όπως είναι η διαφορετική χρέωση νυχτερινών ωρών, η κλιμακούμενη χρέωση ανάλογα με την κατανάλωση, εκπτώσεις για καταναλωτές που πληρώνουν εμπρόθεσμα και άλλα. Ο μόνος τρόπος για να μοντελοποιηθούν με ακρίβεια αυτές οι διαφορετικές στρατηγικές θα ήταν να είχαμε στη διάθεσή μας επιπρόσθετα δεδομένα, όπως στατιστική κατανομή της ποσότητας που επιλέγουν οι καταναλωτές (δηλαδή τι ποσοστό των καταναλωτών καταναλώνει <2000 KW, τι ποσοστό <3000 KW κτλ) , ποσοστό καταναλωτών που πληρώνουν εμπρόθεσμα και άλλα.

Με τα περιορισμένα διαθέσιμα μέσα που διέθετα, αντιμετώπισα το παραπάνω πρόβλημα με τον τρόπο που περιγράφεται παρακάτω. Υπολόγισα τι ποσοστό της κατανάλωσης πραγματοποιείται τις νυχτερινές ώρες [55]. Με αυτόν τον τρόπο, υπολόγισα σταθμισμένο μέσο στον οποίο οι νυχτερινές και οι ημερήσιες ώρες είχαν συντελεστή βαρύτητας ίσο με το ποσοστό τους ως προς τη συνολική κατανάλωση της ημέρας.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της κλιμακούμενης χρέωσης, θεώρησα πως η κατανομή των καταναλωτών είναι κανονική με μέση τιμή ίση με τη συνολική ζήτηση της περιόδου διαιρεμένη κατά 4.135.000 και διακύμανση τέτοια ώστε το αριστερό άκρο της κατανομής να είναι το 0. Με αυτόν τον τρόπο εκτίμησα το ποσοστό των καταναλωτών που ανήκει σε κάθε βαθμίδα της κλιμακούμενης χρέωσης. Έχοντας υπολογίσει αυτά τα ποσοστά, υπολόγισα μετά τους σταθμισμένους μέσους. Μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε κανονική κατανομή σε έναν ικανοποιητικό βαθμό το κεντρικό οριακό θεώρημα [57].

Όσον αφορά τις εκπτώσεις, δεν υπήρχε τρόπος να υπολογίσω το ποσοστό των καταναλωτών που πληρεί τις προϋποθέσεις. Σκεπτόμενος πως το μεγαλύτερο μέρος των Ελλήνων δεν είναι και τόσο εύποροι [56], αποφάσισα να τις αγνοήσω. Άλλωστε, από την άλλη πλευρά υπάρχουν χρεώσεις επανασύνδεσης και τόκοι από ληξιπρόθεσμες οφειλές που δεν έχουν υπολογιστεί, τα οποία σίγουρα αντισταθμίζουν τις όποιες εκπτώσεις.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, ανεξάρτητα από την αξιοπιστία των παραπάνω παραδοχών, η αρχική τιμή δεν επηρεάζει σε κάτι την λειτουργία του μοντέλου, αφού στο τέλος τα

αποτελέσματα θα συγκλίνουν στις βέλτιστες στρατηγικές. Ο λόγος ύπαρξής τους είναι προς δική μας χρήση, έτσι ώστε να συγκρίνουμε τα αρχικά market share που υπολογίζει το μοντέλο και να βλέπουμε αν είναι κοντά στην πραγματικότητα.

4.4.2 Παραγωγικές δυνατότητες

Σχετικά με τις παραγωγικές δυνατότητες, οφείλουμε αρχικά να επισημάνουμε πως στη σημερινή εποχή, λόγω της υποχρεωτικής συμμετοχής στο electricity pool, οι εταιρίες μπορούν να έχουν πρόσβαση και σε ενέργεια που δεν παράγουν οι ίδιες [58]. Ωστόσο, η εμπειρία έχει δείξει πως λόγω του τρόπου που διαμορφώνονται οι τιμές (τουλάχιστον ίσες με το μεγαλύτερο από τα κόστη παραγωγής), είναι ασύμφορο να αγοράσει κάποια εταιρία μεγάλη ποσότητα από άλλη. Μη οικονομική είναι επίσης συνήθως και η εισαγωγή μεγάλης ποσότητας ενέργειας από το εξωτερικό. Κατά συνέπεια, οι δύο παραπάνω μέθοδοι μπορούν να δώσουν παροδικά μια αύξηση στη διαθέσιμη ενέργεια για κάθε εταιρία, αλλά όχι τόσο μεγάλη. Αν αναλογιστούμε πως από την άλλη πλευρά τα εργοστάσια παραγωγής των εταιριών δεν μπορούν να αποδώσουν στο 100% της ονομαστικής τους απόδοσης, τελικά καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η κάθε εταιρία έχει διαθέσιμη ενέργεια περίπου όση η παραγωγική της δυνατότητα.

Γνωρίζουμε ότι η συνολική παραγωγική δυνατότητα στην Ελλάδα είναι 17528 MW [99]. Από αυτά τα 12760 ανήκουν στη ΔΕΗ, τα 1200 στην Protergia, τα 820 στην Elpedison και τα 582 στην Heron, ενώ όσα απομένουν μοιράζονται στις υπόλοιπες εταιρίες. Το γεγονός πως δε βρέθηκε κανένας σταθμός παραγωγής που να ανήκει στις Watt + Volt, Volterra και NRG πιθανώς να σημαίνει πως αποκτούν ενέργεια αποκλειστικά αγοράζοντας από το electricity pool. Όπως και αν έχει, μη έχοντας δεδομένα για αυτές τις 3 εταιρίες όπως και για τις 5 αντιπροσωπευτικές, αποφάσισα να τους μοιράσω την εναπομείνασα παραγωγική δυνατότητα αναλογικά με το μερίδιο αγοράς τους. Αν παρατηρήσουμε πως η ΔΕΗ που έχει συντριπτική υπεροχή σε market share έχει συντριπτική υπεροχή και σε παραγωγική δυνατότητα, καθώς και ότι οι αμέσως ισχυρότεροι (Protergia, Elpedison, Heron) είναι ισχυρότεροι και από άποψη παραγωγικής δυνατότητας, διαπιστώνουμε πως σίγουρα υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά των εταιριών του κλάδου

| | Παραγωγική δυνατότητα (MW) | Τιμή (ευρώ) |
|--------------------|----------------------------|-------------|
| PPC | 12760 | 0.15 |
| Protergia | 1200 | 0.092 |
| Volterra | 201 | 0.09 |
| Elpedison | 820 | 0.09 |
| NRG | 200 | 0.086 |
| Heron | 582 | 0.089 |
| Watt + Volt | 250 | 0.085 |
| random 1 | 75 | 0.084 |
| random 2 | 75 | 0.084 |
| random 3 | 100 | 0.084 |
| random 4 | 100 | 0.083 |
| random 5 | 100 | 0.083 |

4.5 Παράμετροι ϵ και σ

Οι παράμετροι ϵ και σ επιλέχθηκαν σε κάθε ένα από τα σενάρια με δοκιμές. Πριν ακόμα

βελτιστοποιηθούν οι παράμετροι a και b , εκτέλεσα το πρόγραμμα με κάποιες κατ' εκτίμηση σχετικά καλές τιμές των a και b , και για διάφορους συνδυασμούς των e και σ παρατηρούσα πόσο ακριβή ήταν τα αποτελέσματα και πόσος ήταν ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος. Με αυτόν τον τρόπο κατέληξα τελικά στα e και σ που αισθανόμουν ότι απέδιδε τον καλύτερο συνδυασμό ταχύτητας και ακρίβειας.

4.6 Εκτίμηση παραμέτρων a και b

4.6.1 Πρόβλημα και εναλλακτικές προσεγγίσεις

Όπως έχει προαναφερθεί, οι παράμετροι a και b εκφράζουν την χρησιμότητα που δημιουργείται από την απόκτηση ενέργειας είναι διαφορετικοί για κάθε χρήστη. Ωστόσο, ακόμα και όταν πρόκειται για τον ίδιο χρήστη, οι τιμές τους διαφοροποιούνται ανά ώρα. Αυτό συμβαίνει διότι οι ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι πάντα ίδιες. Παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το είδος της ημέρας (εργάσιμη, μη εργάσιμη, αργία, μέρα πριν από αργία, μέρα μετά από αργία), η εποχικότητα, οι τιμές, και το ΑΕΠ ασκούν καταλυτική επίδραση στη διαμόρφωση της ζήτησης [30]. Κατά συνέπεια, είναι εμφανές πως το πρόβλημα επιλογής των παραμέτρων a και b είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με το πρόβλημα πρόβλεψης ωριαίας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Υπό ιδανικές συνθήκες η βέλτιστη επιλογή θα ήταν να μελετηθεί η συμπεριφορά κάθε ενός από τους περίπου 4.135.000 καταναλωτές [31] ξεχωριστά και σε βάθος χρόνου, προκειμένου να προβλεφθεί με σχετικά μεγάλη ακρίβεια η συμπεριφορά τους. Οι εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας πιθανώς να είναι σε θέση να το πραγματοποιήσουν, τουλάχιστον για τους προσκείμενους σε αυτήν καταναλωτές η κάθε μία. Σίγουρα όμως κάτι τέτοιο δεν ήταν εφικτό από τη δική μου πλευρά, με τα περιορισμένα μέσα που διαθέτω.

Μια εναλλακτική προσέγγιση θα ήταν η επιλογή ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος καταναλωτών και η υποβολή ερωτηματολογίων. Ωστόσο, εκτός από τις αντικειμενικές αντιξοότητες που υπάρχουν σε κάθε παρόμοια περίπτωση, δηλαδή προβλήματα όπως η επιλογή κατάλληλου μεγέθους δείγματος και κατάλληλων ατόμων [32], μια επιπρόσθετη και πιθανώς ανυπέβλητη δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι θα πρέπει να δοθούν αναλυτικές απαντήσεις ανά ώρα από τα μέλη του δείγματος, το οποίο σημαίνει πως θα πρέπει κάθε μέλος να δώσει $365 \cdot 24 = 8760$ τιμές. Επομένως, ούτε αυτή η προσέγγιση είναι εφικτή.

Οι παραπάνω δυσκολίες μελέτης του προβλήματος σε μικροσκοπικό επίπεδο καθιστούν αναγκαία την μελέτη του σε μακροσκοπικό. Υποθέτοντας πως όλοι οι καταναλωτές έχουν την ίδια συμπεριφορά, η συνολική συνάρτηση ωριαίας ζήτησης είναι:

$$= \frac{(\quad - \quad)}{\quad}, \quad \leq \quad \leq$$

Από την παραπάνω σχέση παρατηρούμε ότι η ποσότητα $1/a$ αντιστοιχεί στην ελαστικότητα της ζητούμενης ποσότητας ως προς την τιμή. Σχετικές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί στο εξωτερικό, με αντιφατικά αποτελέσματα [33]. Ακόμα και αν προσδιορίζαμε με κάποιον αποδοτικό τρόπο το a όμως, δεν υπάρχει κάποιος εμφανής τρόπος να υπολογίζουμε το b . Κατά συνέπεια, δεν μπορούμε να ανατρέξουμε σε υπάρχουσα βιβλιογραφία για να λάβουμε άκοπα τις ζητούμενες τιμές.

Οι αδυναμίες όλων των παραπάνω μεθόδων μας περιορίζουν πρακτικά σε μόνο δύο επιλογές: είτε να αναπτύξουμε εμείς ένα μοντέλο πρόβλεψης ζήτησης, είτε να βασιστούμε σε ένα υπάρχον μοντέλο και με κατάλληλη στατιστική επεξεργασία να αποκτήσουμε τις ζητούμενες

τιμές. Προτιμότερη κρίθηκε η δεύτερη επιλογή.

4.6.2 Η μέθοδος

Συγκεκριμένα, στη σχέση $Q = (b-P)/a$, αν θεωρήσουμε ως Q_{avg} την πρόβλεψη του ΑΔΜΗΕ και P_{avg} την μέση τιμή στην οποία αντιστοιχεί αυτή η πρόβλεψη, τότε λαμβάνουμε $Q_{avg} = (b-P_{avg})/a$.

Με Q_{avg} γνωστό, μπορούμε να εκφράσουμε μία από τις τρεις άγνωστες παραμέτρους ως συνάρτηση των άλλων δύο. Από προγραμματιστική άποψη βολεύει καλύτερα να εκφραστεί το b ως συνάρτηση του a και του P_{avg} , και επομένως απομένει να προσδιορίσουμε το a και το P_{avg} . Για την επίτευξη αυτού του στόχου, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν διάφορες εκτελέσεις του μοντέλου με διαφορετικές τιμές για a και P_{avg} . Συγκρίνοντας τα αρχικά market share που θα δίνει το μοντέλο με τα πραγματικά, θα είμαστε σε θέση να αποφασίσουμε ποιες τιμές είναι πιο κατάλληλες.

Προτού συνεχίσουμε, οφείλουμε σε αυτό το σημείο να διευκρινίσουμε το τι θεωρούμε ως “κατάλληλο”. Υπάρχουν διάφορα μέτρα σύγκρισης [36], αλλά θεώρησα πως καταλληλότερο μέτρο σφάλματος είναι το άθροισμα των τετραγώνων των λόγων των υπολογιζόμενων μεριδίων αγοράς προς τα πραγματικά μειωμένο κατά 1, για όσες εταιρίες το υπολογιζόμενο μερίδιο είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό το άθροισμα των τετραγώνων των λόγων των πραγματικών μεριδίων αγοράς προς τα υπολογιζόμενα μειωμένο κατά 1, για όσες εταιρίες το υπολογιζόμενο μερίδιο είναι μικρότερο από το πραγματικό. Δηλαδή αν MS_j το πραγματικό market share της εταιρίας j και ms_j αυτό που υπολογίζει το μοντέλο, τότε:

$$= \begin{cases} \frac{ms_j}{MS_j} - 1 & \text{for } \frac{ms_j}{MS_j} \leq 1 \\ \frac{MS_j}{ms_j} - 1 & \text{for } \frac{ms_j}{MS_j} > 1 \end{cases}$$

και

$$= \sum_{j=1}^n \left(\frac{ms_j}{MS_j} - 1 \right)^2$$

Αυτή η επιλογή βασίζεται στο γεγονός ότι θεώρησα πιο σημαντικό να μην υπάρχουν αποκλίσεις τάξης μεγέθους (μικρές εταιρίες να έχουν πολλαπλάσιο market share από ότι στην πραγματικότητα και μεγάλες το μισό). Αν ως σφάλμα θεωρούσαμε την απλή διαφορά του υπολογιζόμενου market share από το πραγματικό, τότε μπορεί να είχαμε καλύτερα αποτελέσματα για τις μεγάλες εταιρίες, αλλά θα υπήρχε ο κίνδυνος να έχουν πολλαπλάσια μερίδια αγοράς οι μικρές εταιρίες.

Ένα άλλο, ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα που οφείλει να καθοριστεί, είναι το πλήθος των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν. Αφενός μεν όσο περισσότερα δεδομένα χρησιμοποιήσουμε τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια θα έχουμε, με την προϋπόθεση πάντα πως δεν θα συμπεριλάβουμε πολύ παλιά έτη ή έτη με ιδιαίτερες και ακραίες κοινωνικές, καιρικές και οικονομικές συνθήκες. Αφετέρου δε, αυξάνοντας το πλήθος των δεδομένων, αυξάνεται και ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος. Τελικά αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα των 5 προηγούμενων ετών, δηλαδή των ετών 2011-2015 αφού εξετάζουμε το έτος 2016 στο μοντέλο. Δηλαδή για να καθορίσουμε για παράδειγμα τις παραμέτρους a και b για την 6η ώρα της ημέρας 7 Ιανουαρίου, μελετάμε τις έκτες ώρες των ημερών 7 Ιανουαρίου για τα έτη 2011-2015. Επιλέγουμε διάφορα a και P_{avg} και παρατηρούμε αν τα market share που προκύπτουν για τη συγκεκριμένη ώρα ταιριάζουν με τα πραγματικά market share που είχαν καταγραφεί. Ως τελικό σφάλμα θεωρούμε το μεγαλύτερο εκ των 5 σφαλμάτων που προκύπτουν για κάθε ένα από τα 5 έτη. Είναι αναντίρρητο το γεγονός πως αυτή η προσέγγιση

έχει κάποιες αδυναμίες, καθώς κανείς δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι και τους επόμενους χρόνους την ίδια ώρα θα είναι παρόμοιες οι καιρικές συνθήκες και οι οικονομικές δυνατότητες των καταναλωτών. Ωστόσο, τα αποτελέσματα των a και b εφαρμόστηκαν μετά στα δεδομένα του 2016 και τα market share που παρατηρήθηκαν ήταν αρκετά κοντά στα πραγματικά.

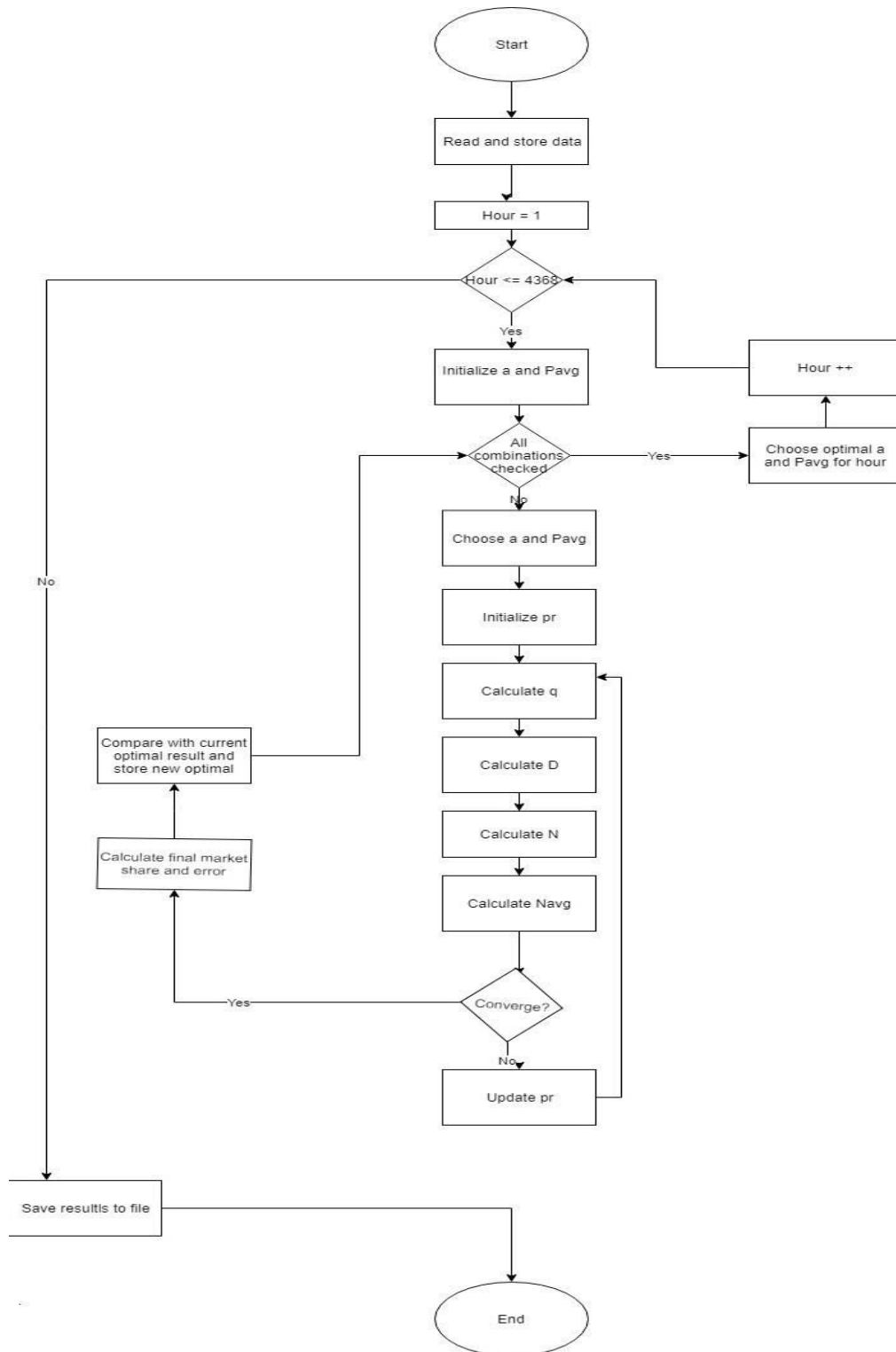
Όσον αφορά τις δοκιμές τιμών, γνωρίζουμε πως αφού το $1/a$ αντιστοιχεί στην ελαστικότητα ως προς την τιμή, δεν είναι λογικό να λαμβάνει τιμές εκτός του διαστήματος $[10000, 45000]$, σύμφωνα με τις υπάρχουσες έρευνες. Αυτό συνεπάγεται πως το a λαμβάνει τιμές στο διάστημα $[0.0000222, 0.0001]$. Το $Pavg$ κυμαίνεται στο διάστημα $[0.05, 0.15]$. Το κατώτερο όριο έχει επιλεγεί έτσι ώστε να είναι ελαφρώς χαμηλότερο από τα μεταβλητά κόστη παραγωγής [37], ενώ το ανώτερο ορίστηκε ως λίγο υψηλότερο από την μέγιστη τιμή ανά ώρα (χωρίς να συνυπολογίσουμε τις πάγιες χρεώσεις) που παρατήρησα.

Από όλες τις μεθόδους hyperparameter optimization επιλέχτηκε το grid search παρά το γεγονός ότι είναι μια από τις πιο αργές, λόγω της ευκολίας υλοποίησης. Άλλωστε, στη συγκεκριμένη περίπτωση το γνωστό “curse of dimensionality” [38] δεν μας επηρεάζει επειδή έχουμε μόνο 2 διαστάσεις (2 αγνώστους), ενώ ταυτόχρονα το πρόβλημά μας είναι “embarrassingly parallel” [39] και έτσι μπορούμε να επιταχύνουμε ακόμα περισσότερο το πρόγραμμα με παράλληλο προγραμματισμό.

Ο κυριότερος λόγος που δεν επιλέχτηκαν evolutionary algorithms είναι η αδυναμία εύρεσης ικανοποιητικής συνθήκης τερματισμού, καθώς ήταν δύσκολο να προβλεφθεί εκ των προτέρων πόσο ακριβές θα ήταν το μοντέλο. Bayesian optimization, random search και άλλες παρόμοιες τεχνικές δεν λήφθηκαν καθόλου υπόψιν λόγω έλλειψης σχετικής εμπειρίας του γράφοντος.

Η βελτιστοποίηση πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια : Στο πρώτο στάδιο οι τιμές του a αυξάνονται διαδοχικά κατά 5000, ενώ οι τιμές του $Pavg$ κατά 0.01. Στο δεύτερο στάδιο, οι τιμές μεταβάλλονται μεταξύ $[a_{opt} - 5000, a_{opt} + 5000]$ και $[Pavg_{opt} - 0.005, Pavg_{opt} + 0.005]$ με βήμα 1000 και 0.001 αντίστοιχα. Τελικά οι βέλτιστες τιμές που προκύπτουν αποθηκεύονται σε αρχεία, για να χρησιμοποιηθούν από το μοντέλο.

Για την εύρεση βέλτιστων παραμέτρων στις ώρες του χειμερινού εξαμήνου, έχουμε το παρακάτω διάγραμμα ροής:



Διάγραμμα 8: Εύρεση παραμέτρων a και b

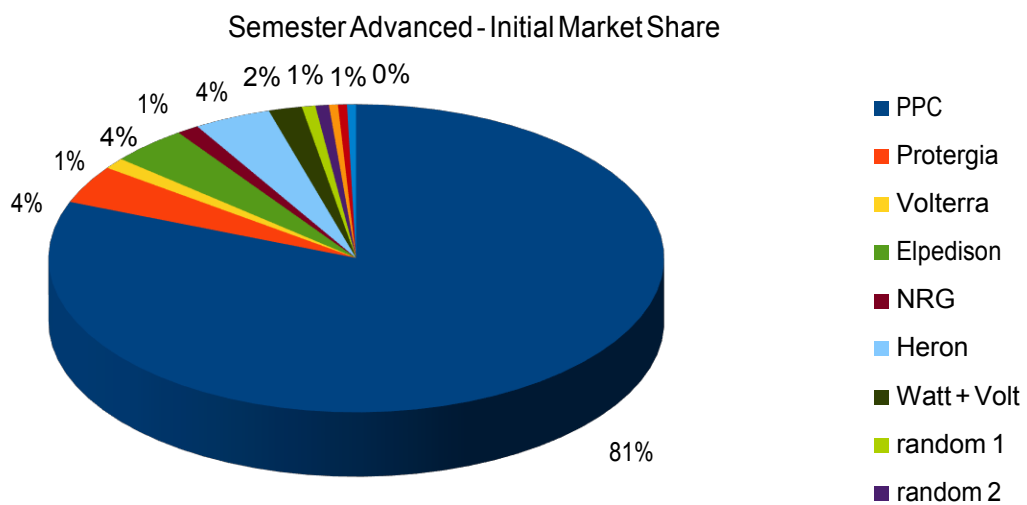
Την ίδια ακριβώς διαδικασία θα ακολουθούσαμε και για τους μήνες του εαρινού εξαμήνου. Ο υπολογισμός των q , D , N , N_{avg} και ο έλεγχος σύγκλισης γίνονται όπως ακριβώς έχει περιγραφεί στην θεωρητική ανάλυση του μοντέλου. Σχετικά με το ωριαίο μοντέλο, η μόνη διαφορά είναι ότι δεν χρειάζεται να επαναλάβουμε τη διαδικασία και για τις 4368 μέρες.

4.6.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων και προτεινόμενες βελτιώσεις

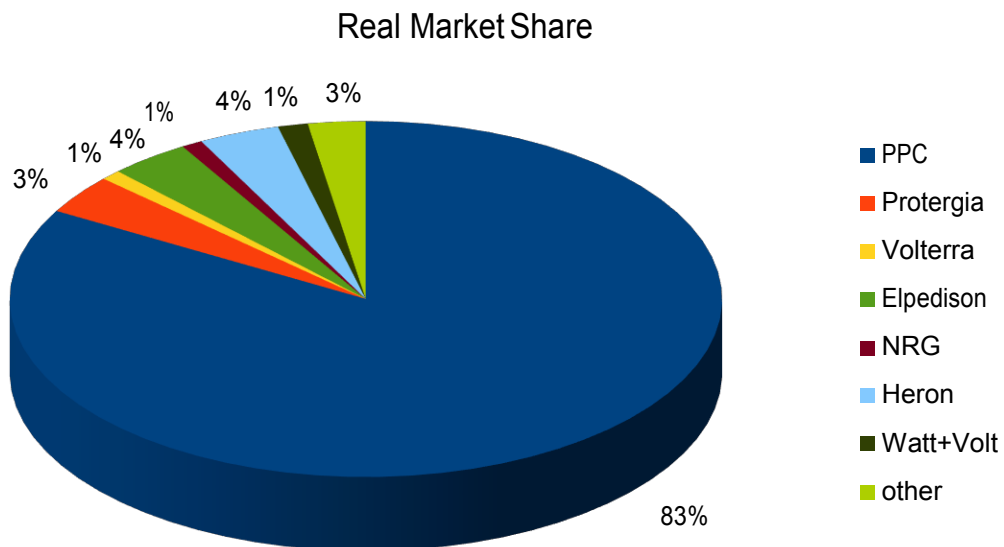
Όπως βλέπουμε και στα παρακάτω διαγράμματα, τα market share που προέκυψαν στο advanced εξαμηνιαίο μοντέλο προσεγγίζουν με μεγάλη ακρίβεια τα πραγματικά. Η μοναδική ανακρίβεια που υπάρχει είναι το γεγονός ότι το ποσοστό της ΔΕΗ είναι πολύ ελαφρώς χαμηλότερο από ότι στην πραγματικότητα για λόγους που θα εξηγηθούν αναλυτικά στη συνέχεια.

Περαιτέρω μελλοντική βελτίωση σε θεωρητικό επίπεδο θα μπορούσε ίσως να επιτευχθεί αν επιλεγεί καταλληλότερο σύνολο δεδομένων. Σίγουρα βέβαια ακόμα πιο αποτελεσματικό θα ήταν να αναπτυχθεί εκ του μηδενός μοντέλο πρόβλεψης ζήτησης, σαν αυτό που προτείνει ο κ. Hyndman. Έπειτα, πιθανώς να υπάρχει κάποιο περισσότερο αποδοτικό μέτρο σφάλματος από αυτό που επέλεξα.

Σε προγραμματιστικό επίπεδο, η εφαρμογή παράλληλου προγραμματισμού θα βοηθούσε σίγουρα πολύ στην μείωση του χρόνου εκτέλεσης. Θα μπορούσαμε ακόμα να προσθέσουμε περισσότερα στάδια βελτιστοποίησης, για να έχουμε ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα.



Διάγραμμα 9: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο-Αρχικά μερίδια αγοράς



Διάγραμμα 10: Πραγματικά μερίδια αγοράς

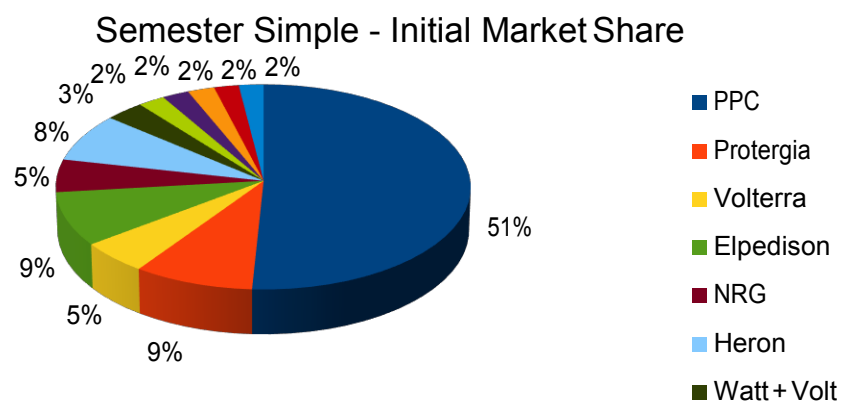
5

Αποτελέσματα

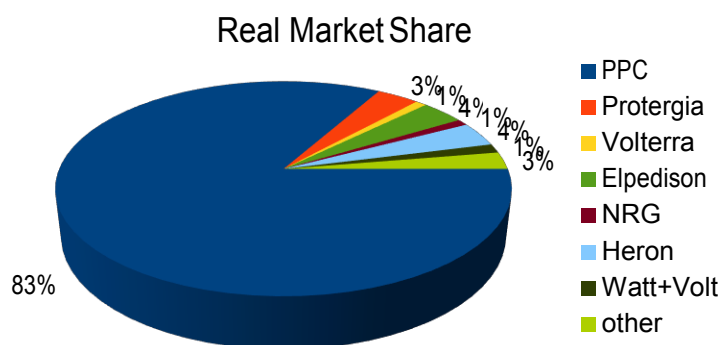
5.1 Εξαμηνιαία σενάρια

5.1.1 Εξαμηνιαίο απλό μοντέλο

5.1.1.1 Τα αρχικά μερίδια αγοράς και έσοδα



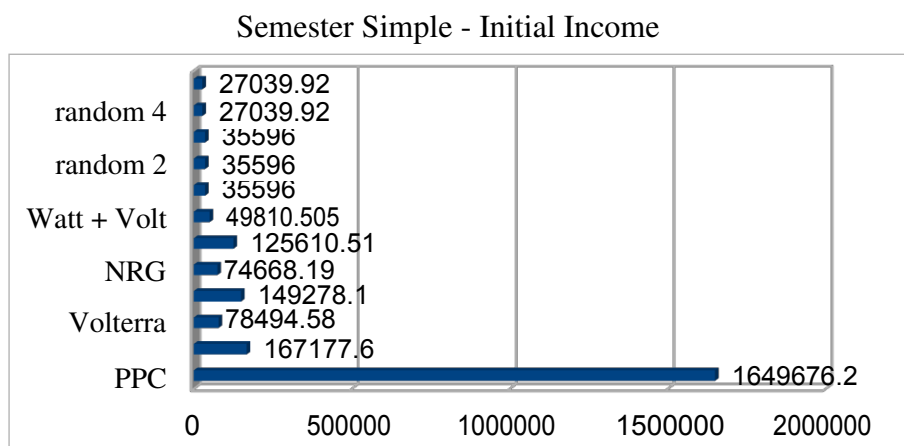
Διάγραμμα 11: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο-Αρχικά μερίδια αγοράς



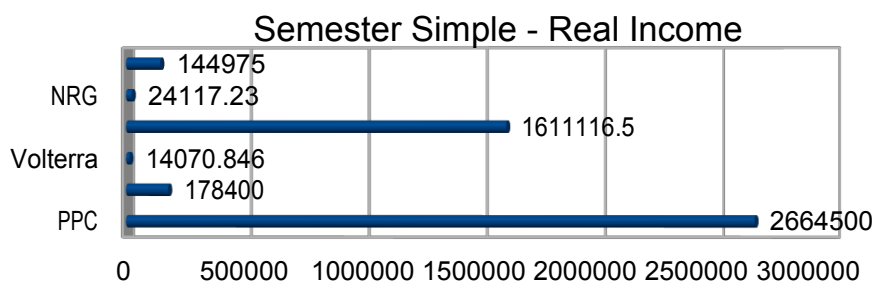
Διάγραμμα 12: Πραγματικά μερίδια αγοράς

Συγκρίνοντας τα πραγματικά μερίδια αγοράς με αυτά που δίνει το απλό εξαμηνιαίο μοντέλο, εύκολα διαπιστώνει κανείς πως το μερίδιο αγοράς της ΔΕΗ είναι πολύ μικρότερο από το πραγματικό. Όλες οι εταιρίες έχουν αυξήσει το μερίδιό τους σε βάρος της ΔΕΗ. Αυτό ωστόσο ήταν κάτι αναμενόμενο, καθώς εμπλέκονται παράγοντες όπως το customer loyalty που δεν μπορούν να προβλεφθούν. Η πλειοψηφία του ελληνικού πληθυσμού προτιμά τη ΔΕΗ και θα συνεχίσει να την προτιμά λόγω εμπιστοσύνης, καθώς η ΔΕΗ λειτουργούσε ως μονοπώλιο για χρόνια και έχει χτίσει ένα όνομα στην αγορά. Ακόμα και αν είχαν σκοπό να αλλάξουν, πολλοί καταναλωτές δεν θα μπορούσαν λόγω συμβολαίων που έχουν υπογράψει. Κατά συνέπεια, αφού όλοι αυτοί οι παράγοντες δεν συμπεριλαμβάνονται στο απλό μοντέλο, δεν θα μπορούσαμε να ελπίζουμε σε κάτι καλύτερο από αυτό που βλέπουμε.

Αν εξαιρέσουμε το γεγονός ότι υπάρχει μια αναντιστοιχία στη ΔΕΗ, κατά τα άλλα τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως ικανοποιητικά, καθώς βλέπουμε πως έχει διατηρηθεί ο συσχετισμός των δυνάμεων. Η ΔΕΗ εξακολουθεί να έχει συντριπτική υπεροχή, ακολουθούν οι Heron, Elpedison, Protergia, μετά ακολουθούν Volterra, Watt + Volt, NRG και στο τέλος οι 5 random εταιρίες. Αξίζει να σημειωθεί πως αυτές οι 5 εταιρίες παρουσιάζονται αρκετά πιο ισχυρές από ότι στην πραγματικότητα αλλά και αυτό ήταν αναμενόμενο, δεδομένου ότι το μοντέλο δεν είναι σε θέση να αντιληφθεί πως αυτές οι εταιρίες δεν έχουν αναπτυγμένο marketing για να είναι ανταγωνιστικές.



Διάγραμμα 13: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο-Αρχικά έσοδα

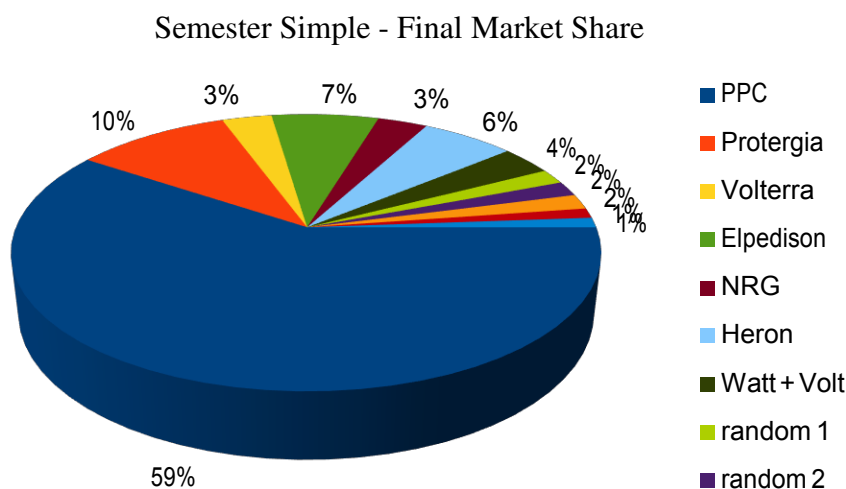


Διάγραμμα 14: Πραγματικά έσοδα

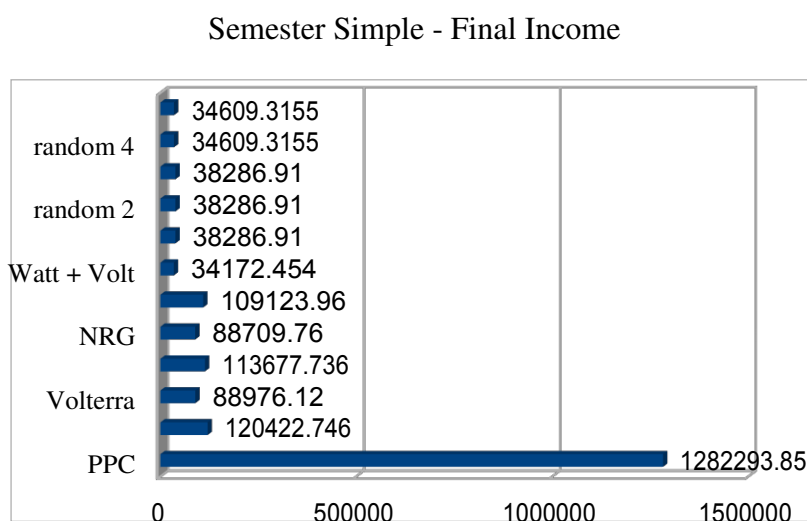
Στις πηγές [60]-[66] αντλούμε στοιχεία για τα έσοδα των εταιριών το 2016. Παρατηρούμε πως στις Protergia, Elpedison και Heron τα έσοδα που υπολογίζει το μοντέλο είναι πολύ κοντά στα πραγματικά. Οι μικρές αποκλίσεις οφείλονται στο γεγονός ότι οι εταιρίες έχουν και διάφορα πάγια έσοδα και κόστη σύνδεσης, τα οποία δεν υπολογίζονται από το μοντέλο. Ανησυχητικό θα ήταν αν το μοντέλο προέβλεπε περισσότερα αντί για λιγότερα έσοδα. Στη ΔΕΗ διαπιστώνουμε πως τα προβλεπόμενα έσοδα είναι αρκετά μικρότερα. Και σε αυτήν την περίπτωση, η αιτία έγκειται στα πάγια έσοδα και τους βιομηχανικούς πελάτες. Απλώς σε αυτήν την περίπτωση τα πάγια έσοδα είναι πάρα πολύ μεγάλα. Εκτός από αυτά βέβαια, έχει και μικρότερο μερίδιο αγοράς από ότι στην πραγματικότητα, το οποίο επίσης έχει σημαντικό ρόλο. Στις Volterra και NRG το μοντέλο μας πάλι δίνει λιγότερα έσοδα από τα πραγματικά, αλλά αυτήν την φορά υπάρχει σημαντική απόκλιση, που οφείλεται στο γεγονός ότι οι συγκεκριμένες εταιρίες έχουν και άλλες οικονομικές δραστηριότητες παράλληλα που τους αποφέρουν έσοδα. Τέλος, για την Watt + Volt δεν βρέθηκαν πουθενά ισολογισμοί για το έτος 2016 (στην

ιστοσελίδα της από το 2015 μεταβαίνει απευθείας στο 2017) , οπότε δεν υπάρχει κάποιο μέτρο σύγκρισης. Γενικά παρά τις όποιες αποκλίσεις, βλέπουμε πως υπάρχει μια σωστή αναλογία στα έσοδα.

5.1.1.2 Τελικά αποτελέσματα απλού εξαμηνιαίου μοντέλου



Διάγραμμα 15: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο- Τελικά μερίδια αγοράς



Διάγραμμα 16: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο-Τελικά έσοδα

Το πρώτο πράγμα που παρατηρεί κανείς συγκρίνοντας τα αρχικά με τα τελικά αποτελέσματα του μοντέλου είναι ότι οι εταιρίες έχουν μειωμένα έσοδα στο τέλος. Αυτό δεν αποτελεί έκπληξη, καθώς το μοντέλο μας στην αυθεντική του έκδοση λειτουργεί σα να υπάρχει τέλειος ανταγωνισμός. Κάθε εταιρία σκέφτεται το δικό της συμφέρον, χωρίς να συνεργάζεται έμμεσα με άλλες. Γι αυτό τον λόγο, ως βέλτιστη στρατηγική προτείνεται η διαρκής μείωση τιμών, με αποτέλεσμα όλοι να χάνουν έσοδα τελικά.

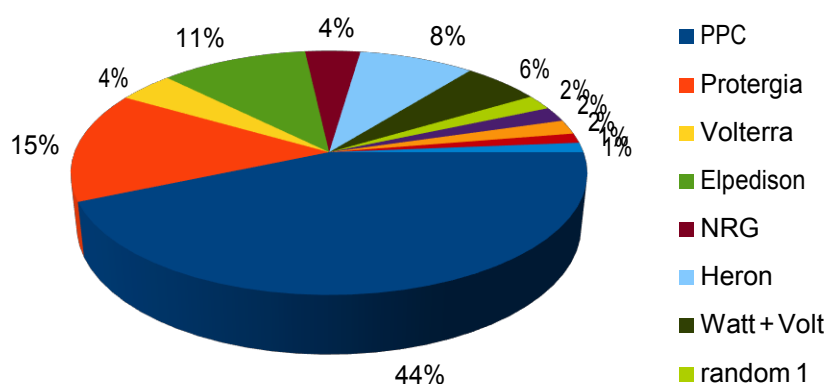
Αν θα πρέπει να χαρακτηρίσουμε κάποιον ως νικητή από αυτή τη διαδικασία, αυτοί θα ήταν η ΔΕΗ και η Protergia. Όπως ήταν αναμενόμενο, αξιοποιώντας το γεγονός ότι διαθέτουν την μεγαλύτερη παραγωγική δυνατότητα από όλους, μειώνοντας τις τιμές καταφέρνουν να πουλήσουν μεγάλο μέρος από τον όγκο που μπορούν να παράγουν. Βλέπουμε πως το μερίδιο αγοράς τους έχει αυξηθεί πολύ σε σχέση με την αρχική κατάσταση. Και αυτές οι εταιρίες βέβαια τελικά είχαν μειωμένα έσοδα. Η Volterra και η NRG φαίνεται να αποδίδουν καλά στην τελική κατάσταση, αλλά αυτό είναι μάλλον τυχαίο, διότι απλά οι αρχικές τιμές που χρησιμοποιούν είναι πολύ ακατάλληλες σύμφωνα με το

μοντέλο.

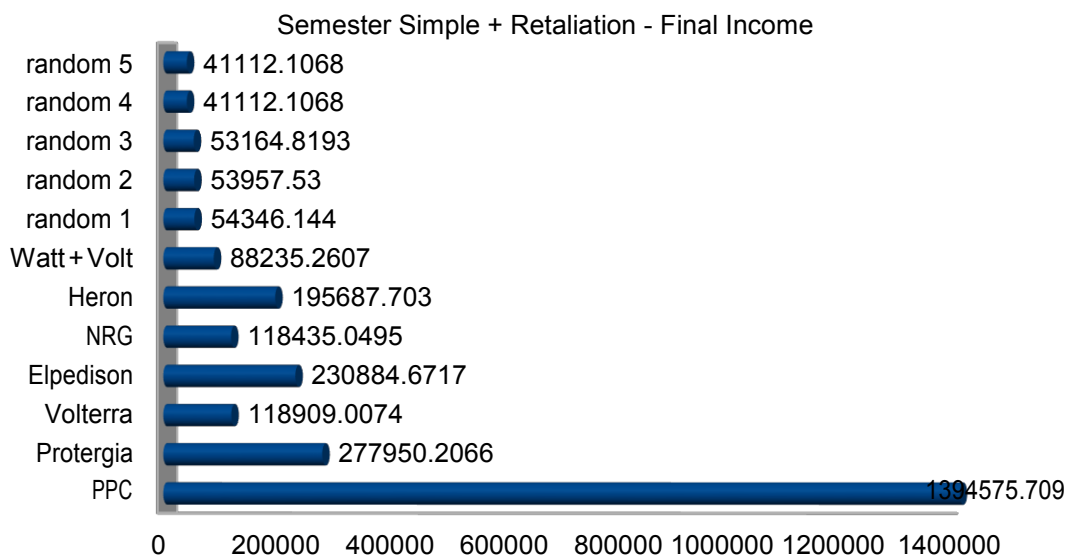
5.1.1.3 Τελικά αποτελέσματα απλού εξαμηνιαίου μοντέλου χωρίς συνεχείς μειώσεις

Συγκρίνοντας αυτά τα αποτελέσματα με τα προηγούμενα, διαπιστώνουμε πως όλες οι εταιρίες έχουν μεγαλύτερα έσοδα. Αυτό συμβαίνει διότι αποφεύγονται οι “πόλεμοι τιμών”. Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με τα αρχικά, βλέπουμε πως όλες οι εταιρίες αύξησαν τα έσοδά τους, εκτός από τη ΔΕΗ. Ο λόγος είναι ότι πολλές εταιρίες εκμεταλλεύονται το γεγονός ότι ούτως ή άλλως είναι πολύ φτηνότερες από τη ΔΕΗ, αυξάνουν λίγο τις τιμές τους και κερδίζουν, αφού η ζήτηση είναι ανελαστική. Αντίθετα, κάποιες άλλες εταιρίες μειώνουν λίγο τις τιμές ή τις διατηρούν σταθερές, είναι πλέον φτηνότερες από αυτές που αύξησαν τιμές και κερδίζουν μερίδιο αγοράς, αυξάνοντας τελικά και αυτές τα κέρδη τους. Ο μόνος ζημιωμένος επομένως είναι η ΔΕΗ. Παράλληλα, στα μερίδια αγοράς διαπιστώνουμε ότι οι εταιρίες που αύξησαν τιμές (Volterra, NRG και random) έχουν μικρότερο market share από ότι στην αρχή, όπως είναι και το σωστό, ενώ αυτές που μείωσαν τιμές (Heron, Protergia, Elpedison, Watt + Volt) αύξησαν το μερίδιό τους. Η ΔΕΗ φυσικά έχασε μερίδιο.

Semester Simple + Retaliation - Final Market Share



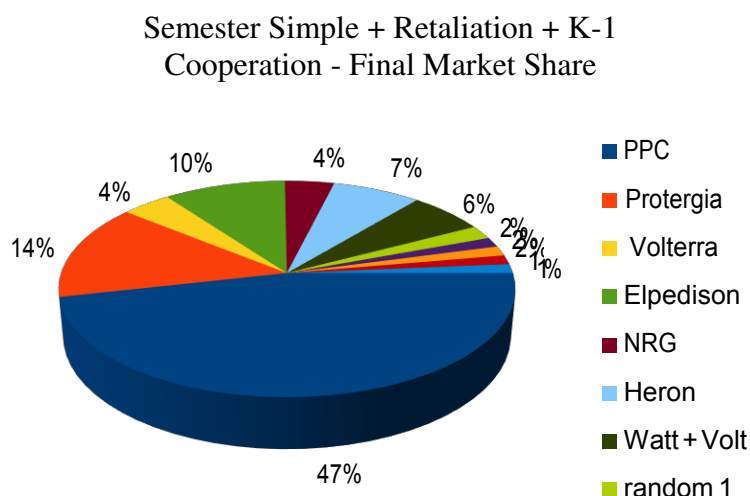
Διάγραμμα 17: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών – Τελικά μερίδια αγοράς



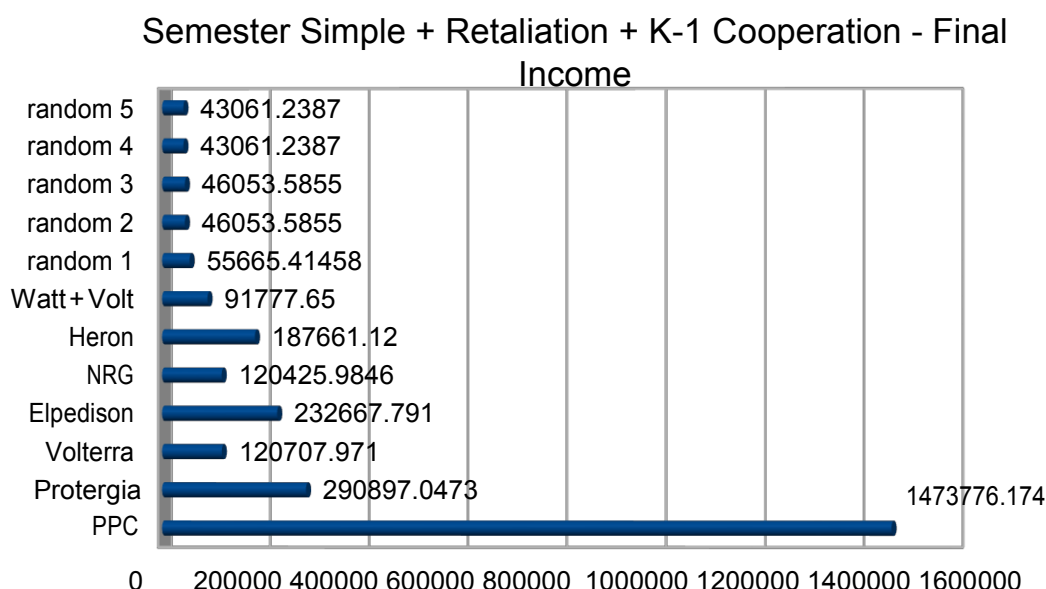
Διάγραμμα 18: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο χωρίς συνεχείς μειώσεις τιμών – Τελικά έσοδα

Στην πραγματικότητα βέβαια αυτό δεν θα μπορούσε να συμβεί εύκολα, διότι η ΔΕΗ θα είχε μεγαλύτερη δύναμη να αντισταθεί, λόγω φήμης.

5.1.1.4 Τελικά αποτελέσματα απλού εξαμηνιαίου μοντέλου - Συνεργασία κατά ΔΕΗ



Διάγραμμα 19: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο– συνεργασία κατά της ΔΕΗ – Τελικά μερίδια αγοράς



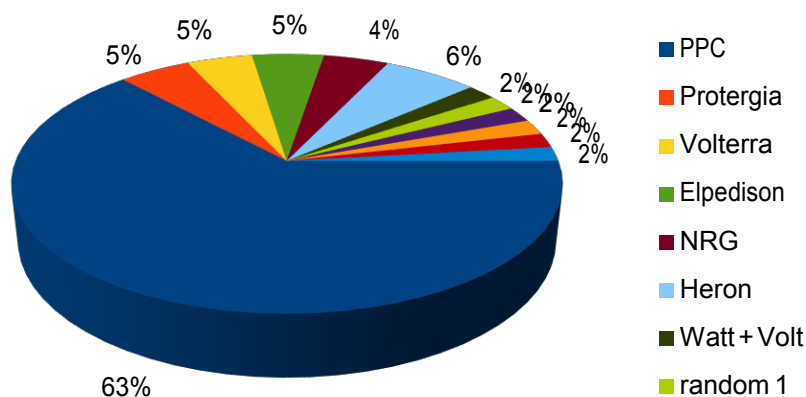
Διάγραμμα 20: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο– συνεργασία κατά της ΔΕΗ – Τελικά έσοδα

Διαπιστώνουμε ότι τα αποτελέσματα είναι πολύ παρόμοια με το προηγούμενο σενάριο. Οι διαφορές οφείλονται στο γεγονός ότι οι εταιρίες που προηγουμένως μείωσαν τιμές τώρα πια δεν είχαν κίνητρο να το κάνουν στον ίδιο βαθμό (ή ακόμα και καθόλου), επειδή δεν είχαν κίνητρο να αποσπάσουν πελάτες από τις άλλες εταιρίες εκτός της ΔΕΗ. Γι αυτό και βλέπουμε πως Protergia, Elpedison, Heron και Watt + Volt έχουν μικρότερο μερίδιο τώρα, ενώ NRG και Volterra μεγαλύτερο. Η πρώτη ομάδα δεν θέλησε να μειώσει τιμές για να αποσπάσει πελάτες από τη δεύτερη.

Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι και η ΔΕΗ έχει μεγαλύτερα έσοδα και μερίδιο αγοράς σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο. Αυτό ήταν μια έμμεση συνέπεια της μη μείωσης τιμών εκ μέρους Protergia, Elpedison, Heron και Watt + Volt. Πριν που είχαν μειώσει τιμές, “έκλεβαν” πελάτες και από τη ΔΕΗ, όχι μόνο από NRG και Volterra. Τώρα αυτοί παρέμειναν στη ΔΕΗ. Σε γενικές γραμμές πάντως, είναι εμφανές πως ένας μη πόλεμος τιμών ισοδυναμεί σχεδόν με συνεργασία σε βάρος τη ΔΕΗ. Αυτό μας οδηγεί στην υπόθεση ότι οι αρχικές τιμές, παρά το γεγονός ότι δεν είναι βέλτιστες, είναι προϊόν συνεννόησης μεταξύ των εταιριών. Αν οι εταιρίες επιχειρήσουν συνεργασία σε βάρος τη ΔΕΗ, η ΔΕΗ θα ανταποδώσει με πόλεμο τιμών. Γι αυτό, λοιπόν, έχουν καταλήξει μάλλον σε μια συμβιβαστική λύση.

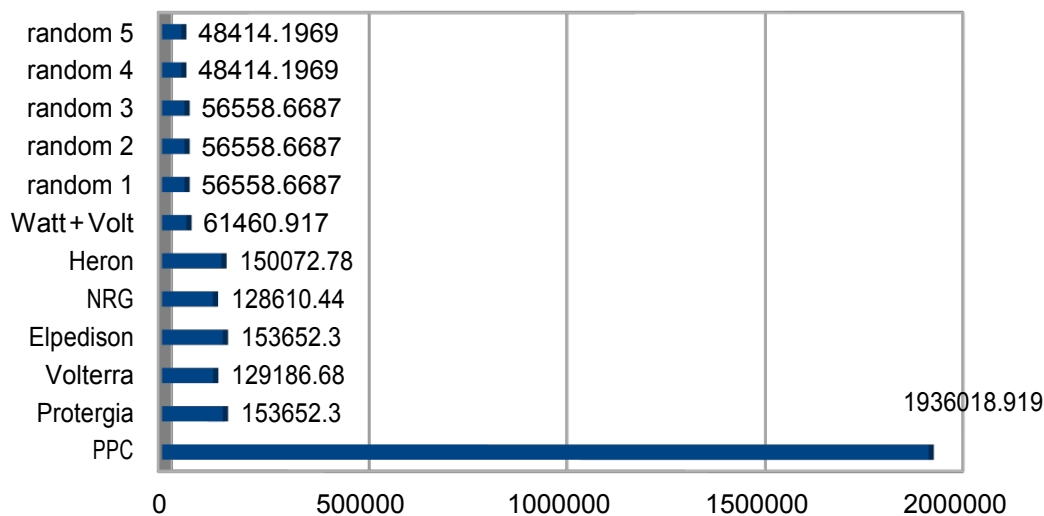
5.1.1.5 Τελικά αποτελέσματα απλού εξαμηνιαίου μοντέλου - Συνεργασία σε βάρος καταναλωτή

Semester Simple + Retaliation + total Cooperation - Final Market Share



Διάγραμμα 21: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο– συνεργασία εις βάρος του καταναλωτή – Τελικά μερίδια αγοράς

Semester Simple + Retaliation + Total Cooperation - Final Income

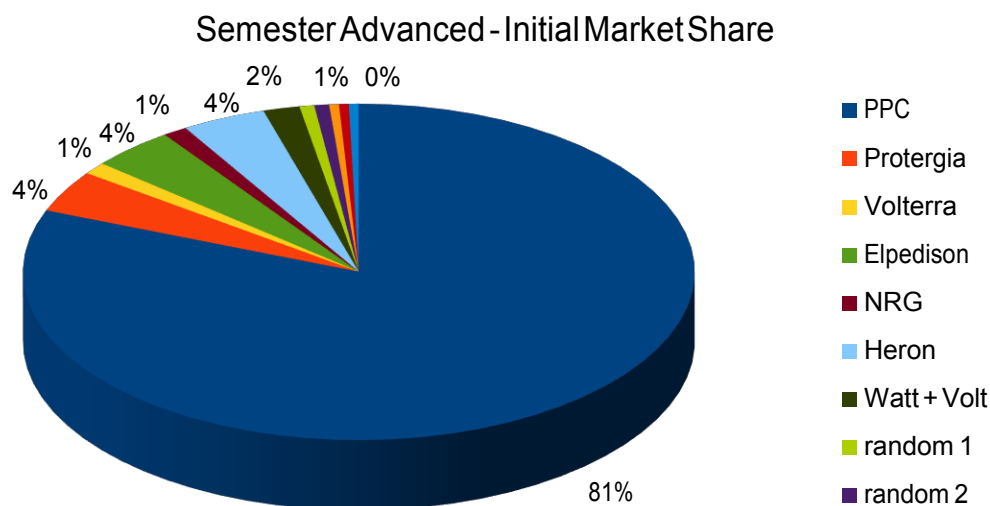


Διάγραμμα 22: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο– συνεργασία εις βάρος του καταναλωτή – Τελικά έσοδα

Αν όλες οι εταιρίες συνεργαστούν σε βάρος του καταναλωτή, δεν απαιτείται και μεγάλη φαντασία για να προβλέψει κανείς τι θα συμβεί. Τα συνολικά έσοδα έχουν αυξηθεί, καθώς ανέβηκαν οι τιμές. Εταιρίες που αύξησαν πολύ την τιμή σε σχέση με πριν έχουν τώρα μικρότερο μερίδιο αγοράς, όπως είναι και το λογικό. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι παρότι τα συνολικά έσοδα αυξήθηκαν πάρα πολύ, κάποιες μεμονωμένες εταιρίες (Protergia) ζημιώθηκαν. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι έχασαν μεγάλο μερίδιο αγοράς από τις άλλες εταιρίες. Ίσως αυτή να είναι και μια παράμετρος που επιδρά προστατευτικά για τον καταναλωτή, εξασφαλίζοντας πως ποτέ δε θα συμβεί αυτό το σενάριο.

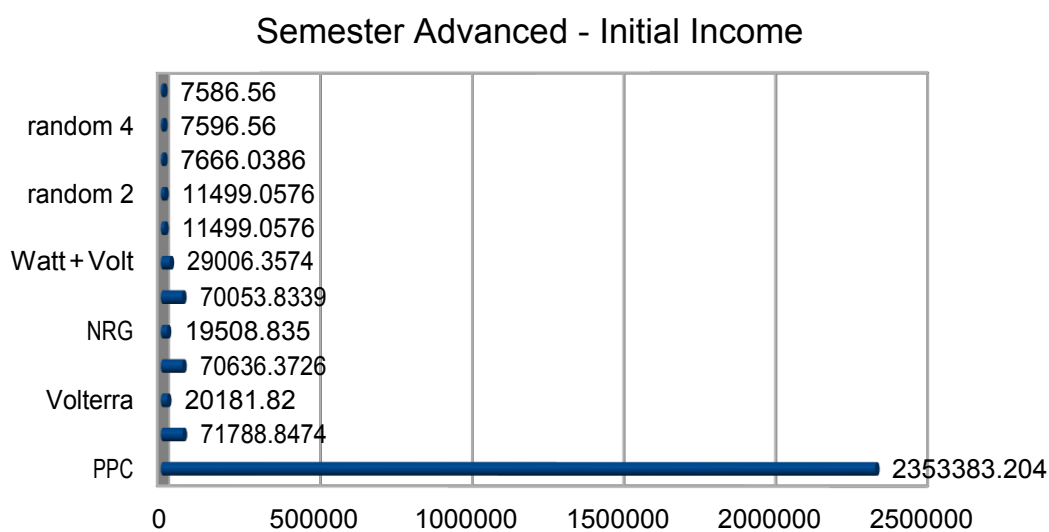
5.1.2 Εξαμηνιαίο σύνθετο μοντέλο

5.1.2.1 Τα αρχικά μερίδια αγοράς και έσοδα



Διάγραμμα 23: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο – Αρχικά μερίδια αγοράς

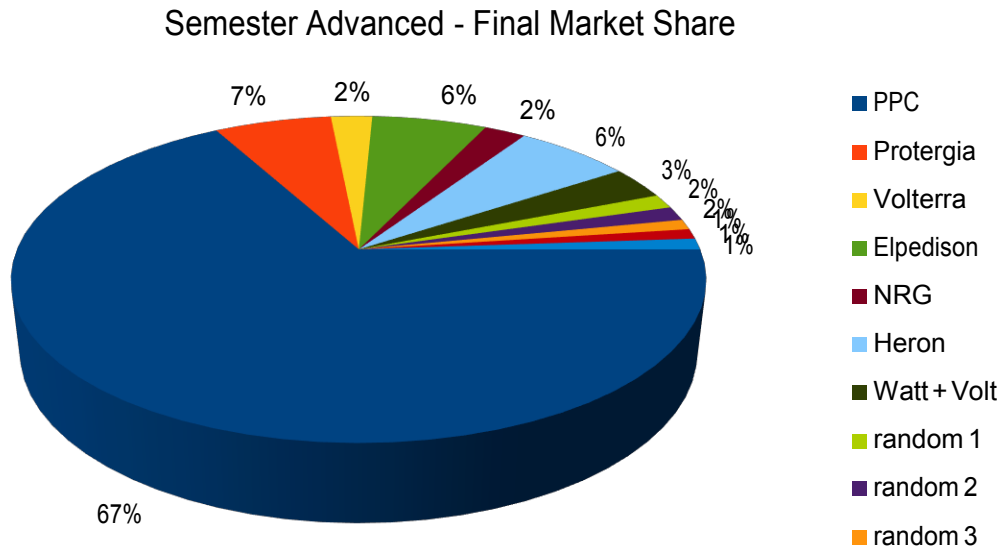
Βλέπουμε πως αυτήν την φορά, τα μερίδια αγοράς είναι πάρα πολύ κοντά στα πραγματικά. Κάποιες μικρές αποκλίσεις εξακολουθούν να υφίστανται βέβαια.



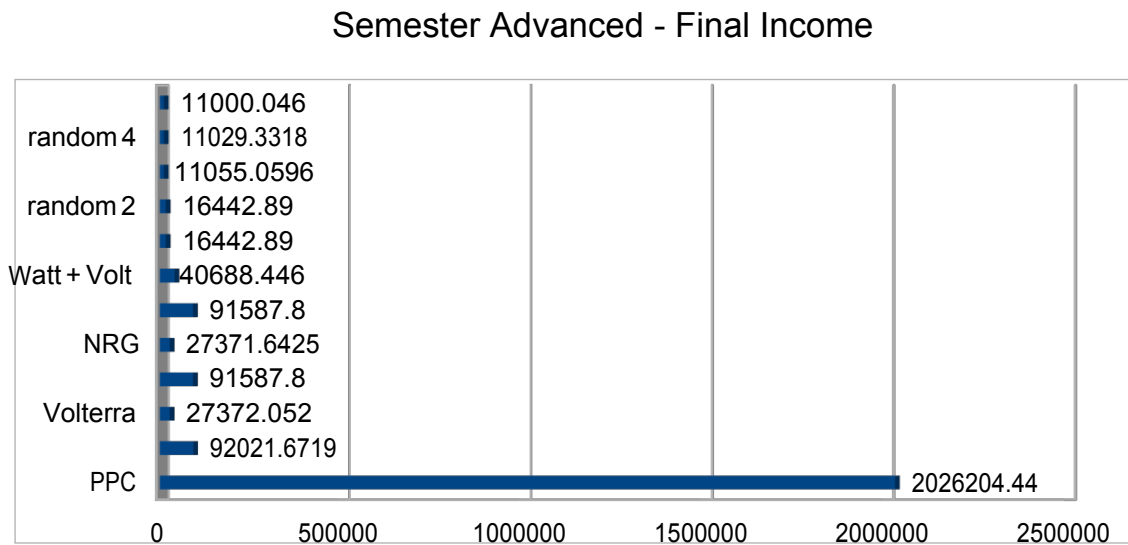
Διάγραμμα 24: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο – Αρχικά έσοδα

Όσον αφορά τα έσοδα, διαπιστώνουμε πως στην περίπτωση της ΔΕΗ, τα αποτελέσματα είναι πολύ κοντά πλέον στα πραγματικά. Ωστόσο, στις υπόλοιπες εταιρίες υπάρχει μεγαλύτερη απόκλιση από ότι υπήρχε στο απλό μοντέλο εξαμήνου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο σύνθετο μοντέλο έχουν μικρότερο μερίδιο αγοράς. Αυτές οι μεγάλες αποκλίσεις, εκτός από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν και πριν, θα μπορούσαν να οφείλονται και σε έσοδα από μεγάλους βιομηχανικούς πελάτες που δε συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση.

5.1.2.2 Τελικά αποτελέσματα σύνθετου εξαμηνιαίου μοντέλου



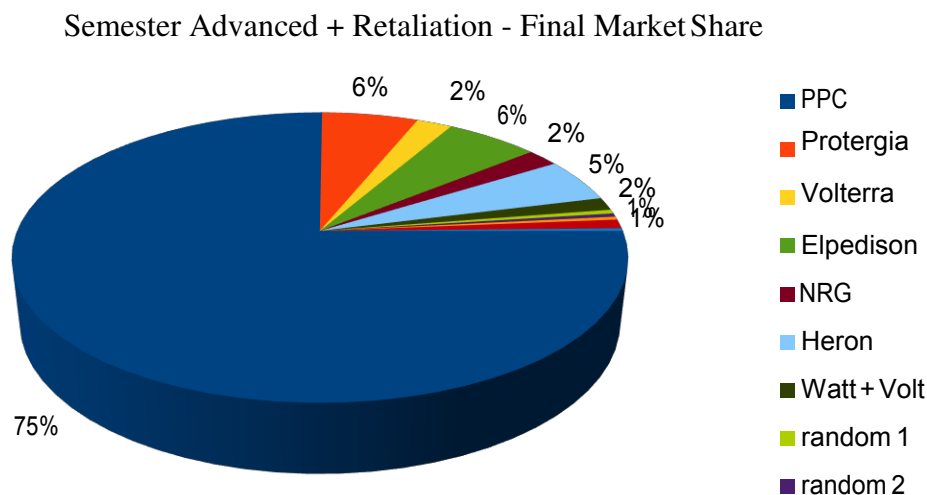
Διάγραμμα 25: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο – Τελικά μερίδια αγοράς



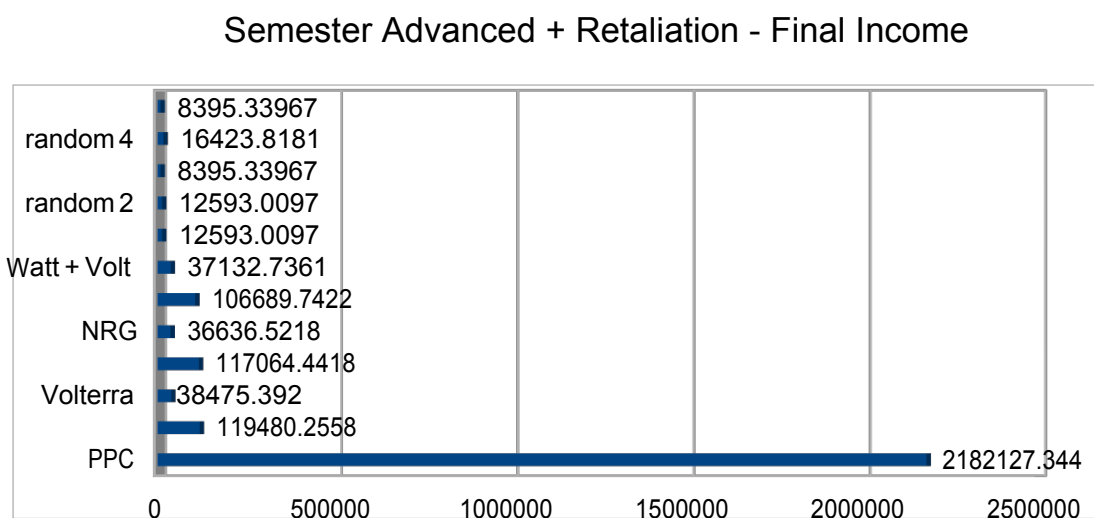
Διάγραμμα 26: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο - Τελικά έσοδα

Συγκρίνοντας με τα αρχικά στοιχεία, βλέπουμε πως σε αντίθεση με αυτά που έγιναν στο αντίστοιχο σενάριο του απλού μοντέλου, αυξάνουν το μερίδιό τους όλες οι εταιρίες σε βάρος της ΔΕΗ. Αυτό συμβαίνει διότι οι υπόλοιπες εταιρίες μειώνουν τις τιμές τους για να διεκδικήσουν τους μη σταθερούς καταναλωτές, αλλά η ΔΕΗ δεν έχει κίνητρο να ανταποδώσει, αφού τη συμφέρει καλύτερα να εκμεταλλευτεί τη σταθερή της βάση. Έτσι, η ΔΕΗ χάνει μερίδιο στους μη σταθερούς καταναλωτές. Σχετικά με τα έσοδα, αξιοσημείωτο είναι το ότι παρά τον ανταγωνισμό τιμών, οι εταιρίες πλην της ΔΕΗ αύξησαν τα κέρδη τους. Αυτό έγινε γιατί όλοι έχουν περιθώριο να κερδίσουν σε βάρος της ΔΕΗ.

5.1.2.3 Τελικά αποτελέσματα σύνθετου εξαμηνιαίου μοντέλου χωρίς συνεχείς μειώσεις



Διάγραμμα 27: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο χωρίς συνεχείς μειώσεις - Τελικά μερίδια αγοράς



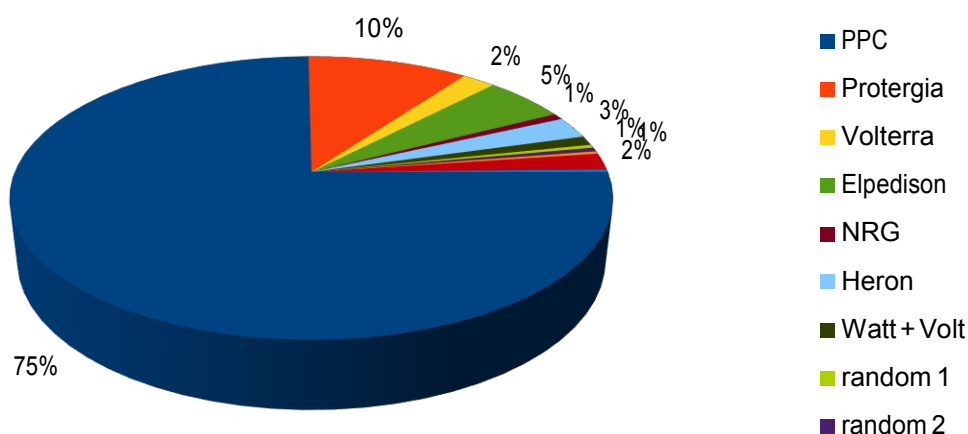
Διάγραμμα 28: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο χωρίς συνεχείς μειώσεις – Τελικά έσοδα

Το πρώτο πράγμα που παρατηρεί κανείς είναι ότι η ΔΕΗ κατάφερε και διατήρησε μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς από ότι στο αμέσως προηγούμενο σενάριο. Αυτό συμβαίνει όμως διότι η μη διαρκής μείωση τιμών από τις άλλες εταιρίες έχει ως έμμεση επίδραση να παραμένει περισσότερος κόσμος στη ΔΕΗ, όπως ακριβώς είχε συμβεί και στο απλό εξαμηνιαίο μοντέλο.

Ενδιαφέρον είναι ακόμα το γεγονός ότι σε σύγκριση με το αμέσως προηγούμενο σενάριο, κάποιες εταιρίες έχουν λιγότερα έσοδα αντί για περισσότερα. Αυτό συνέβη επειδή κάποιες εταιρίες δίστασαν να μειώσουν τιμές φοβούμενες ότι θα ανταποδώσουν και οι άλλες εταιρίες, ενώ στην πραγματικότητα όμως δεν είχαν όφελος αυτές να το κάνουν. Σε σύγκριση με την αρχική κατάσταση όμως, όλες οι εταιρίες είναι κερδισμένες, εκτός από τη ΔΕΗ.

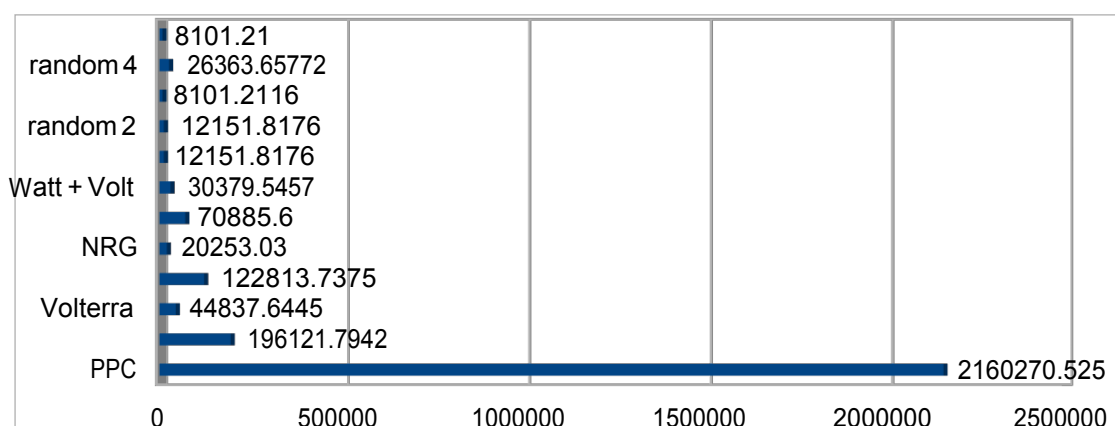
5.1.2.4 Τελικά αποτελέσματα σύνθετου εξαμηνιαίου μοντέλου - Συνεργασία κατά ΔΕΗ

SemesterAdvanced + Retaliation + K-1 Cooperation - Final Market Share



Διάγραμμα 29: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο - συνεργασία σε βάρος ΔΕΗ- Τελικά μερίδια αγοράς

SemesterAdvanced + Retaliation + K-1 Cooperation - Final Income

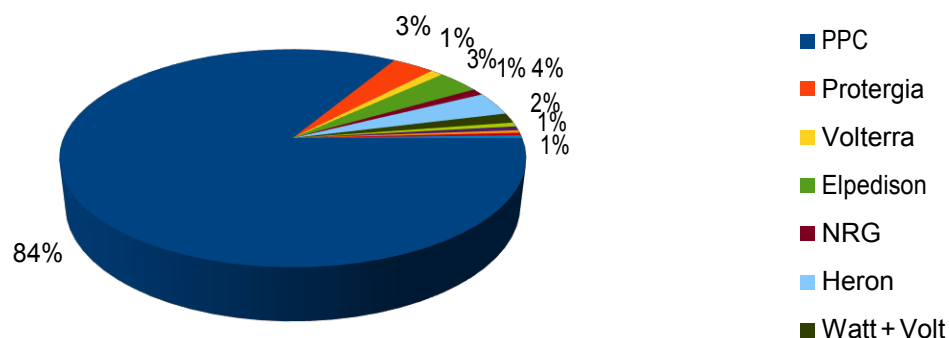


Διάγραμμα 30: Σύνθετο εξαμηνιαίο μοντέλο - συνεργασία σε βάρος ΔΕΗ- Τελικά έσοδα

Αυτήν την φορά δεν είχαμε κάποια έκπληξη. Όπως ακριβώς είχε συμβεί και στο απλό μοντέλο, βλέπουμε ότι αυτό το σενάριο έχει αποτελέσματα σχεδόν ίδια με το αμέσως προηγούμενο. Ο μη “πόλεμος τιμών” σχεδόν ισοδυναμεί με συνεργασία σε βάρος της ΔΕΗ. Σε αντίθεση με το απλό μοντέλο όμως, αυτήν την φορά η ΔΕΗ καταλήξει με ελαφρώς μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς και ελαφρώς μεγαλύτερα έσοδα σε σχέση με το αμέσως προηγούμενο σενάριο. Αιτία είναι το γεγονός ότι αυτήν την φορά ο συνδυασμός τιμών που μεγιστοποιεί τα έσοδα όλων των υπολοίπων επιχειρήσεων κυμαίνεται σε ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα.

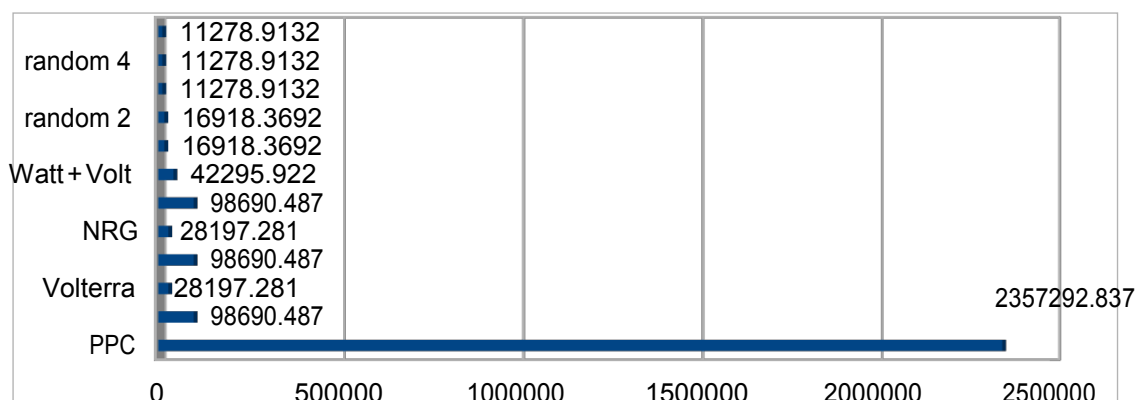
5.1.2.5 Τελικά αποτελέσματα σύνθετου εξαμηνιαίου μοντέλου - Συνεργασία σε βάρος καταναλωτή

Semester Advanced + Retaliation + total Cooperation - Final Market Share



Διάγραμμα 31: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο - συνεργασία σε βάρος καταναλωτή – Τελικά μερίδια αγοράς

Semester Advanced + Retaliation + total Cooperation - Final Income



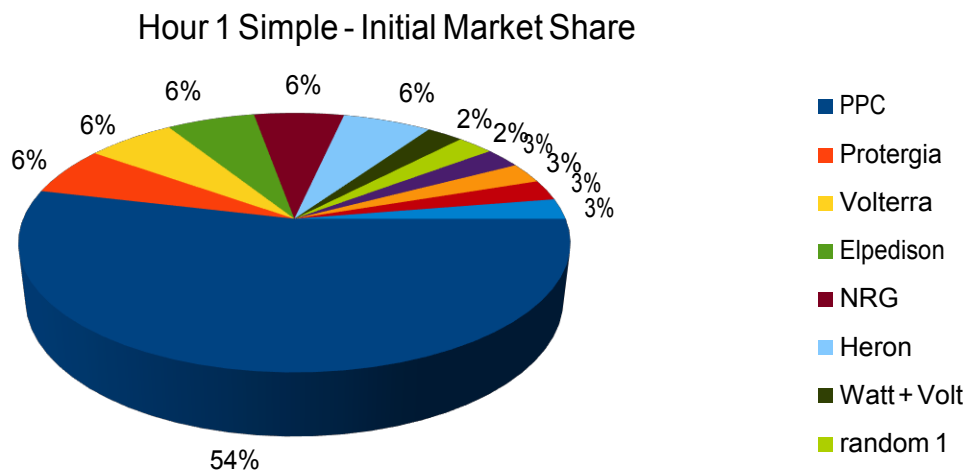
Διάγραμμα 32: Απλό εξαμηνιαίο μοντέλο - συνεργασία σε βάρος καταναλωτή- Τελικά έσοδα

Αν όλες οι εταιρίες συνεργαστούν σε βάρος του καταναλωτή, δεν απαιτείται και μεγάλη φαντασία για να προβλέψει κανείς τι θα συμβεί. Τα συνολικά έσοδα έχουν αυξηθεί, καθώς ανέβηκαν οι τιμές. Εταιρίες που αύξησαν πολύ την τιμή σε σχέση με πριν έχουν τώρα μικρότερο μερίδιο αγοράς, όπως είναι και το λογικό. Η μόνη εταιρία που σε ατομικό επίπεδο έχει λιγότερα έσοδα τώρα είναι η ΔΕΗ.

5.2 Ωριαία σενάρια

5.2.1 Ωρα 1 απλό μοντέλο

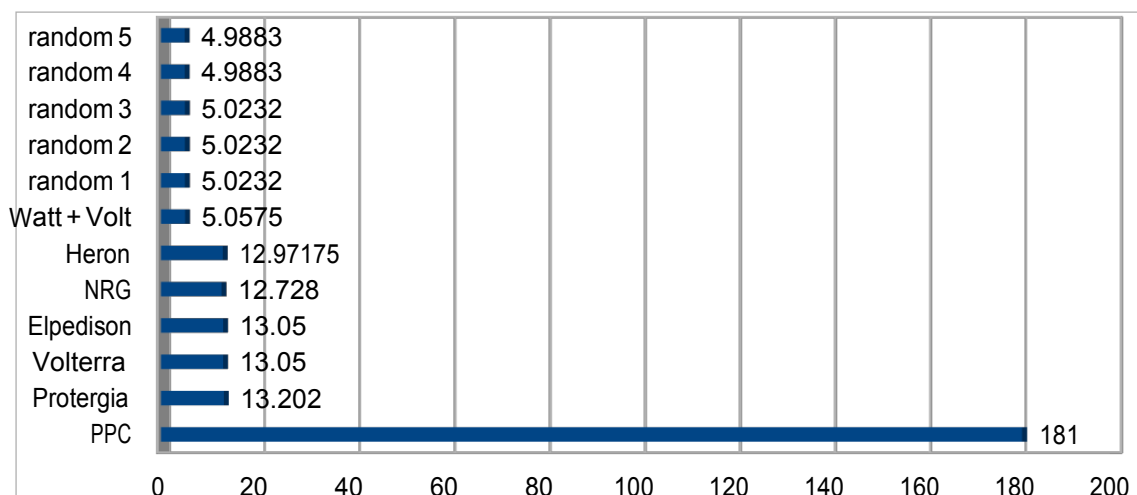
5.2.1.1 Τα αρχικά μερίδια αγοράς και έσοδα



Διάγραμμα 33: Απλό μοντέλο ώρας 1 - Αρχικά μερίδια αγοράς

Παρατηρούμε πως Heron, Protergia, Elpedison, Volterra και NRG έχουν σχεδόν εξισωθεί μεταξύ τους, όπως και Watt + Volt με τις 5 random. Αιτία για αυτό το φαινόμενο αποτελεί το γεγονός ότι είναι τόσο μικρή η ζήτηση, που ακόμα και οι μικρές εταιρίες είναι σε θέση να ικανοποιήσουν σε μεγάλο βαθμό. Κατά συνέπεια, δεν υπάρχει η ανάγκη να καταφύγουν στις μεγαλύτερες για να προμηθευτούν και έτσι ευνοούνται οι μικρότερες.

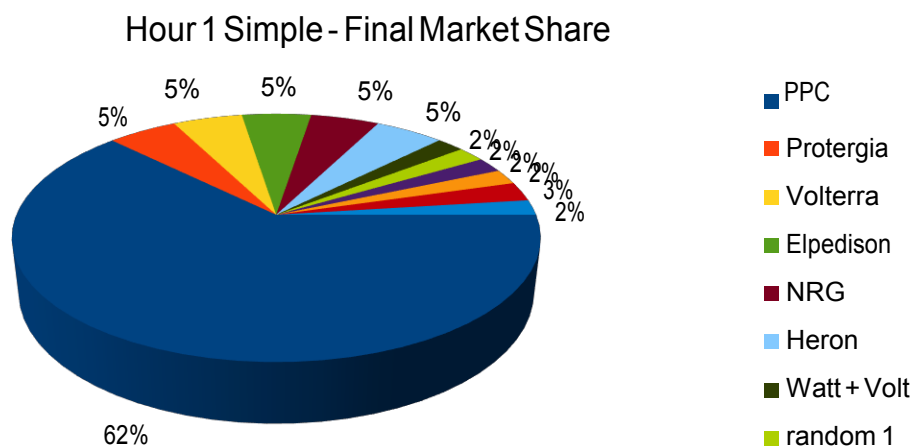
Hour 1 Simple - Initial Income



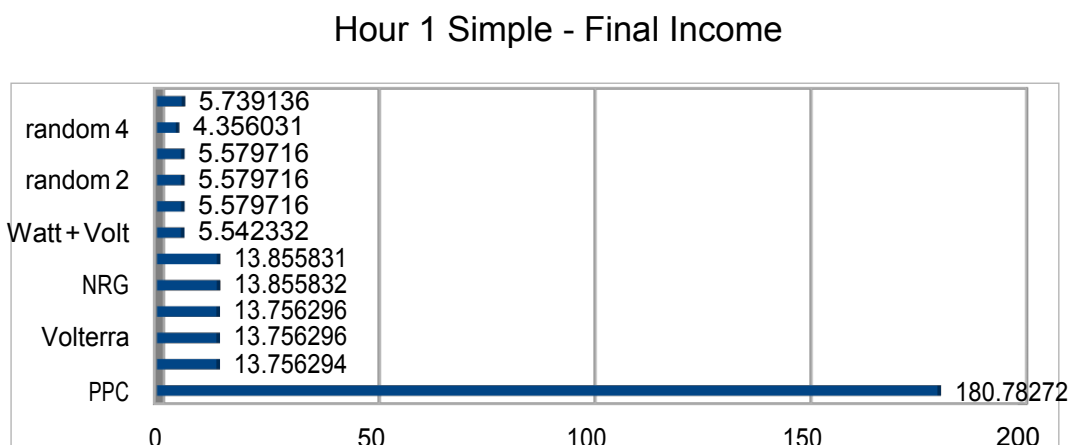
Διάγραμμα 34: Απλό μοντέλο ώρας 1 – Αρχικά έσοδα

Όσον αφορά τα έσοδα, παρατίθενται απλά για λόγους πληρότητας χωρίς να μπορεί να γίνει κάποια σύγκριση, αφού δεν έχουμε δεδομένα εσόδων ανά μέρα.

5.2.1.2 Τελικά αποτελέσματα ώρας 1



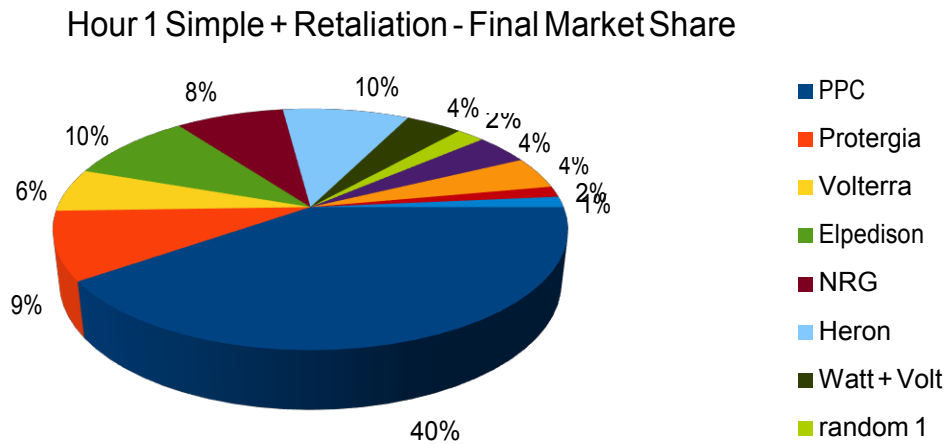
Διάγραμμα 35: Απλό ωριαίο μοντέλο –Τελικά μερίδια αγοράς



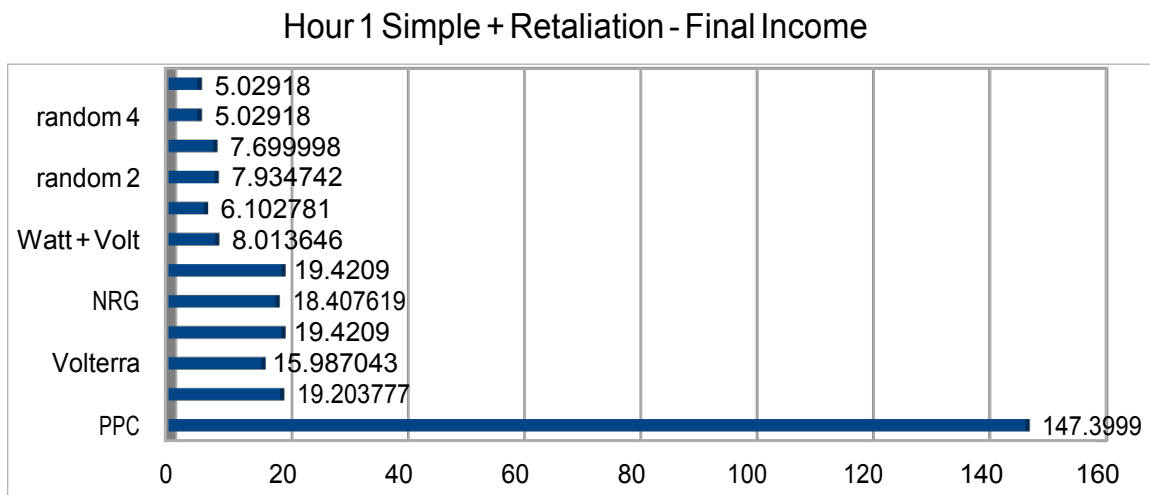
Διάγραμμα 36: Απλό ωριαίο μοντέλο – Τελικά έσοδα

Διαπιστώνουμε πως μειώνοντας τιμές, η ΔΕΗ έχει κερδίσει μερίδιο αγοράς σε βάρος των υπολοίπων. Όσον αφορά τα έσοδα, σε όλες πλην της ΔΕΗ έχουν αυξηθεί, επειδή είχαν τη δυνατότητα να αυξήσουν τιμές, αφού η τιμή τους εξακολουθεί να είναι αρκετά χαμηλότερη από αυτήν της ΔΕΗ.

5.2.1.3 Τελικά αποτελέσματα ώρας 1 χωρίς συνεχείς μειώσεις



Διάγραμμα 37: Απλό μοντέλο ώρας 1 χωρίς συνεχείς μειώσεις – Τελικά μερίδια αγοράς



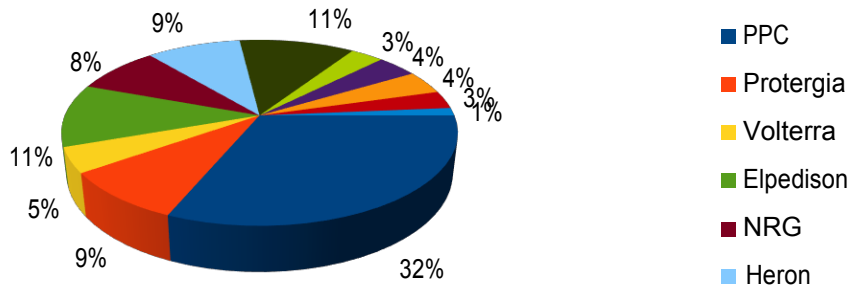
Διάγραμμα 38: Απλό μοντέλο ώρας 1 χωρίς συνεχείς μειώσεις – Τελικά έσοδα

Παρά το γεγονός ότι τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται παράξενα εκ πρώτης όψεως, υπάρχει λογική εξήγηση. Η ΔΕΗ φοβούμενη ότι αν και οι άλλες εταιρίες μειώσουν την τιμή τους θα έχει ζημιά, δεν μειώνει την τιμή της. Στην πραγματικότητα όμως οι άλλες εταιρίες δεν είναι σε θέση να μειώσουν και άλλο τις τιμές τους, πράγμα που η ΔΕΗ δεν αντιλαμβάνεται. Το αποτέλεσμα είναι να μειώσουν όλοι τιμές σε ένα βαθμό εκτός από τη ΔΕΗ και να βγει μόνο η ΔΕΗ χαμένη.

Βλέπουμε επίσης πως τώρα πια υπάρχει ξανά μια αναλογικότητα, καθώς το χαμένο μερίδιο αγοράς το επωμίζονται οι υπόλοιπες εταιρίες ανάλογα με τη δύναμή τους. Χάνει τόσο πολύ η ΔΕΗ που δεν είναι σε θέση να το διεκδικήσουν οι μικρότερες εταιρίες, επειδή δεν μπορούν να παράξουν τόσο. Γενικά όλες οι εταιρίες έχουν υψηλότερα κέρδη και μερίδια αγοράς σε σχέση με την αρχική κατάσταση και με το προηγούμενο σενάριο, εκτός από τη ΔΕΗ. Το συγκεκριμένο σενάριο μπορεί να ευσταθεί θεωρητικά, αλλά πρακτικά θα το χαρακτηρίζα σίγουρα ως μη ρεαλιστικό, καθώς στην πραγματικότητα η ΔΕΗ θα είχε αντιληφθεί πως τη συμφέρει να μειώσει τιμή και θα είχε αντιδράσει.

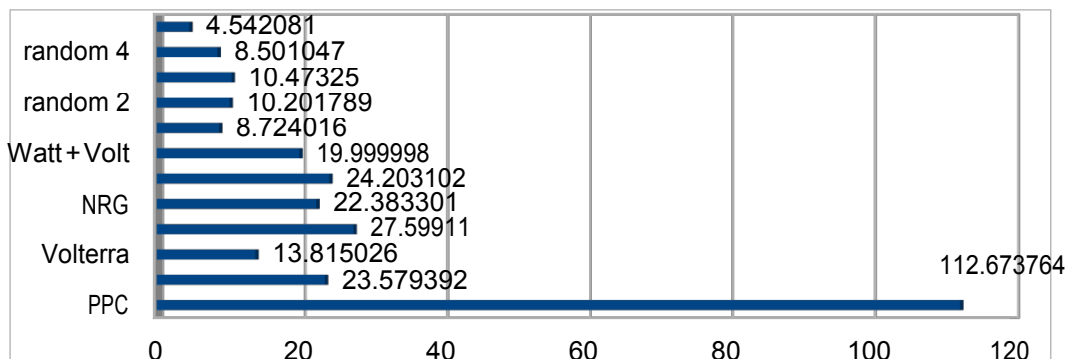
5.2.1.4 Τελικά αποτελέσματα ώρας 1 - Συνεργασία κατά ΔΕΗ

Hour 1 Simple + Retaliation + K-1 Cooperation - Final Market Share



Διάγραμμα 39: Απλό μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία κατά ΔΕΗ – Τελικά μερίδια αγοράς

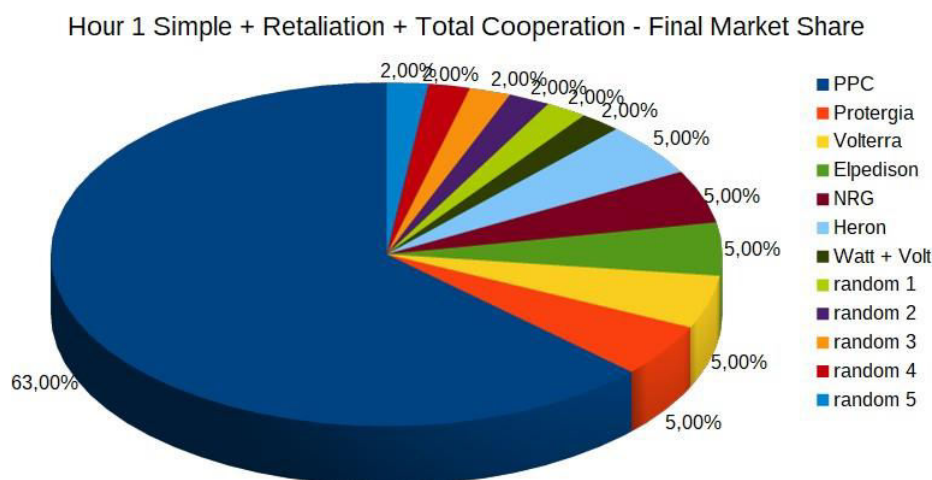
Hour 1 Simple + Retaliation + K-1 Cooperation - Final Income



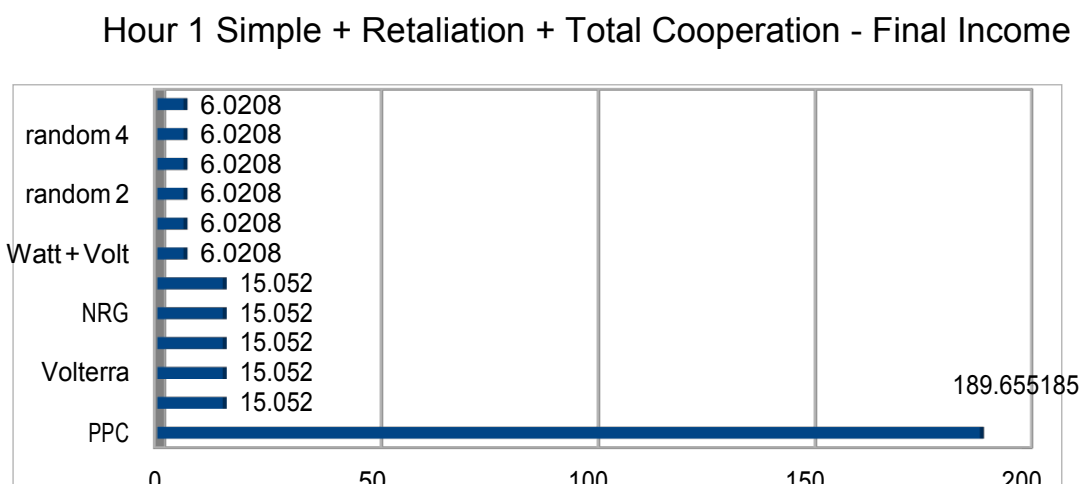
Διάγραμμα 40: Απλό μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία κατά ΔΕΗ – Τελικά έσοδα

Παρατηρούμε πως η ΔΕΗ εμφανίζεται ακόμα πιο ζημιωμένη και σε μερίδιο αγοράς και σε έσοδα από ότι στο προηγούμενο σενάριο. Αυτό συνέβη επειδή αυτήν την φορά οι υπόλοιπες επιχειρήσεις μείωσαν ακόμα περισσότερο τις τιμές τους. Πριν είχαν ενδιασμούς, καθώς υπήρχε ο κίνδυνος να μειώσουν και οι υπόλοιπες επιχειρήσεις και να έχουν ζημιά. Τώρα όμως που δουλεύουν ως συνασπισμός, δεν υπάρχει αυτό το πρόβλημα και μπορούν να εκμεταλλευτούν ακόμα περισσότερο τις υψηλές τιμές της ΔΕΗ. Αξίζει να σημειωθεί πως ούτε αυτό το σενάριο δεν είναι ρεαλιστικό, καθώς όπως και στο προηγούμενο, στην πραγματικότητα θα μπορούσε να αντιδράσει η ΔΕΗ. Απλώς υπάρχει το ίδιο ζήτημα που αναφέρθηκε πριν.

5.2.1.5 Τελικά αποτελέσματα ώρας 1- Συνεργασία σε βάρος καταναλωτή



Διάγραμμα 41: Απλό μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία σε βάρος καταναλωτή – Τελικά μερίδια αγοράς

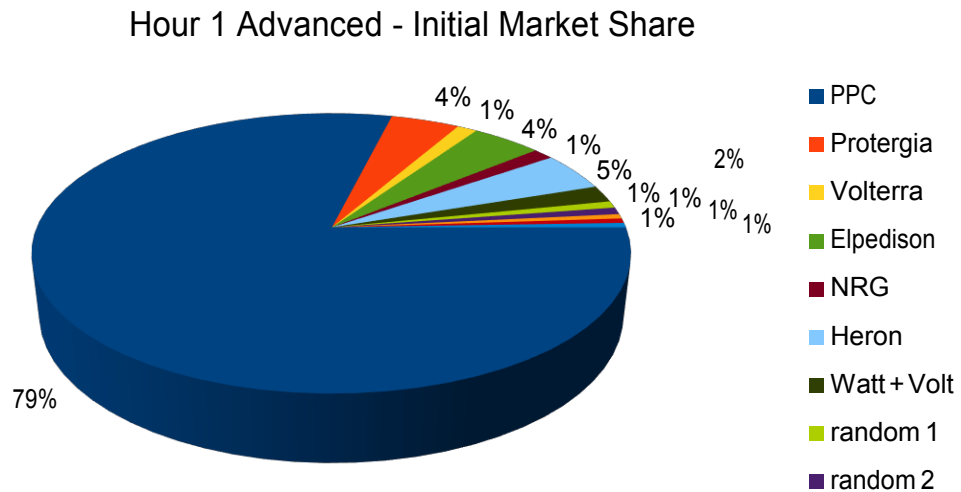


Διάγραμμα 42: Απλό μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία σε βάρος καταναλωτή – Τελικά έσοδα

Τα αποτελέσματα είναι τα αναμενόμενα: Όλες οι εταιρίες αύξησαν τα έσοδά τους. Όσες αύξησαν πολύ την τιμή έχασαν μερίδιο αγοράς, ενώ οι άλλες κέρδισαν.

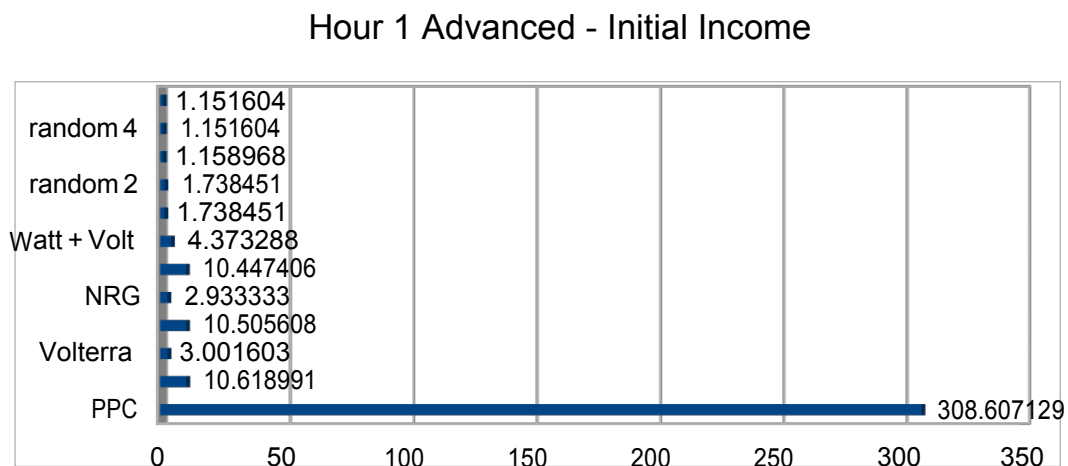
5.2.2 Ώρα 1 - Σύνθετο μοντέλο

5.2.2.1 Τα αρχικά μερίδια αγοράς και έσοδα



Διάγραμμα 43: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1- Αρχικά μερίδια αγοράς

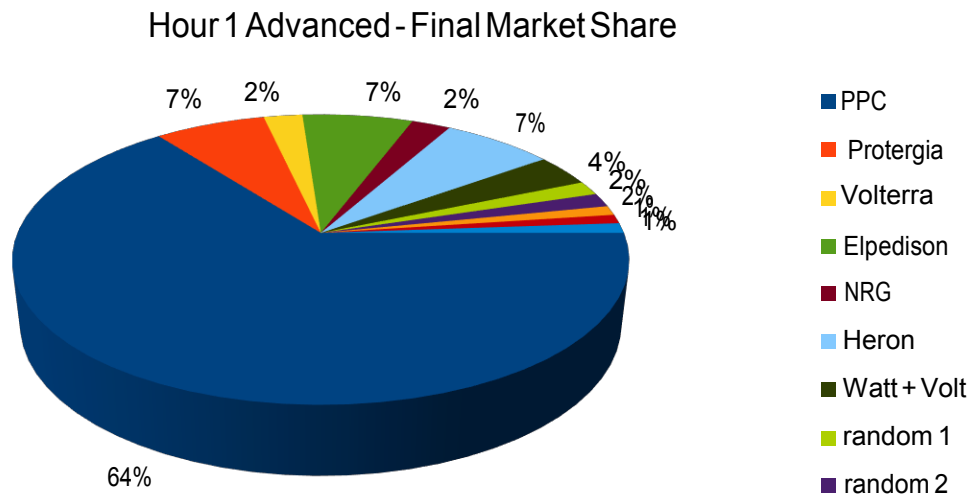
Όπως ήταν αναμενόμενο, τα αποτελέσματα έχουν παρόμοια μορφή με αυτά του σύνθετου εξαμηνιαίου σεναρίου.



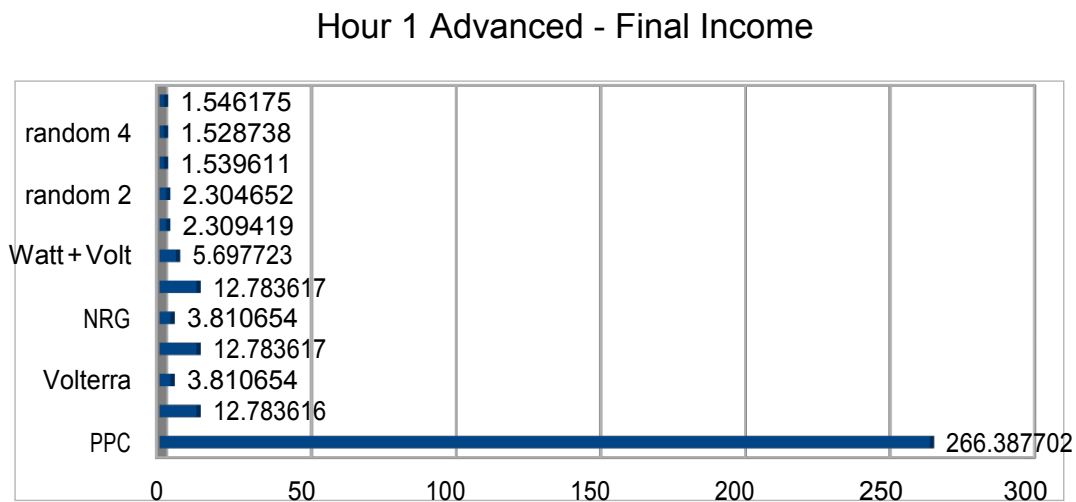
Διάγραμμα 44: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 – Αρχικά έσοδα

Όσον αφορά τα έσοδα, όπως είναι λογικό, η ΔΕΗ έχει πολύ περισσότερα έσοδα σε σύγκριση με το απλό μοντέλο της ώρας 1, επειδή έχει και μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς. Οι υπόλοιπες εταιρίες έχουν πολύ μικρότερα έσοδα αντίστοιχα.

5.2.2.2 Τελικά αποτελέσματα σύνθετης ώρας 1



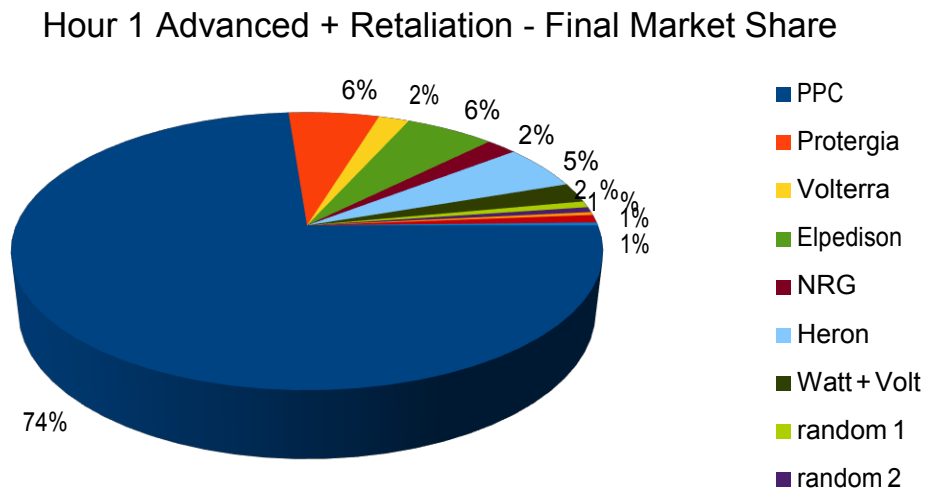
Διάγραμμα 45: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 – Τελικά μερίδια αγοράς



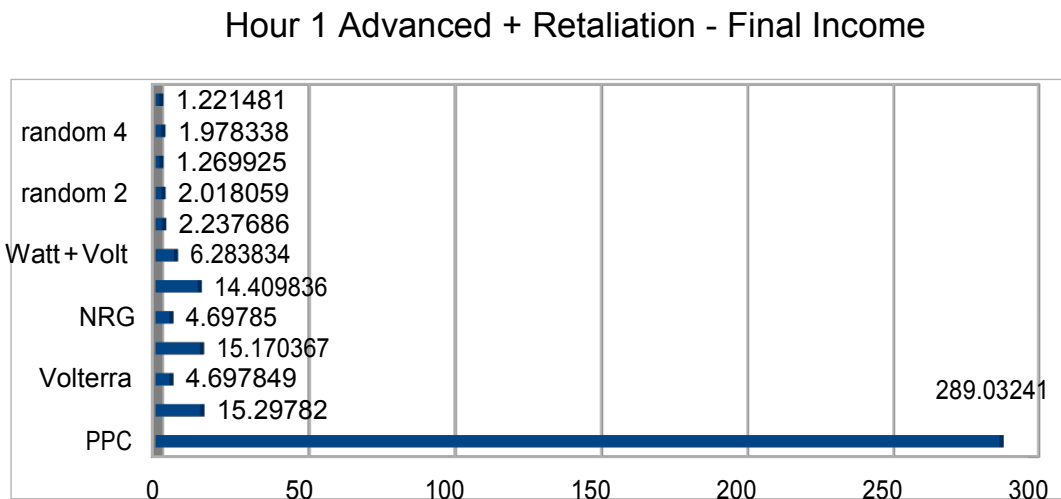
Διάγραμμα 46: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 – Τελικά έσοδα

Το πρώτο πράγμα που παρατηρεί κανείς είναι ότι η ΔΕΗ κατάφερε και διατήρησε μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς από ότι στο αμέσως προηγούμενο σενάριο. Αυτό συμβαίνει όμως διότι η μη διαρκής μείωση τιμών από τις άλλες εταιρίες έχει ως έμμεση επίδραση να παραμένει περισσότερος κόσμος στη ΔΕΗ, όπως ακριβώς είχε συμβεί και στο απλό εξαμηνιαίο μοντέλο. Ενδιαφέρον είναι ακόμα το γεγονός ότι σε σύγκριση με το αμέσως προηγούμενο σενάριο, κάποιες εταιρίες έχουν λιγότερα έσοδα αντί για περισσότερα. Αυτό συνέβη επειδή κάποιες εταιρίες δίστασαν να μειώσουν τιμές φοβούμενες ότι θα ανταποδώσουν και οι άλλες εταιρίες, ενώ στην πραγματικότητα όμως δεν είχαν όφελος αυτές να το κάνουν. Σε σύγκριση με την αρχική κατάσταση όμως, όλες οι εταιρίες είναι κερδισμένες, εκτός από τη ΔΕΗ.

5.2.2.3 Τελικά αποτελέσματα σύνθετης ώρας 1 χωρίς συνεχείς μειώσεις



Διάγραμμα 47: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 χωρίς συνεχείς μειώσεις – Τελικά μερίδια αγοράς

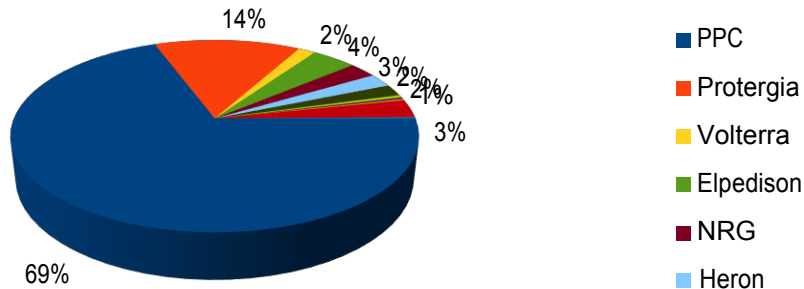


Διάγραμμα 48: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 χωρίς συνεχείς μειώσεις – Τελικά έσοδα

Παρατηρούμε ότι οι εταιρίες έχουν αυξήσει τα έσοδά τους σε σύγκριση με το προηγούμενο σενάριο και την αρχική κατάσταση, εκτός από τη ΔΕΗ. Η ΔΕΗ έχει περισσότερα έσοδα από ότι στο προηγούμενο σενάριο και λιγότερα από όσα στην αρχική κατάσταση, διότι έμμεση συνέπεια του ότι δεν μείωσαν πολύ τις τιμές τους οι άλλες εταιρίες είναι και το ότι παρέμειναν περισσότεροι πελάτες στη ΔΕΗ. Τα αποτελέσματα δεν μας εκπλήσσουν, καθώς είναι παρόμοια με αυτά όλων των υπολοίπων σεναρίων μη συνεχών μειώσεων τιμών.

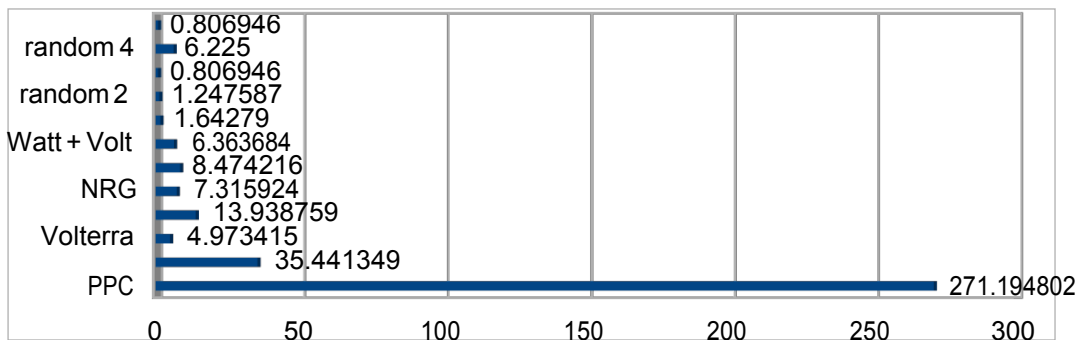
5.2.2.4 Τελικά αποτελέσματα σύνθετης ώρας 1 - Συνεργασία κατά ΔΕΗ

Hour 1 Advanced + Retaliation + K-1 Cooperation - Final Market Share



Διάγραμμα 49: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία σε βάρος ΔΕΗ – Τελικά μερίδια αγοράς

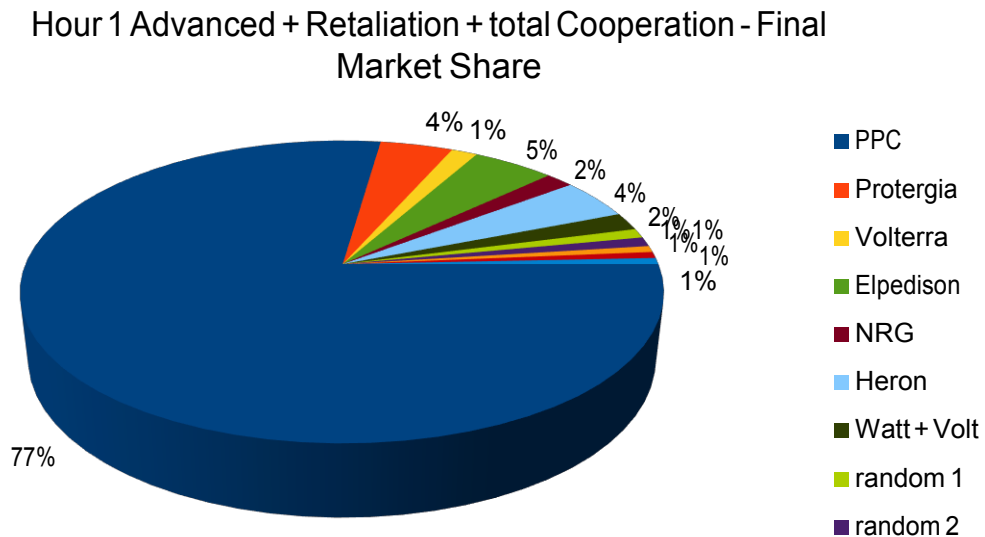
Hour 1 Advanced + Retaliation + K-1 Cooperation - Final Income



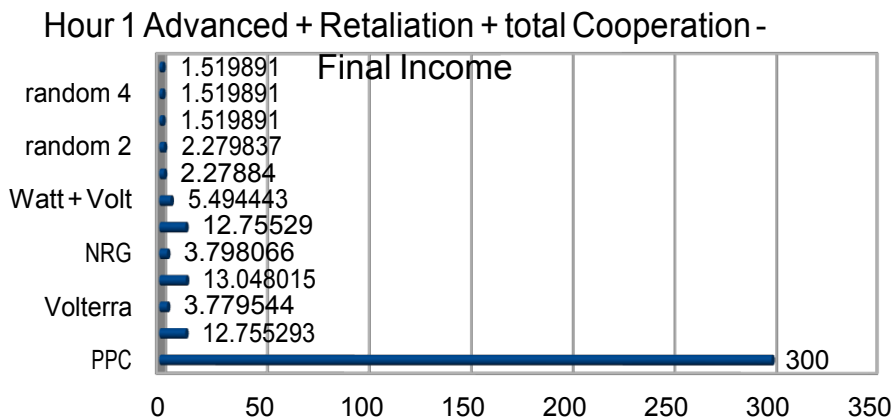
Διάγραμμα 50: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία σε βάρος ΔΕΗ – Τελικά έσοδα

Παρατηρούμε ότι συνολικά οι συνεργαζόμενες εταιρίες αυξάνουν τα έσοδά τους, όπως ήταν αναμενόμενο, ενώ η ΔΕΗ έχασε έσοδα. Αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχει η τάση να χαρίζουν το μερίδιο αγοράς τους έμμεσα οι εταιρίες στην Protergia, επειδή είναι η πιο ακριβή εκ των συνεργαζόμενων εταιριών και έχει και την μεγαλύτερη παραγωγική δυνατότητα. Εξωθώντας τους πελάτες προς τα εκεί, τα συνολικά έσοδα αυξάνονται. Γι αυτό και βλέπουμε την Protergia να έχει τόσο μεγάλο μερίδιο αγοράς.

5.2.2.5 Τελικά αποτελέσματα σύνθετης ώρας 1 - Συνεργασία σε βάρος καταναλωτή



Διάγραμμα 51: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία σε βάρος καταναλωτή – Τελικά μερίδια αγοράς



Διάγραμμα 52: Σύνθετο μοντέλο ώρας 1 - συνεργασία σε βάρος καταναλωτή – Τελικά έσοδα

Δεν υπάρχει κάτι αξιοσημείωτο σε αυτό το σενάριο. Τα συνολικά έσοδα αυξήθηκαν, όπως ήταν το αναμενόμενο. Τα τελικά αποτελέσματα είναι αρκετά όμοια με την αρχική κατάσταση.

5.2.3 Περιληπτική παρουσίαση υπολοίπων αποτελεσμάτων

5.2.3.1 Εισαγωγή

Επειδή τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις ώρες 2 και 3 σε όλα τα σενάρια είναι πολύ παρόμοια με τα αποτελέσματα της ώρας 1 και επειδή η αναλυτική παρουσίασή τους θα διπλασίαζε τον μέγεθος του ήδη ογκωδέστατου τρέχοντος κεφαλαίου και θα κούραζε τον αναγνώστη, θεώρησα πως ήταν προτιμότερο να τονίσω απλά όποια αξιοσημείωτα στοιχεία παρατήρησα, χωρίς πλήρη παράθεση των αποτελεσμάτων.

5.2.3.2 Αξιοσημείωτα στοιχεία σεναρίων ώρας 2

Όσον αφορά τα αρχικά μερίδια αγοράς και έσοδα, αυτήν την φορά τα μερίδια αγοράς ήταν πιο αναλογικά και υπήρχαν διαφορές μεταξύ των εταιριών, επειδή δεν μπορούσαν να παρακάμψουν οι μεσαίου μεγέθους επιχειρήσεις. Στα τελικά αποτελέσματα δεν είχαμε κάτι αξιοσημείωτο, ούτε όταν αποφεύγουμε τις συνεχείς μειώσεις τιμών. Διαφορά υπάρχει στο σενάριο της συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ, επειδή αυτήν την φορά είναι μεγαλύτερη η ζήτηση και δεν μπορούν να παρακάμψουν τη ΔΕΗ. Έτσι η ΔΕΗ διατηρεί ένα market share της τάξης του 42.59%. Αξίζει ακόμα να αναφερθεί πως συντονίζονται με διαφορετικό τρόπο οι συνεργαζόμενες εταιρίες, καθώς διαφορετικές εταιρίες αποκτούν μεγάλο μερίδιο. Τίποτα αξιοσημείωτο και στη συνεργασία σε βάρος των καταναλωτών.

5.2.3.3 Αξιοσημείωτα στοιχεία σεναρίων ώρας 3

Το πρώτο που αξίζει να σημειωθεί είναι πως είναι τόσο μεγάλη η ζήτηση που το απλό σενάριο και το σενάριο χωρίς μειώσεις τιμών έδωσαν ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα, αφού κανείς δεν έχει πρόθεση ούτως ή άλλως να μειώσει τιμή. Το δεύτερο που οφείλει να αναφερθεί είναι ότι στα τελικά αποτελέσματα του απλού σεναρίου όλες οι εταιρίες έχουν αυξημένα έσοδα, ακόμα και η ΔΕΗ. Αυτό συμβαίνει διότι είναι τόσο μεγάλη η ζήτηση, που υπάρχουν περιθώρια να αυξήσουν όλοι τις τιμές τους κερδίζοντας. Αξιοσημείωτο είναι ακόμα το γεγονός ότι ακόμα και αν συνεργαστούν όλοι σε βάρος της ΔΕΗ, το ποσοστό της ελάχιστα μειώνεται. Η εξήγηση είναι ότι είναι τόσο μεγάλη η ζήτηση που δεν είναι σε θέση να την καλύψουν οι άλλες εταιρίες, οπότε αναγκαστικά οι καταναλωτές θα στραφούν στη ΔΕΗ.

5.2.3.4 Αξιοσημείωτα στοιχεία σύνθετων σεναρίων ώρας 2

Τίποτα αξιοσημείωτο, απλώς σε όλα τα σενάρια η ΔΕΗ έχει υψηλότερο μερίδιο αγοράς, γιατί είναι η ζήτηση συνολικά υψηλότερη και δεν μπορούν να αποφύγουν τη ΔΕΗ οι καταναλωτές.

5.2.3.5 Αξιοσημείωτα στοιχεία σύνθετων σεναρίων ώρας 3

Το μόνο που αξίζει να τονιστεί είναι ότι στο σενάριο συνεργασίας σε βάρος της ΔΕΗ η ΔΕΗ επωφελείται σε σύγκριση με το σενάριο χωρίς συνεχείς μειώσεις, λόγω της πολύ υψηλής ζήτησης.

6

Αξιολόγηση και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

6.1 Καινοτομίες διπλωματικής

Αναμφίβολα, παρά τις όποιες αδυναμίες, η παρούσα διπλωματική αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την εύρεση νέων μεθόδων τιμολόγησης, τόσο σε βραχυπρόθεσμη όσο και σε μακροπρόθεσμη βάση. Η συνεισφορά μάλιστα γίνεται ακόμα πιο σημαντική, αν αναλογιστεί κανείς πως δεν περιορίζεται η έρευνα μόνο σε θεωρητικό επίπεδο, αλλά πραγματοποιείται και πρακτική υλοποίηση του μοντέλου. Ακόμα, αξίζει να αναφερθεί πως είναι μία από τις ελάχιστες, αν όχι η μοναδική, έρευνα αλγορίθμων τιμολόγησης που αφορά την Ελλάδα συγκεκριμένα. Τέλος, το πιο σημαντικό ίσως είναι η δυνατότητα ενσωμάτωσης στοιχείων του marketing, διότι σχεδόν όλα τα αντίστοιχα μοντέλα περιορίζονται μόνο σε ορθολογική συμπεριφορά των καταναλωτών.

Στα πλεονεκτήματα της διπλωματικής συγκαταλέγονται τα εξής :

- Επέκταση υπάρχουσας βιβλιογραφίας: Νέα μοντέλα που βασίζονται σε Stackelberg game και εξελικτική θεωρία προτάθηκαν, διορθώνοντας κάποιες από τις αδυναμίες των υπαρχόντων.
- Ανάπτυξη μοντέλων με προοπτικές πραγματικής εφαρμογής: Ακόμα και αυτές οι απλουστευμένες προσομοιώσεις, με τα ελλιπή δεδομένα, έδωσαν αξιοπρεπή σχετικά αποτελέσματα. Μια πιο ακριβής υλοποίηση είναι πιθανό να καταστήσει το μοντέλο κατάλληλο για χρήση από τις επιχειρήσεις.
- Μοντελοποίηση συμπεριφοράς του Έλληνα καταναλωτή στον τομέα της ηλεκτρικής κατανάλωσης : Προσδιορίζοντας τις παραμέτρους a και b , προσδιορίσαμε έμμεσα και τη συμπεριφορά των Ελλήνων καταναλωτών σε γενικές γραμμές.
- Κώδικας απλός και εύχρηστος: Ο κώδικας που παρατίθεται στο τέλος της διπλωματικής έχει γραφεί σε δύο πολύ δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού. Επομένως, είναι σχετικά εύκολο να πραγματοποιηθούν τροποποιήσεις και να δοκιμαστούν και άλλα σενάρια.
- Δυνατότητα ενσωμάτωσης στοιχείων marketing: Όπως φάνηκε στα σύνθετα μοντέλα, μπορούμε πολύ εύκολα να ενσωματώσουμε και τέτοια στοιχεία, επεμβαίνοντας με διάφορους τρόπους στις πιθανότητες.

6.2 Περιορισμοί μοντέλων

Αρχικά οφείλουμε να επισημάνουμε πως θεμελιώδης παραδοχή όλων των μοντέλων είναι ότι ο καταναλωτής μπορεί να επιλέγει σε ωριαία βάση εταιρία. Στην πραγματικότητα αυτό δεν είναι εφικτό, καθώς υπάρχει καθυστέρηση μίας εβδομάδας περίπου στις περισσότερες περιπτώσεις αλλαγής παρόχου. Ωστόσο, επειδή σε θεωρητικό επίπεδο δεν προσφέρει κάτι και επειδή το πρόγραμμα θα γινόταν πιο πολύπλοκο άσκοπα, θεώρησα πως υπάρχει η δυνατότητα άμεσης αλλαγής. Την ίδια παραδοχή άλλωστε χρησιμοποιούν και τα αντίστοιχα μοντέλα στα οποία βασίστηκα.

Έπειτα, οφείλει να τονιστεί πως στόχος δεν ήταν να δημιουργηθεί ένα μοντέλο που θα είναι τόσο ακριβές πρακτικά ώστε να είναι έτοιμο προς χρήση. Σκοπός ήταν να θεμελιωθεί το θεωρητικό πλαίσιο και η πραγματοποίηση μιας πρόχειρης υλοποίησης, που θα προορίζεται μόνο για να αποδείξει ότι το μοντέλο λειτουργεί σε γενικές γραμμές και είναι έτσι κατάλληλο για βελτιώσεις και ακριβή υλοποίηση.

Ως περιορισμούς θα μπορούσαμε να επισημάνουμε τα παρακάτω στοιχεία :

Σχετικά με τη διαθέσιμη ενέργεια των επιχειρήσεων, θεωρήσαμε πως η κάθε επιχείρηση μπορεί να διαθέσει ενέργεια όση η παραγωγική της δυνατότητα. Μπορεί να ισχύει αυτό προσεγγιστικά, αλλά στην πραγματικότητα αυτό καθορίζεται από την οριακή τιμή που διαμορφώνεται στο electricity pool. Επειδή όμως η δυσκολία προσδιορισμού της οριακής τιμής που διαμορφώνεται είναι μεγάλη, αναγκαστικά θα έπρεπε να γίνει αυτή η προσέγγιση. Επιπλέον, σχετικά με τον προσδιορισμό των παραμέτρων a και b , η τεχνική που ακολουθήθηκε θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αξιοπρεπής, αλλά πιθανώς να υπήρχαν και καλύτεροι μέθοδοι επεξεργασίας και επιλογής δεδομένων. Παράλληλα, σε κάποιες εταιρίες χρειάστηκε να συμπληρώσουμε δεδομένα που αφορούσαν τις παραγωγικές δυνατότητες, και αυτό έγινε με κάπως διαισθητικό τρόπο. Ακόμα, λόγω έλλειψης στοιχείων για κατάλληλο market segmentation, όλοι οι καταναλωτές αντιμετωπίζονται σα να είναι ίδιοι. Τέλος, όπως σε κάθε , μοντέλο έτσι και στα δικά μας , υπάρχει πλήθος άγνωστων παραμέτρων που δεν έχουν ληφθεί υπόψιν. Ποτέ δεν έχει υπάρξει μοντέλο που να είναι σε πλήρη συμφωνία με την πραγματικότητα και ούτε πρόκειται να υπάρξει.

6.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Ο αλγόριθμος θα μπορούσε να επεκταθεί, έτσι ώστε να προτείνει και βέλτιστη τιμή πώλησης των παραγωγών στο σύστημα, να προσδιορίζει την οριακή τιμή που προκύπτει και να το ενσωματώνει στο δικό μας μοντέλο. Επίσης, η εύρεση των δεδομένων που λείπουν, η βελτίωση τις μεθόδου επιλογής παραμέτρων και η προσθήκη market segmentation θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πιο ακριβή αποτελέσματα.

7

Βιβλιογραφία

5. Οικονομικό ρεύμα (τύπου Γ1) για την κατοικία | Volterra ΑΕ. (n.d.). Retrieved from <https://www.volterra.gr/gia-to-spiti/volterra-home-v1/>
6. Home Energy Plus. (n.d.). Retrieved from <https://www.watt-volt.gr/electricity/home-products/home-energy-programs/home-energy-plus/>
7. Home Energy Plus. (n.d.). Retrieved from http://www.heron.gr/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=45&Itemid=171&lang=gr
8. GREEN Home. (n.d.). Retrieved from <https://green.com.gr/gr/services/green-home>
9. Home Energy Night. (n.d.). Retrieved from <https://www.watt-volt.gr/electricity/home-products/home-energy-programs/home-energy-night/>
10. Protergia Οικιακό Ν. (2018, April 27). Retrieved from <https://www.protergia.gr/el/content/protergia-oikiako-n>
11. (n.d.). Retrieved from <https://www.elpedison.gr/gr/gia-to-spiti-sas/reuma-gia-to-spiti-sas/electricityhome/>
12. ΗΡΩΝ. (n.d.). Πρόγραμμα Home 1N. Retrieved from http://www.heron.gr/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=46&Itemid=181&lang=gr
13. Προγράμματα ηλεκτρικής ενέργειας για την κατοικία. (n.d.). Retrieved from <https://nrgprovider.com/programmata/idiotes>
14. User, S. (n.d.). Αρχική. Retrieved from <https://www.epts.gr/index.php/el/υπηρεσιες/ηλεκτρικο-ρευμα/για-το-σπιτι.html>
19. Dai, Y., & Gao, Y. (2015). Real-Time Pricing Decision Based on Leader-Follower Game in Smart Grid. *Journal of Systems Science and Information*, 3(4). doi:10.1515/jssi-2015-0348
20. Dai, Y., & Gao, Y. (2015). Real-time pricing decision-making in smart grid with multi-type users and multi-type power sources. *Systems Engineering-Theory and Practice*, 35(9), 2315-2323.

21. Chen, C., Kishore, S., & Snyder, L. V. (2011). An innovative RTP-based residential power scheduling scheme for smart grids. *2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. doi:10.1109/icassp.2011.5947718
22. Dai, Y., & Gao, Y. (2014). Real-time pricing strategy with multi-retailers based on demand-side management for the smart grid. *Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering*, 34(25), 4244-4249.
23. Chen, J., Yang, B., & Guan, X. (2012). Optimal demand response scheduling with Stackelberg game approach under load uncertainty for smart grid. *2012 IEEE Third International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*. doi:10.1109/smartgridcomm.2012.6486042
24. Maharjan, S., Zhu, Q., Zhang, Y., Gjessing, S., & Basar, T. (2013). Dependable Demand Response Management in the Smart Grid: A Stackelberg Game Approach. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(1), 120-132. doi:10.1109/tsg.2012.2223766
25. Chai, B., Chen, J., Yang, Z., & Zhang, Y. (2014). Demand Response Management With Multiple Utility Companies: A Two-Level Game Approach. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(2), 722-731. doi:10.1109/tsg.2013.2295024
26. Dai, Y., Gao, Y., Gao, H., & Zhu, H. (2017). Real-time pricing scheme based on Stackelberg game in smart grid with multiple power retailers. *Neurocomputing*, 260, 149-156. doi:10.1016/j.neucom.2017.04.027
30. R. (n.d.). Robjhyndman/MEFM-package. Retrieved from <https://github.com/robjhyndman/MEFM-package>
31. HELLENIC STATISTICAL AUTHORITY (2018). GREECE IN FIGURES January - March 2018. Retrieved from http://www.statistics.gr/documents/20181/1515741/GreeceInFigures_2018Q1_EN.pdf/e90e9c60-ed92-40a7-a1e0-9a58d542d596
32. Horton, M. (2018, January 29). What are the disadvantages of using a simple random sample to approximate a larger population? Retrieved from <https://www.investopedia.com/ask/answers/042815/what-are-disadvantages-using-simple-random-sample-approximate-larger-population.asp>
33. Fan, S., & Hyndman, R. J. (2011). The price elasticity of electricity demand in South Australia. *Energy Policy*, 39(6), 3709-3719. doi:10.1016/j.enpol.2011.03.080
34. Καλώς ήλθατε. (n.d.). Retrieved from <http://www.admie.gr/>
35. Hyperparameter optimization. (2018, July 10). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperparameter_optimization
36. 7 Evaluating predictive accuracy - univie.ac.at. (n.d.). Retrieved from http://www.bing.com/cr?IG=ACB7E43308564BDB88399AAFDAFBCD58&CID=218CD90139F06AA7128CD529380D6B80&rd=1&h=JVWOtPF20CtM2rfVwaRJKRmCNkwX0hliMmjCotV_nvs&v=1&r=http://homepage.univie.ac.at/robert.kunst/prognos7.pdf&p=DevEx.LB.1,5489.1
37. Υψηλότερο το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη της ΔΕΗ, σύμφωνα με μελέτη, ΑΠΕ-ΜΠΕ | Kathimerini. (n.d.). Retrieved from <http://www.kathimerini.gr/770217/article/oikonomia/epixeirhseis/yyhlotero-to-kostos-paragwghs-hlektrikh-s-energeias-apo-lignith-ths-deh-symfwna-me-meleth>
38. Curse of dimensionality. (2018, July 03). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Curse_of_dimensionality

39. Embarrassingly parallel. (2018, July 03). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Embarrassingly_parallel
40. Tyralis, H., Karakatsanis, G., Tzouka, K., & Mamassis, N. (2017). Exploratory data analysis of the electrical energy demand in the time domain in Greece. *Energy*, *134*, 902-918. doi:10.1016/j.energy.2017.06.074
41. Tyralis, H., Karakatsanis, G., Tzouka, K., & Mamassis, N. (2017). Data and code for the exploratory data analysis of the electrical energy demand in the time domain in Greece. *Data in Brief*, *13*, 700-702. doi:10.1016/j.dib.2017.06.033
42. Hellenic National Meteorological Service Climatology – Applications Division (2017). SIGNIFICANT WEATHER and CLIMATIC EVENTS in GREECE. Retrieved from http://www.hnms.gr/emv/en/pdf/2016_GRsignificantEVENT_en.pdf
43. E. (n.d.). Retrieved from <http://www.hnms.gr/emv/el/>
44. ΔΕΗ Α.Ε. (n.d.). Retrieved from <https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/omilos-dei-ae/dei-ae>
45. Παραγωγή. (n.d.). Retrieved from <https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/tomeis-drastiriotitas/paragwgi>
46. ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (2018). ΜΗΝΙΑΙΟ ΔΕΛΤΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2018. Retrieved from http://www.admie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/Monthly_Energy_Reports/Energy_Report_201710_v1.pdf
47. Προφίλ. (2018, June 05). Retrieved from <https://www.protergia.gr/el/content/profil-etairias>
48. Δείτε το Εταιρικό Προφίλ της εταιρείας ηλεκτρικής ενέργειας | Volterra AE. (n.d.). Retrieved from <https://www.volterra.gr/h-etaireia/>
49. Ποιοι Είμαστε. (n.d.). Retrieved from <https://www.elpedison.gr/gr/o-omilos/poioi-eimaste/>
50. Παραγωγή Ενέργειας. (n.d.). Retrieved from <https://www.elpedison.gr/gr/o-omilos/epiheirimatikes-drastiriotites/paragogi-energeias/>
51. Nrg - Ποιοι είμαστε! (n.d.). Retrieved from <https://nrgprovider.com/etaireia-revmatos>
52. (n.d.). Retrieved from http://www.rae.gr/site/en_US/categories/electricity/market/wholesale/intro.csp
53. ΗΡΩΝ. (n.d.). Ο Όμιλος ΗΡΩΝ. Retrieved from http://www.heron.gr/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=159&Itemid=367&lang=gr
54. Η Εταιρεία. (n.d.). Retrieved from <https://www.watt-volt.gr/company/>
55. Ωράριο. (n.d.). Retrieved from <https://www.dei.gr/el/oikiakoi-pelates/timologia/oikiako-timologio-me-xronoxrewsi-oikiako-nuxterino/wrario>
56. Σ Ν. (n.d.). ΕΛΣΤΑΤ: Κάτω από το όριο της φτώχειας το 21,4 % των Ελλήνων. Retrieved from <http://www.kathimerini.gr/864673/article/oikonomia/ellhnikh-oikonomia/elstat-katw-apo-to-orio-ths-ftwxeias-to-214--twn-ellhnwn>

57. Θεώρημα κεντρικού ορίου. (2018, June 30). Retrieved from https://el.wikipedia.org/wiki/Θεώρημα_κεντρικού_ορίου
58. (n.d.). Retrieved from http://www.rae.gr/site/en_US/categories/electricity/market/wholesale/intro.csp
60. Capital.gr. (2016, September 28). ΔΕΗ: Υποχώρησαν έσοδα και κέρδη. Retrieved from <http://www.capital.gr/epixeiriseis/3157582/dei-upoxorisan-esoda-kai-kerdi>
61. Protergia: Ισχυρή ανάπτυξη μεγεθών το 2016. (n.d.). Retrieved from <http://www.businessnews.gr/article/75037/protergia-ishyri-anaptyxi-megethon-2016>
62. VOLTERRA: Αύξηση πωλήσεων 64,8% το 2016. (n.d.). Retrieved from <http://www.businessnews.gr/article/83603/volterra-ayxisi-poliseon-648-2016>
63. *ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ για τη χρήση που έληξε 31 Δεκεμβρίου 2016 σύμφωνα με τα Διεθνή Πρότυπα Χρηματοοικονομικής Αναφοράς («ΔΠΧΑ»)* [PDF]. (2017, March 22). Athens: ELPEDISON.
64. *ΙΣΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ 31ης ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2016 8η ΕΤΑΙΡΙΚΗ ΧΡΗΣΗ (1 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2016 - 31 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2016)* [PDF]. (n.d.). NRG TRADING HOUSE ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΕ.
65. ΗΡΩΝ. (n.d.). Οικονομικά στοιχεία 2016. Retrieved from http://www.heron.gr/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=130&Itemid=163&lang=gr
66. WATT AND VOLT ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. (n.d.). Retrieved from <https://opencorporates.com/companies/gr/008128501000>
67. Ελληνική Στατιστική Αρχή. (n.d.). Retrieved from <http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/2011>
68. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ (2015). ΕΛΛΑΣ με αριθμούς Ιούλιος - Σεπτέμβριος 2015. Retrieved from https://www.statistics.gr/documents/20181/300673/GreeceInFigures_2015Q3_GR.pdf/e0897735-44e7-4d40-aff5-79f14317f7e2.
69. Νικήτας, &. (2018, March 16). Το 51,6% των νέων Ελλήνων μένει ακόμα με τους γονείς του. Retrieved from <http://www.news247.gr/kosmos/to-51-6-ton-neon-ellinon-menei-akoma-me-toys-goneis-toy.6248986.html>
70. Your key to European statistics. (n.d.). Retrieved from http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/ilc_lvps08
72. SEVAİOĞLU , O (2005). Marginal Cost in Electricity Markets . Retrieved from http://ocw.metu.edu.tr/pluginfile.php/3885/mod_resource/content/0/marginal_cost_in_electricity_markets.pdf
73. Non-cooperative game theory. (2018, July 03). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Non-cooperative_game_theory
74. Evolutionary game theory. (2018, July 10). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Evolutionary_game_theory

75. Maloney, M. T. (2001). Economies and Diseconomies: Estimating Electricity Cost Functions. *Review of Industrial Organization*, 19(2), 165-180. Retrieved August 28, 2016, from <http://www.jstor.org/stable/41799036>
76. List of countries by electricity production. (2018, July 08). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_electricity_production
77. Cournot's Duopoly Model (With Diagram). (2015, August 11). Retrieved from <http://www.economicdiscussion.net/oligopoly/cournots-duopoly-model-with-diagram/5452>
78. Cournot competition. (2018, July 03). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Cournot_competition
79. Bertrand competition. (2018, July 03). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Bertrand_competition
80. Bertrand–Edgeworth model. (2018, July 03). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Bertrand–Edgeworth_model
81. Oligopoly - Kinked Demand Curve | tutor2u Economics. (n.d.). Retrieved from <https://www.tutor2u.net/economics/reference/oligopoly-kinked-demand-curve>
82. Oligopoly: List of Oligopoly Models | Markets | Microeconomics. (2017, August 09). Retrieved from <http://www.microeconomicsnotes.com/market-2/oligopoly/oligopoly-list-of-oligopoly-models-markets-microeconomics/13369>
83. Varian, H. R. (2003). *Intermediate microeconomics: A modern approach*. New York: W.W. Norton & Company.
84. Game theory. (2018, July 10). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Game_theory
85. Stackelberg competition. (2018, July 03). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Stackelberg_competition
86. Decision tree. (2018, July 03). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_tree
88. Rebelein R. When Do First-Movers Have an Advantage?. A Stackelberg Classroom Experiment. Retrieved from http://irving.vassar.edu/faculty/rr/Research/RebeleinTurkay_IO_ClassroomExperiment.pdf
89. Electricity. (2018, July 10). Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Electricity>
90. Electric power industry. (2018, July 10). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power_industry
92. ΠΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. (n.d.). Retrieved from http://www.rae.gr/site/categories_new/about_rae/intro.csp
93. Ρυθμιστικό Πλαίσιο. (n.d.). Retrieved from <https://www.deddie.gr/el/i-etairaia/ruthmistiko-plaisio>
94. Greece, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. (n.d.). *Διαρθρωτικά μέτρα για την πρόσβαση στον λιγνίτη και το περαιτέρω άνοιγμα της χονδρεμπορικής αγοράς ηλεκτρισμού*. Retrieved from http://media.enikonomia.gr/data/files/185952_f59146e079-8307ecc37ab72333.pdf
95. (n.d.). Retrieved from <http://www.lagie.gr/etaireia/skopos-armodiotites/>

96. Νόμος 4533/2018 (ΦΕΚ Α'/75/27.04.2018). (n.d.). Retrieved from <https://www.district-energy.gr/download/νόμος-4533-2018-φεκ-α-75/>

97. eurelectric (2007). Dynamic pricing in electricity supply. Retrieved from https://cdn.eurelectric.org/media/2113/dynamic_pricing_in_electricity_supply-2017-2520-0003-01-e-h-7FE49D01.pdf

98. Frequently Asked Questions: Real-Time Pricing. (n.d.). Retrieved from http://galvinpower.org/power-consumers/act/real-time-illinois/faq#What_is_real-time_electricity_pricing_

99. ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (2017). ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2017 – 2027. Retrieved from http://www.admie.gr/fileadmin/groups/EDAS_DSS/AnaptixiSistimatos/Meleti_eparkeias_2017_2027.pdf

8

Παρουσίαση Κώδικα

Η αναλυτική παρουσίαση του συνόλου του κώδικα είναι πρακτικά ανέφικτη, καθώς χρησιμοποιήθηκαν 32 διαφορετικά προγράμματα σε C (ένα για κάθε σενάριο) και 8 προγράμματα σε Python (ένα για τη βελτιστοποίηση παραμέτρων στο απλό εξαμηνιαίο μοντέλο, ένα για το σύνθετο εξαμηνιαίο, ένα για το απλό ωριαίο ώρας 1, ένα για το σύνθετο ωριαίο ώρας 2 και τα εναπομείναντα τέσσερα για τα μοντέλα των ωρών 2 και 3). Επειδή όμως τα προγράμματα είναι αρκετά όμοια μεταξύ τους και οι διαφορές ελάχιστες, κρίθηκε πως ήταν επαρκές να παρουσιαστεί μόνο ο κώδικας του απλού εξαμηνιαίου μοντέλου σε C και Python. Επισημαίνεται πως το πρόγραμμα Python που παρατίθεται δέχεται δεδομένα μόνο ενός έτους και πως έχει γραφεί σε έκδοση 2.7.

8.1 Κώδικας C

```
#include<stdio.h>
```

```
#include<stdlib.h>
```

```
#include<math.h>
```

```
float price[] = {0.0, 0.083, 0.083, 0.084,0.084, 0.084, 0.085, 0.089, 0.086, 0.090, 0.090,  
0.092, 0.15}; //initialize prices
```

```
long long int Power[] = {0,75, 75, 100, 100, 100, 250,582, 200, 820, 201, 1200, 12760};  
//initialize production capacity
```

```
// { random, random, random, random, random, random, Volt&Vatt, heron, nrg, elpedison,  
voltera, protergia, ppc }
```



```

float copypr[13] = {0};

double income[13]={0}; // income of companies

int gf=0; // checks if any company modified price

float pmax[] = {0.0, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15 };

float pmin= 0.05;

```

```

int calc_fut(int j) //calculate net utility for company j

```

```

{

long long int i;

double val,temp;

val = n * a * 1000 * (dem/n) * (dem/n) ;

if(Power[j]>= tempD[j])

{

val = val * 0.5 ;

}

else

{

temp = Power[j] / tempD[j];

val = val * ( temp - 0.5 * temp * temp);

}

fut[j] = val;

return(0);

}

```

```

int calc_fut_av() // calculate average net utility

```

```

{

```

```

int i;

fut_av = 0;

for(i=1;i<=k;i++)

{

fut_av = fut_av + fut[i]*pr[i];

}

return(0);

}

```

int calc_D(int j) // calculate hourly demand of comany j

```

{

long long int i;

tempD[j] = pr[j]*dem ;

return(0);

}

```

int calc_q(int j,double q) // calculate qij for particular hour

```

{

long long int i;

double up,down;

double bb ;

b = a * q + Pavg ;

up = (b-0.05)/a ; // get qmax

down = (b - 0.15)/a ; // get qmin

if ( ((b-price[j])/a) < down )

{

```

```

dem = down;

}

if ( ( ((b-price[j])/a)>=down )&& ( ((b-price[j])/a) < up ))

{

dem = (b-price[j])/a ;

}

if( ((b-price[j])/a) >=up )

{

dem = up ;

}

return(0);

}

```

```

int update_pr() // update probabilities for current hour

```

```

{

int i;

for(i=1;i<=k;i++)

{

pr[i] = pr[i] + sigma * pr[i] *(fut[i] - fut_av);

}

}

```

```

int check1() // check if evolutionary process converges for this hour

```

```

{

int i;

i=1;

```

```

while(i<=k)
{
if(fut[i]-fut_av - e>0 )
{
return(0);
}
else
i++;
}
return(1);
}

```

int alg1(double q) // run evolutionary process of customers for this particular hour

```

{
long long int i,j,s;
int flag;
int nothing;
s=1; // count number of generations
flag=0;
while(flag==0)
{
for(j=1;j<=k;j++)
{
nothing=calc_q(j,q); // calculate qij
nothing=calc_D(j); // calculate D
nothing=calc_fut(j); // calculate net utility

```

```

}

nothing=calc_fut_av(); // calculate average net utility

nothing=update_pr();

flag=check1();

s++;

if(s>500) // addition made in order to improve run time

return(0);

}

return(0);

}

```

```

int alg11() // run evolutionary process for all hours

```

```

{

int i,nothing,j;

for(j=1;j<=k;j++) // initialize everything

{

D[j]=0;

G[j]=0;

pr[j] = prr[j];

tempD[j]=0;

}

for(i=1;i<=4368;i++)

{

a = 1.0 / z[i] ; //get a for each hour

Pavg = w[i]; // get Pavg for each hour

nothing= alg1(or_data[i]); // get results of each hour

```

```

for(j=1;j<=k;j++)
{
D[j]=D[j]+ tempD[j]; // update total demand of each company
if( tempD[j]<= Power[j]) // update total sold quantity for each company
G[j] = G[j] + tempD[j];
else
G[j] = G[j] + Power[j];
}
for(j=1;j<=k;j++) // initialize probabilities again
{
pr[j] = prr[j];
}
}
/* for(i=1;i<=k;i++)
{
income[i] = price[i] * G[i];
printf("%lf",income[i]);
printf("\n");
}
system("PAUSE"); */
/* double tot = 0.0 ;
double ms = 0.0 ;
for(i=1;i<=k;i++)
{
tot = tot + D[i];
}

```

```

for(i=1;i<=k;i++)
{
ms = D[i]/tot;
printf("%lf",ms);
printf("\n");
}
system("PAUSE"); */

// The above code lines can be used to print the initial income and market share

return(0);
}

```

double predict(double pri, int j) // companies predict what will happen in each of the 3 cases

```

{
int i ,nothing;
double res,tp;
tp = price[j];
price[j] = pri ;
for(i=1;i<=k;i++) // create copies of original data
{
copyD[i]=D[i];
copyG[i] = G[i];
copytempD[i]= tempD[i];
copyfut[i] = fut[i];
copypr[i] = pr[i] ;
}
nothing= alg11(); // run evolutionary process

```



```

res = G[j];

for(i=1;i<=k;i++) // regain original values
{
D[i]= copyD[i];
G[i] = copyG[i];
tempD[i] = copytempD[i];
fut[i] = copyfut[i] ;
pr[i] = copypr[i] ;
}

price[j] = tp;

return(res);
}

```

```

int update_price() // update prices

```

```

{
gf=1;

double val0,val1,val2, tv ;

double val00 ;

double h,l , hv, lv , mv ;

int i;

for(i=1;i<=k;i++)

{

printf("%lf",price[i]);

printf(" ");

hv = price[i] + 0.001 ;

if(hv> pmax[i])

```

```

hv = pmax[i] ;

lv = price[i] - 0.001 ;

if(lv < pmin)

lv = pmin ;

mv = price[i];

val00 = predict( mv , i ) ;

val0 = (val00/1000) * price[i] ;

val1 = predict( hv , i ) ;

val2 = predict( lv , i ) ;

val1 = (val1/1000) * hv ;

val2 = (val2/1000) * lv;

if(val1>val0 && val1>val2 && hv <= pmax[i] )

{

price[i] = hv ;

flag=0;

while(flag==0)

{

val0 = val1 ;

hv = price[i] + 0.001;

val1 = predict( hv , i ) ;

val1 = (val1/1000) * hv ;

if(val1 >= val0 && hv<=pmax[i])

price[i] = hv;

else

flag=1;

}

```

```
gf=0;
}
if(val2>val0 && val2>val1 && lv >= pmin)
{
price[i] = lv ;
flag=0;
while(flag==0)
{
val0 = val2 ;
lv = price[i] - 0.001;
val2 = predict( lv , i ) ;
val2 = (val2/1000) * lv ;
if(val2 > val0 && lv <= pmin)
price[i] = lv;
else
flag=1;
}
gf=0;
}
if(val0>val1 && val0>=val2)
{
price[i] = price[i] ;
}
printf("%lf",val00);
printf(" ");
```

```
printf("%lf",val0);  
  
printf(" ");  
  
printf("%lf",hv);  
  
printf(" ");  
  
printf("%lf",lv) ;  
  
printf(" ");  
  
printf("%lf",val1);  
  
printf(" ");  
  
printf("%lf",val2);  
  
printf(" ");  
  
printf("%f",price[i]);  
  
printf("\n");  
  
}  
  
}
```

```
int main()
```

```
{  
  
long long int i,j,s;  
  
int flag;  
  
int nothing;  
  
double nothing2;  
  
FILE * f ;  
  
f = fopen( "demand_data2016.c" , "r");  
  
i = 1;  
  
fscanf (f, "%d", &nothing);
```

```
or_data[i] = nothing * 1.0 ;

while (!feof (f) && i < 4368) // get ADMIE data

{

i++;

fscanf (f, "%d", &nothing);

or_data[i] = nothing;

}

fclose (f);

f = fopen( "a.c" , "r"); // get optimal a data

i = 1;

fscanf (f, "%d", &nothing);

z[i] = nothing * 1.0 ;

while (!feof (f) && i < 4368)

{

i++;

fscanf (f, "%d", &nothing);

z[i] = nothing;

}

fclose (f);

f = fopen( "Pavg.c" , "r"); // get optimal Pavg data

i = 1;

fscanf (f, "%lf", &nothing2);

w[i] = nothing2 * 1.0 ;

while (!feof (f) && i < 4368)

{

i++;
```

```

fscanf (f, "%lf", &nothing2);

w[i] = nothing2;

}

fclose (f);

s=1;

while(gf==0) // while prices not stable,
{

nothing=alg11(); //run the evolutionary process of customers

nothing=update_price(); // update prices

for(i=1;i<=k;i++)

{

income[i]= D[i]*price[i]; //calculate income

}

s++;

printf("\n"); // print results

}

printf("%lli",s);

printf(" ");

for(j=1;j<=k;j++)

{

printf("%lf",D[j]);

printf("\n");

}

double tot = 0.0 ;

double ms = 0.0 ;

for(i=1;i<=k;i++)

```

```

{
tot = tot + D[i];
}

for(i=1;i<=k;i++)
{
ms = D[i]/tot;
printf("%lf",ms);
printf("\n");
}

for(i=1;i<=k;i++)
{
income[i] = price[i] * G[i];
printf("%lf",income[i]);
printf("\n");
}

system("PAUSE");

exit(0);
}

```

8.2 Κώδικας Python

```

import numpy as np    #install necessary libraries in cases they are missing

!pip install argparse

!pip install dill

!pip install deap

```



```
pr = [0.0 , 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05, 0.63 ]
```

```
copypr = [0.0 for i in range(13)]
```

```
pmax = 0.15
```

```
pmin = 0.05
```

```
dem=q=qn=0
```

```
a= 0.00005
```

```
Pavg = 0.09
```

```
b= 0.4014
```

```
sigma = 0.1
```

```
e = 0.05
```

```
import numbers
```

```
#open(filename,'r')
```

```
or_data[0]=0      # read demand data for current year
```

```
j=1
```

```
s=0
```

```
l=1000
```

```
fl=False
```

```
with open('data.txt') as f:
```

```
    while True:
```

```
        c = f.read(1)
```

```
        if not c:
```

```
            break
```

```
        if (c.isdigit()==False and fl==True):
```

```
            l=1000;
```

```
            or_data[j]=s
```

```
j=j+1
```

```
s=0
```

```
fl = False
```

```
if (c.isdigit()==True):
```

```
    s = s + 1*int(c)
```

```
    fl=True
```

```
    l = l/10
```

```
def restore1():      # restore values of probabilities
```

```
    global pr
```

```
    for i in range(1,k+1):
```

```
        pr[i]=pr[i]
```

```
    return 0
```

```
def restore2():      # restore values of variables
```

```
    global pr
```

```
    global D
```

```
    global tempD
```

```
    global G
```

```
    for i in range(1,k+1):
```

```
        pr[i]=pr[i]
```

```
        D[i]=0
```

```
        G[i]=0
```

```
        tempD[i]=0
```

```
        tp[i]=0
```

```
return 0
```

```
def calc_fut(j):    # calculate net utility for company j
```

```
    val = n * a * 1000 * (dem/n) * (dem/n)
```

```
    if(Power[j]>= tempD[j]):
```

```
        val = val * 0.5
```

```
    else:
```

```
        temp = Power[j] / tempD[j]
```

```
        val = val * ( temp - 0.5 * temp * temp)
```

```
    return val
```

```
def calc_fut_av(): # calculate average net utility
```

```
    fut_avv = 0
```

```
    for i in range(1,k+1):
```

```
        fut_avv = fut_avv + fut[i]*pr[i]
```

```
    return fut_avv
```

```
def calc_D(j):    # calculate total demand of company j
```

```
    tempDD = pr[j]* dem
```

```
    return tempDD
```

```
def calc_q(j,q): # calculate qij
```

```
    global b
```

```
    global a
```

```
    global Pavg
```

```

# print Pavg

# print a

b = a * q + Pavg up

= (b-0.05)/a down =

(b - 0.15)/a # bb = q

+ p1

# b = bb * a

#down = q - p2

#up = q + p3

if ( ((b-price[j])/a) < down ):

    dem = down

if ( ( ((b-price[j])/a)>=down ) and ( ((b-price[j])/a) < up ) ) :

    dem = (b-price[j])/a

if( ((b-price[j])/a) >=up ):

    dem = up

return dem

def update_pr(j): # update probabilities

    pry = pr[j] + sigma * pr[j] *(fut[j] - fut_av)

    return pry

def check1():    # check if evolutionary process converges

    i=1

    while(i<=k):

        if(fut[i]-fut_av - e>0):

```

```

        return False

    else:

        i=i+1

return True

def alg1(q):    # run evolutionary process for current hour

    s=1

    global tempD

    global fut

    global fut_av

    global pr

    global dem

    flag=False

    while(flag==False):

        for j in range(1,k+1):

            dem = calc_q(j,q)

            tempD[j] = calc_D(j)

            fut[j]=calc_fut(j)

        fut_av = calc_fut_av()

        for j in range(1,k+1):

            pr[j] = update_pr(j)

        flag=check1()

    s = s+1

    if(s>500):

        return 0

```

```
return 0
```

```
def alg11():      # run evolutionary process and optimize parameters for all hours
```

```
    global or_data
```

```
    global Power
```

```
    global D
```

```
    global tempD
```

```
    global G
```

```
    global pr
```

```
    global prr
```

```
    global tp
```

```
    global a
```

```
    global Pavg
```

```
    nothing = restore2()
```

```
    for i in range(1,4368):
```

```
        nothing = restore1()
```

```
        temp = ev(or_data[i],0.00005,0.09)
```

```
        opt1[i] = (1.0)/a
```

```
        opt2[i] = Pavg
```

```
        z=10000      # grid search for z and w
```

```
        while(z<=45000):
```

```
            w = 0.05
```

```
            while(w<=0.15):
```

```
                nothing = restore1()
```

```
                val = ev(or_data[i],(1.0/z) ,w)
```

```

    if(val<temp):

        temp=val

        opt1[i] = z

        opt2[i] = w

        w = w + 0.01

    z = z + 5000

nothing = restore1()

a = (1.0)/opt1[i]

Pavg = opt2[i]

#print opt1[i]

#print opt2[i]

nothing= alg1(or_data[i])

print i

for j in range(1,k+1):

    D[j]=D[j]+ tempD[j]

    tp[j]= tp[j] + pr[j]

    if( tempD[j]<= Power[j]) :

        G[j] = G[j] + tempD[j]

    else:

        G[j] = G[j] + Power[j]

for j in range(1,k+1):

    pr[j] = prr[j]

return 0

```

```

def ev(q,z,y): # define fitness function

    global a

    global Pavg

    a = z

    Pavg = y

    nothing = alg1(q)

    global tempD

    x = [0.0 for i in range(13)]

    xx = [0.0 for i in range(13)]

    yy = [0.004 , 0.004, 0.004, 0.006, 0.006, 0.015, 0.035, 0.01, 0.035, 0.01, 0.035, 0.836]

    tot=0

    for j in range(1,k+1):

        tot = tot + tempD[j]

    for j in range(1,k+1):

        ms = tempD[j]/tot

        xx[j-1] = ms

    val = 0

    for j in range(0,k):

        if xx[j]>yy[j]:

            x[j] = xx[j]/yy[j] - 1

        else:

            x[j] = yy[j]/xx[j] - 1

    for i in range(0,12):

        val = val + x[i]*x[i]

    return(val)

```



```

nothing = alg11() # optimize everything

tot=0

for j in range(1,k+1):

    tot = tot + D[j]

for j in range(1,k+1):

    ms = D[j]/tot

    print ms

def alg3():      # second part of optimization

    global or_data

    global Power

    global D

    global tempD

    global G

    global pr

    global prr

    global tp

    global a

    global Pavg

    nothing = restore2()

    for i in range(1,4368):

        nothing = restore1()

        temp = ev(or_data[i],opt1[i],opt2[i])

        low1 = opt1[i] - 5000

        high1 = opt1[i] + 5000

```

```

low2 = opt2[i] - 0.005

high2 = opt2[i] + 0.005

z = low1

while(z<=high1):

    w = low2

    while(w<=high2):

        nothing = restore1()

        val = ev(or_data[i],(1.0/z),w)

        if(val<temp):

            temp=val

            opt1[i] = z

            opt2[i] = w

            w = w + 0.001

        z = z + 1000

    nothing = restore1()

    a = (1.0)/opt1[i]

    Pavg = opt2[i]

    nothing= alg1(or_data[i])

    print i

    for j in range(1,k+1):

        D[j]=D[j]+ tempD[j]

        tp[j]= tp[j] + pr[j]

        if( tempD[j]<= Power[j]) :

            G[j] = G[j] + tempD[j]

        else:

```

```

        G[j] = G[j] + Power[j]

    for j in range(1,k+1):

        pr[j] = pr[j]

    return 0

nothing = alg3()    # optimize everything again

tot=0

for j in range(1,k+1):

    tot = tot + D[j]

for j in range(1,k+1):

    ms = D[j]/tot

    print ms

text_file = open("a1", "w+")    # store optimal a to file

for i in range(1,87):

    for j in range(1,25):

        text_file.write(str(opt1[(i-1)*24+j]))

        text_file.write(" ")

    text_file.write("\n")

i = 87

for j in range (1,24):

    text_file.write(str(opt1[(i-1)*24+j]))

    text_file.write(" ")

```

```

j=24

text_file.write(str(opt1[(i-3)*24+j]))

text_file.write(" ")

text_file.write("\n")

for i in range(88,183):

    for j in range(1,25):

        text_file.write(str(opt1[(i-1)*24+j - 1]))

        text_file.write(" ")

    text_file.write("\n")

text_file.close()

text_file = open("Pavg2", "w+") # store optimal Pavg to file

for i in range(1,87):

    for j in range(1,25):

        text_file.write(str(opt2[(i-1)*24+j]))

        text_file.write(" ")

    text_file.write("\n")

i = 87

for j in range (1,24):

    text_file.write(str(opt2[(i-1)*24+j]))

    text_file.write(" ")

j=24

text_file.write(str(opt2[(i-3)*24+j]))

text_file.write(" ")

text_file.write("\n")

```