



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ, ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

**Προσαρμοστικά Παίγνια σε Απελευθερωμένη Αγορά Ενέργειας
με χρήση μαθησιακού αλγορίθμου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Ι. Ηλιόπουλος

Επιβλέπων: Γεώργιος Π. Παπαβασιλόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ, ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

Προσαρμοστικά Παίγνια σε Απελευθερωμένη Αγορά Ενέργειας
με χρήση μαθησιακού αλγορίθμου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδρέας Ι. Ηλιόπουλος

Επιβλέπων: Γεώργιος Π. Παπαβασιλόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 7^η Σεπτεμβρίου 2010.

.....
Γεώργιος Παπαβασιλόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Κωνσταντίνος Βουρνάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2010

.....
Ανδρέας Ι. Ηλιόπουλος

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

Copyright © Ανδρέας Ι. Ηλιόπουλος, 2010.

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 το συγγραφέα.

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

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μίας μεθόδου καθορισμού νέας τιμής που θα στηρίζεται στη θεωρία προσαρμοστικών παιγνίων και θα χρησιμοποιηθεί από παίκτες σε μια απελευθερωμένη αγορά ενέργειας με σκοπό να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους. Με πρόσφατες τις αποφάσεις για απελευθέρωση και ενοποίηση των αγορών ενέργειας και εν' όψιν της πλήρους απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας στον Ελλαδικό χώρο, αποκτά ιδιαίτερη σημασία για τους παραγωγούς η απόκτηση συγκριτικών πλεονεκτημάτων έναντι των ανταγωνιστών τους ώστε να επιβληθούν σε ποσοστά αγοράς αλλά και σε συνολικά κέρδη.

Με δεδομένο ότι ο διαχειριστής του ηλεκτρικού συστήματος αντιμετωπίζει αντικειμενικά τους παίκτες, η προσπάθεια για την διασφάλιση αυξημένου μεριδίου αγοράς θα πρέπει να επικεντρωθεί στον τρόπο που καταστρώνονται οι επόμενες υπό κατάθεση τιμές. Εργασίες που έχουν προηγηθεί χρονικά χρησιμοποίησαν στοχαστικούς μαθησιακούς αλγορίθμους για να ανταπεξέλθουν στα συστήματα.

Από την πλευρά μας υιοθετούμε έναν ντετερμινιστικό μαθησιακό αλγόριθμο που θα στηρίζεται σε προηγούμενες καταστάσεις ισορροπίας του συστήματος, στην προσπάθειά μας να παρακολουθήσουμε την τάση της αγοράς. Λαμβάνοντας σταθμισμένα υπόψιν τις τρεις τελευταίες τιμές ισορροπίας δημιουργούμε την νέα τιμή που θα κατατεθεί στον επόμενο γύρο διπλής δημοπρασίας.

Την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου αλγορίθμου θα την πιστοποιήσουμε μέσα από μία σειρά προσομοιώσεων που θα αναπαριστούν όσο το δυνατόν περισσότερα και γενικότερα συστήματα. Έτσι θα εξετάσουμε τι συμβαίνει όταν η συνολική ζήτηση παραμένει σταθερή ή μεταβάλλεται ανάλογα με το επίπεδο τιμών της αγοράς. Επίσης θα μελετήσουμε τα αποτελέσματα διαφόρων τρόπων απόδοσης κερδών καθώς και τις οριακές καταστάσεις που φτάνει το σύστημα. Επιδίωξη είναι τα κέρδη τα οποία σημειώνουν οι παίκτες που ακολουθούν τη δική μας μέθοδο να είναι μεγαλύτερα σε σχέση με αυτά που καταγράφει ένας παραγωγός που δεν μεταβάλλει την τιμή του.

Η επιτυχία στις προσομοιώσεις ανοίγει τον δρόμο για την μελέτη του προτεινόμενου αλγορίθμου σε πιο περίπλοκα συστήματα καθώς και την χρησιμοποίησή του σε πραγματικές αγορές.

Λέξεις Κλειδιά: Απελευθέρωση αγοράς ενέργειας, μαθησιακός αλγόριθμος, καθορισμός νέων τιμών, προσαρμοστικά παίγνια.

Abstract

The purpose of this diploma thesis is the development of a method to form a new price that will be used by players in a deregulated power market in order to maximize their profits. With the recent decisions for the deregulation and unification of power markets and while expecting the total deregulation in Greece, it is of special importance for the producers to gain advantages over their competitors, so as to be imposed concerning the market percentages and the total profits.

Taken for granted that the electrical system ISO will treat objectively the players, they try to guarantee a larger part of the market will be focused on the way that the next prices will be formed. Papers that have already been published used stochastic learning algorithms so as to cope with the systems.

We will adopt a deterministic learning algorithm, based on previous system's balanced situations, while trying to follow the tendency of the market. Using the three previous balanced prices weighted, we develop the new price that will be used in the system's next double auction round.

The effectiveness of the proposed algorithm will be certified through a series of simulations that will represent as many as possible different and general systems. This way we will examine what happens when the total request for energy is fixed or if it is adjustable, according to the market's price level. Moreover we will study the results of different ways to attribute the profits and the marginal situations the system can reach. For the players using our method, we expect higher profits than those of a producer that would not adjust his price.

The success over the simulations permits the test of the recommended algorithm over more complicated systems as well as on real markets.

Keywords: Deregulated power market, learning algorithm, form new prices, adaptive games.

Ευχαριστίες

Εκφράζω τις ολόθερμες ευχαριστίες μου προς τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Γιώργο Π. Παπαβασιλόπουλο για την καθοδήγησή του και την αμέριστη βοήθειά του σε όλη τη φάση της δημιουργίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Οι γνώσεις και η στήριξή του ήταν πολύτιμες από το πρώιμο στάδιο της επιλογής του θέματος μέχρι και την ολοκλήρωση της συγγραφής.

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
2	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΟ ΙΔΙΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ	15
3	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	19
3.1	ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	19
3.2	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ.....	20
3.2.1	Κόστος Παραγωγής.....	20
3.2.2	Δυναμικότητα Παραγωγής.....	21
3.3	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ.....	22
3.4	ΤΙΜΕΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΗ.....	23
3.5	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ (ΔΙΠΛΗ ΔΗΜΟΠΡΑΣΙΑ).....	24
3.5.1	Υπολογισμός Τιμής Ισορροπίας.....	24
3.5.2	Καθορισμός Μεριδίων Αγοράς.....	30
3.6	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΤΙΜΗΣ.....	31
3.7	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΑΙΓΝΙΟΥ.....	35
3.8	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	36
4	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	37
4.1	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ I (Γενική Περίπτωση).....	37
4.2	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ II (Διαφορετική Τιμολόγηση).....	45
4.3	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ III (Μεταβλητή Ζήτηση).....	50
4.4	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ IV (Αλλαγή Προσαρμογής).....	58
4.5	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ V (Αλλαγή Σύνθεσης Αγοράς).....	65
4.6	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ VI (Διαφοροποίηση Αλγορίθμου).....	74
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ	82
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	85
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	90

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε μια πλήρως παγκοσμιοποιημένη αγορά, όπως δομείται με τις διακρατικές συμφωνίες και την ελεύθερη διακίνηση του κεφαλαίου, τα μέχρι πρότινος παγιωμένα τμήματα της οικονομίας αποκτούν μια έντονη δυναμική μορφή. Η είσοδος νέων επιχειρήσεων ή και ομίλων εταιρειών σε τμήματα της αγοράς αναδιανέμει τα ποσοστά και υποχρεώνει όλους τους εμπλεκόμενους να αξιολογήσουν και να επανακαθορίσουν την στρατηγική τους αν αυτό κριθεί αναγκαίο.

Στην πλειοψηφία των οικονομικών δραστηριοτήτων αναφερόμαστε σε ελεύθερες αγορές στις οποίες ο καθένας έχει δικαίωμα εισόδου, εφόσον ανταποκρίνονται στις ελάχιστες προϋποθέσεις που το κράτος θέτει για την διασφάλιση των συμφερόντων των καταναλωτών. Η είσοδος και η έξοδος από τέτοιου είδους αγορές μπορεί να πραγματοποιηθεί ανά πάσα στιγμή, πάντα τηρουμένων των αντίστοιχων κανονισμών, και είναι άμεσα συνυφασμένη με τα κέρδη ή τις ζημιές που παρατηρούνται.

Από την άλλη πλευρά υπάρχουν τομείς στους οποίους δεν επιτρέπεται η ιδιωτική πρωτοβουλία και η ύπαρξη και λειτουργία τους ελέγχεται πλήρως από το κράτος. Τέτοιου είδους μονοπώλια διατηρούνται λόγω της νευραλγικής τους σημασίας για την ομαλότητα και την ασφάλεια του κράτους, αλλά και επειδή η χρήση τους από δημόσιες επιχειρήσεις εξασφαλίζουν πολύ υψηλά κέρδη για το κράτος.

Η νέα αντίληψη που έχει επικρατήσει τις τελευταίες δεκαετίες όσον αφορά την διαχείριση των οικονομικών από την πλευρά του κράτους, έχει οδηγήσει τις περισσότερες χώρες σε αποκρατικοποιήσεις και απελευθέρωση αγορών που αποτελούσαν αποκλειστική υπόθεση του κράτους.

Η απελευθέρωση της αγοράς του τουρισμού, των ακτοπλοϊκών και υπεραστικών μεταφορών καθώς και το άνοιγμα κλειστών επαγγελματιών δείχνουν τη νέα κατεύθυνση κίνησης της εγχώριας οικονομίας. Ριζική τομή και χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτέλεσε η στρατηγικής σημασίας απόφαση για την απελευθέρωση της αγοράς των τηλεπικοινωνιών. Η μονοπωλιακή λειτουργία του ΟΤΕ είτε ως αποκλειστικά κρατικός οργανισμός ή υπό καθεστώς συνιδιοκτησίας με ιδιώτες έλαβε τέλος (νόμος 2867/2000) και πολύ σύντομα είδαμε δύο ομίλους να εισέρχονται δυναμικά στην αγορά.

Τα αποτελέσματα ήταν άμεσα και ιδιαίτερα θετικά όπως φαίνεται και από την εργασία του καθηγητή Ν. Λιώνη [2]:

- Πτώση των τιμών
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας
- Βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών

Τέτοιου είδους δραστικές αλλαγές έχουν λάβει χώρα στην Ε.Ε. πολύ νωρίτερα, από το 1970, όπου μετά τις απαιτούμενες τροποποιήσεις στο νομικό καθεστώς ανεπτυγμένες χώρες της ένωσης επέτρεψαν την είσοδο ιδιωτών στην αγορά της προσφοράς υπηρεσιών τηλεπικοινωνίας.

Η τάση για απελευθέρωση αγορών δε θα μπορούσε να αφήσει στο απυρόβλητο ούτε την παραγωγή και διαχείριση ενέργειας. Ο συγκεκριμένος κλάδος αποτελούσε πάγια μονοπώλιο των κρατικών επιχειρήσεων στο σύνολό του κυρίως λόγω της σπουδαιότητάς που η εύρυθμη λειτουργία του έχει για την σταθερότητα της κοινωνίας. Όμως τα τελευταία χρόνια έχει πλέον ωριμάσει η ιδέα τμήματα αυτής της αγοράς να παραδοθούν προς εκμετάλλευση στους ιδιώτες.

Από την άλλη πλευρά χώρες οι οποίες χαρακτηρίζονταν πάντα από μειωμένο κρατικό παρεμβατισμό, όπως οι Η.Π.Α. έχουν κάνει αυτές τις αλλαγές εδώ και αρκετές δεκαετίες. Ο ομο-

σπονδιακός χαρακτήρας της δομής του κράτους καθώς και οι μεγάλες αποστάσεις έχουν οδηγήσει στην παράλληλη λειτουργία πολλών μικρότερων συστημάτων σε επίπεδο πολιτειών αντί για ένα καθολικό που θα κάλυπτε το σύνολο της επικράτειας (New England ISO-NE, New York NYISO, mid-Atlantic states PJM, Midwest MISO, Southwest SPP και California CAISO [1]). Τα επιμέρους συστήματα διαχειρίζονται από τις τοπικές αρχές με γνώμονα την εξυπηρέτηση των αναγκών των πολιτών και την βιωσιμότητα των επιχειρήσεων.

Στον Ευρωπαϊκό χώρο με σαφώς πιο διστακτικά βήματα το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο προσπάθησε να ομογενοποιήσει την στάση των κρατών μελών με τελικό στόχο την δημιουργία μιας πλήρους απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας απ' άκρη σ' άκρη στα όρια της ένωσης. Αυτό φυσικά επηρέασε και την Ελλάδα όπου με την οδηγία 92/96 άνοιξε ο δρόμος για να σπάσει το μονοπώλιο της Δ.Ε.Η., με πρώτο βήμα την παροχή ενέργειας για τους βιομηχανικούς καταναλωτές.

Τροχοπέδη στην ανάπτυξη εταιριών στον συγκεκριμένο κλάδο αποτελεί το εξαιρετικά μεγάλο κόστος απόκτησης των απαραίτητων υποδομών. Το δίκτυο παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της Δ.Ε.Η. έχει αναπτυχθεί σταδιακά από το 1956 οπότε και άρχισε η δραστηριοποίηση της εταιρείας ως μονοπώλιο. Η χρηματοδότηση του συνόλου του έργου εξασφαλίστηκε σταδιακά μέσω των κρατικών προϋπολογισμών και των κερδών που εμφάνιζε η επιχείρηση. Είναι λοιπόν προφανές ότι η διάθεση ενός τόσο μεγάλου ποσού από έναν όμιλο προκειμένου να δημιουργήσει αντίστοιχου μεγέθους υποδομές για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες μιας χώρας ή έστω μιας μεγάλης περιοχής είναι πρακτικά πολύ δύσκολη επιλογή. Δεν είναι άλλωστε τυχαίο ότι στην αγορά των τηλεπικοινωνιών, μια ολόκληρη δεκαετία μετά την απελευθέρωση της το σύνολο σχεδόν των παρόχων δεν διαθέτουν ιδιόκτητο δίκτυο αλλά νοικιάζουν αυτό του Ο.Τ.Ε..

Τα αυξανόμενα περιβαλλοντικά προβλήματα που εντοπίζονται, οδήγησαν παγκόσμιους οργανισμούς σε προσανατολισμό μείωσης της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων στην παραγωγική διαδικασία και στην προσπάθεια ένταξης ευρείας κλίμακας Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η δυνατότητα που παρέχεται σε κάθε καταναλωτή, εφόσον εξασφαλίσει την άδεια από τις αρχές, να δημιουργήσει εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών (ως επί το πλείστον φωτοβολταϊκά) οδηγεί στην τοποθέτηση πολλών μικρών παραγωγών που διοχετεύουν την παραγωγή τους μέσω του δικτύου της Δ.Ε.Η. αμειβόμενοι αντίστοιχα από την επιχείρηση. Η παραγωγική ικανότητα φυσικά περιορίζεται στα λίγα KW έως μερικά MW ανά παραγωγό, όμως αν κάποιος διαχειριστεί μαζικά τις πολλές μικρές παραγωγικές μονάδες τότε μπορούμε δυνητικά να μιλήσουμε για ένα σύνολο το οποίο παράγει ενέργεια ικανή να αντικαταστήσει την Δ.Ε.Η. στα στενά όρια μιας περιοχής. Για να ολοκληρώσουμε την σύνθεση της εικόνας που δομείται σχετικά με την παραγωγή ενέργειας από ιδιώτες, πρέπει να επισημανθεί πως έχουν ξεκινήσει προγράμματα εταιριών για δημιουργία εργοστασίων με δυναμικότητα παραγωγής μερικών εκατοντάδων MW, πράγμα το οποίο θα επηρεάσει ουσιαστικά την εγχώρια αγορά ενέργειας. Η πρόβλεψη των οικονομικών αποτελεσμάτων της εγκατάστασης μικρών ανανεώσιμων μονάδων μέσα σε μια ελληνική απελευθερωμένη αγορά ενέργειας έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης διαφόρων εργασιών ([3], [4]).

Βέβαια όταν αναφερόμαστε στην απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας δεν πρέπει να περιοριζόμαστε μόνο στην παραγωγή ηλεκτρικού φορτίου. Η αγορά ενέργειας αποτελεί ένα σύνολο δραστηριοτήτων που έχουν ως αφετηρία το ηλεκτρομηχανολογικό κομμάτι της παραγωγής και τέλος την χρήση της ενέργειας από τους καταναλωτές. Το ενδιάμεσο όμως τμήμα περιλαμβάνει την αποθήκευση της παραγωγής καθώς και την διαδικασία διάθεσής της μέσω ενός δικτύου στα αστικά και μη κέντρα. Τα νομοθετικά βήματα που έχουν γίνει μέχρι του παρόντος αφορούν αποκλειστικά την παραγωγική διαδικασία και μένει να καθοριστούν και οι κανόνες σύμφωνα με τους οποίους ένας ιδιώτης θα μπορεί να δραστηριοποιηθεί και στα ενδιάμεσα κομμάτια της αγοράς. Προς αυτή την κατεύθυνση προσανατολίζεται η λειτουργία της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέρ-

γειας, η οποία προσπαθεί να οριοθετήσει και να προτείνει του κανόνες μέσα στους οποίους θα δρα ο ελεύθερος ανταγωνισμός.

Έχοντας πλέον ολοκληρώσει την σύντομη παρουσίαση της υπάρχουσας κατάστασης, θα πρέπει να περάσουμε και στο ουσιαστικό αποτέλεσμα της απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας, που δεν είναι άλλο από την δραστηριότητα που θα επιδείξουν οι πολυάριθμοι πλέον παραγωγοί. Με δεδομένο ότι εξετάζουμε δράσεις επιχειρηματιών πρώτο μέλημα των οποίων είναι η μεγιστοποίηση της κερδοφορίας τους, θα πρέπει να ασχοληθούμε με τον τρόπο που ο καθένας από αυτούς καταθέτει προσφορές στην προσπάθειά του να εξασφαλίσει το μέγιστο δυνατό μερίδιο αγοράς και κατ' επέκταση να παρουσιάσει αντίστοιχα κέρδη που θα σηματοδοτούν την σωστή λειτουργία της επιχείρησης, την βιωσιμότητά της καθώς και την ανταπόδοση των επενδυμένων κεφαλαίων των μετόχων.

Εφόσον μελετούμε αγορές που διακατέχονται από δίκαιους κανόνες αποκλειστικό κριτήριο για την επιλογή του παραγωγού θα είναι η προσφορά που αυτός καταθέτει. Έτσι το λογιστικό – αριθμητικό κομμάτι της δραστηριότητας είναι εξόχως σημαντικό. Οι προσφορές που οι παραγωγοί καταρτίζουν και καταθέτουν σε κάθε γύρο επιλογής θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν μια λογική που αντικατοπτρίζει την φιλοσοφία της επιχείρησης και επομένως θα είναι αποτέλεσμα μιας πολύ σαφώς ορισμένης διαδικασίας. Ακριβώς λόγω της κατάστασης που περιγράφηκε, το πλέον κατάλληλο εργαλείο για την μελέτη αυτών των συστημάτων είναι η θεωρία παιγνίων, συνδυασμένη όμως με τους οικονομικούς όρους που επιβάλλει η λειτουργία της επιχείρησης και κυρίως της παραγωγικής μονάδας. Παράδειγμα εργασίας με εφαρμογή παιγνίου σε αγορά με ελλιπή πληροφόρηση των τιμών είναι αυτή των Ferrero, Rivera και Shahidehpour [5].

Αυτό ακριβώς το πρόβλημα αποτελεί τον πυρήνα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να προταθεί ένας τρόπος καθορισμού της νέας υπό κατάθεση τιμής ως ο μόνος σωστός. Οι ιδιαιτερότητες που το κάθε σύστημα παρουσιάζει θα πρέπει να οδηγούν σε διαφοροποιήσεις στην αντιμετώπιση της αγοράς από πλευράς επιχείρησης. Παρ' όλα αυτά γνώμονας με τον οποίο πρέπει να επιλεγεί ένας συγκεκριμένος αλγόριθμος πρέπει να είναι η επιτυχής αντιμετώπιση του ανταγωνισμού στις περισσότερες των περιπτώσεων και αυτό ακριβώς είναι που θα αποδείξουμε ότι πετυχαίνει ένας παραγωγός με την υιοθέτηση του τρόπου που προτείνεται στο παρόν κείμενο.

2

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΟ ΙΔΙΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Ο τρόπος με τον οποίο ένας παίκτης θα καθορίσει την επόμενη τιμή που θα καταθέσει στο δίκτυο έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης σε διάφορα papers ([6]-[16]). Κύριο στοιχείο σε κάθε περίπτωση είναι ποιος θα είναι ο αλγόριθμος πρόβλεψης (learning algorithm) που θα χρησιμοποιηθεί και κατά πόσον αυτός θα μπορέσει να ανταπεξέλθει στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του συστήματος.

Η χρήση μαθησιακών αλγορίθμων θα αλλάξει την τυπική κίνηση των τιμών. Έχει αποδειχθεί πως σε συστήματα στα οποία οι ενέργειες των καταναλωτών χαρακτηρίζονται από ευαισθησία ως προς την τιμή πώλησης (όπως άλλωστε είναι τα περισσότερα υπαρκτά συστήματα) η επιλογή των παικτών να ρυθμίζουν τις τιμές τους με τη βοήθεια μαθησιακών αλγορίθμων, τελικά οδηγεί την τιμή ισορροπίας σε διαφορετικά επίπεδα από ότι αν ο καθορισμός γινόταν χωρίς τη χρήση μαθησιακού αλγορίθμου [17]. Κλειδί για αυτό αποτελεί το κόστος που παρουσιάζεται από τους παραγωγούς προς τον διαχειριστή για να δικαιολογηθεί η αύξηση της τιμής. Το συμπέρασμα αυτό έχει εφαρμογή τόσο σε αγορές με σταθερή όσο και με μεταβλητή ζήτηση.

Φυσικά σημαντικό ρόλο παίζει και αν η λειτουργία του συστήματος είναι καθαρά ντετερμινιστική ή αν διακατέχεται από αβεβαιότητα που εκφράζεται μέσω στοχαστικών πιθανοτήτων. Σε πλήρη αντίθεση με ότι θα περιγράψουμε στη συνέχεια και θα εφαρμόσουμε στα παραδείγματα που ακολουθούν, οι περισσότερες από τις εργασίες που έχουν ήδη εκπονηθεί πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο, δεν υιοθετούν έναν τρόπο που θα καθορίζει με απόλυτη σαφήνεια την μελλοντική τιμή του παίκτη. Αντίθετα ένα σύνολο τριών πιθανοτήτων δημιουργούν τρία πιθανά μονοπάτια τα οποία ο παίκτης μπορεί να ακολουθήσει. Οι τρεις αυτές πιθανότητες εκφράζουν την δυνατότητα η νέα τιμή να είναι αυξημένη σε σχέση με την προηγούμενη, μειωμένη, ή να ταυτίζεται με την προηγούμενη τιμή. Προφανώς είναι αυτονόητο πως εφόσον αυτές οι τρεις περιπτώσεις είναι οι μόνες δυνατές, το άθροισμα των πιθανοτήτων ισούται με τη μονάδα. Μαθηματικά αυτό εκφράζεται από την παρακάτω σχέση για τον παίκτη A στον γύρο i :

$$P_{i_A}^{in} + P_{i_A}^{de} + P_{i_A}^{st} = 1$$

Η ουσία της κάθε εργασίας είναι ο τρόπος με τον οποίο επιλέγεται η νέα τιμή της κάθε πιθανότητας καθώς και η δυνατότητα των διαφόρων παικτών να έχουν άλλα στοιχεία και σταθερές στην διαδικασία δημιουργίας της νέας τιμής. Για αυτό το λόγο υιοθετούνται μοντέλα τα οποία λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των γύρων του παιγνίου, με διάφορους συντελεστές στάθμισης, υπολογίζουν το νέο συνδυασμό των πιθανοτήτων.

Στην εργασία των Yu, Liu και Tesfatsion [15] χρησιμοποιήθηκε ο Q-Learning αλγόριθμος ο οποίος έχει αναπτυχθεί από τον Watkins. Το βασικό στοιχείο αυτού του αλγορίθμου είναι πως στον i -οστό γύρο ο παραγωγός αντιλαμβάνεται μια κατάσταση x του συστήματος και πραγματοποιεί μια ενέργεια a και έτσι οδηγείται στην επόμενη κατάσταση y , σημειώνοντας ένα κέρδος r .

Όταν $x=x_n$ και $a=a_n$

$$Q_n(x, a) = (1 - \alpha_n)Q_{n-1}(x, a) + \alpha_n[r_n + \mathcal{W}_{n-1}(y_n)]$$

Αλλιώς

$$Q_n(x, a) = Q_{n-1}(x, a)$$

Όπου γ ένας παράγοντας μείωσης και

$$V_{n-1}(y) \equiv \max_b \{Q_{n-1}(y, b)\}$$

Με βάση όσα προηγήθηκαν για την επόμενη μέρα (διάρκεια ενός γύρου είναι μία μέρα) με χρήση της πιθανοτικής κατανομής Gibbs/Boltzmann επιλέγεται η επόμενη ενέργεια.

$$p_D(x, a) = \frac{e^{Q(x,a)/T_D}}{\sum_{b \in AD_i} e^{Q(x,b)/T_D}}$$

Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν ότι η χρήση του αλγορίθμου οδήγησε τους παραγωγούς σε μεγαλύτερα κέρδη από ότι αν δεν εφάρμοζαν καμία αναπροσαρμογή στις τιμές.

Ακολουθώντας τον παραπάνω συλλογισμό είχαμε μια επιπλέον προσπάθεια ενσωμάτωσης μαθησιακού αλγορίθμου στη διαδικασία καθορισμού των νέων τιμών των παικτών σε μια απελευθερωμένη αγορά ενέργειας. Από τους Nicolaisen, Petron και Tesfatsion έγινε χρήση μιας τροποποίησης του learning algorithm των Roth-Erev [16]. Ο αρχικός αλγόριθμος συνδέει την έννοια της τάσης-προδιάθεσης που εξαρτάται από τα κέρδη που σημειώθηκαν στον προηγούμενο γύρο με μια πιθανότητα η οποία και τελικά θα καθορίσει την τιμή που θα θέσει στο σύστημα ο παραγωγός. Το σύνολο των εξισώσεων που διαμορφώνουν τη δράση του παίκτη είναι αυτό που ακολουθεί:

$$q_{jk}(n+1) = (1-r)q_{jk}(n) + E(j, k, k', n, K, e)$$

$$E(j, k, k', n, K, e) = \begin{cases} R(j, k', n)(1-e), & k = k' \\ R(j, k', n) \frac{e}{K-1}, & k \neq k' \end{cases}$$

$$p_{jk}(n+1) = \frac{q_{jk}(n+1)}{\sum_{m=1}^K q_{jm}(n+1)}$$

Οι παραπάνω σχέσεις αναφέρονται στο γύρο j και τελικά δίνουν την πιθανότητα της ενέργειας k με βάση τα κέρδη R .

Από τα κυριότερα χαρακτηριστικά αυτού του αλγορίθμου είναι ότι σε περίπτωση που τα κέρδη του προηγούμενου γύρου είναι μηδενικά τότε οι πιθανότητες του παίκτη δεν μεταβάλλονται. Κάτι τέτοιο θα ήταν διάτρητο σημείο σε μια απελευθερωμένη αγορά αφού το γεγονός ότι τα κέρδη ήταν μηδενικά πρακτικά σηματοδοτεί την αναγκαιότητα λήψης μέτρων επαναπροσδιορισμού της δράσης του παίκτη. Με δεδομένο λοιπόν την απραξία του αλγορίθμου σε αυτή την περίπτωση, οι συγγραφείς ανέπτυξαν μια ελαφρώς διαφοροποιημένη μέθοδο, προσαρμοσμένη στις ανάγκες της περίπτωσης του συστήματος που μελετούσαν. Αυτή η διαφοροποίηση εστιάστηκε στην τιμή της συνάρτησης E η οποία πλέον πήρε νέα μορφή:

$$ME(j, k, k', n, K, e) = \begin{cases} R(j, k', n)(1-e), & k = k' \\ q_{jk}(n) \frac{e}{K-1}, & k \neq k' \end{cases}$$

Μια αντίστοιχη προσπάθεια μελέτης μιας απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας με όρους πιθανοτήτων έγινε με την εργασία των Σκουλίδα, Βουρνά και Παπαβασιλόπουλου [6]. Η μεγάλη διαφορά στην προκειμένη εργασία είναι πως αντί η τιμή να θεωρείται ως ένας απλός αριθμός «ενιαίος», πλέον αποτελείται από δύο διακριτά τμήματα καθένα από τα οποία μπορεί να αυξηθεί, να μειωθεί ή να παραμείνει αμετάβλητο. Σε κάθε γύρο μόνο ένα από τα δύο νούμερα μπορεί να μεταβληθεί και η πιθανότητα να γίνει αυτό είναι αποτέλεσμα μιας διαδικασίας τυχαίου αποτελέσματος της προσομοίωσης. Παραστατικά αυτά μπορούν να καταγραφούν μέσω των εξισώσεων που ακολουθούν:

$$F_{i_1}(x) = A_{i_1} + B_{i_1}x$$

$$A_{i_n} = A_{i_{n-1}}(1 + \varepsilon)$$

$$A_{i_n} = A_{i_{n-1}}$$

$$B_{i_n} = B_{i_{n-1}}$$

ή

$$B_{i_n} = B_{i_{n-1}}(1 + \varepsilon)$$

Όπου ε είναι η επιλεγμένη ενέργεια αύξησης, μείωσης ή διατήρησης της προηγούμενης τιμής. Είναι βέβαια προφανές πως και οι ενέργειες έχουν αθροιστική πιθανότητα ίση με τη μονάδα:

$$P_{I_A}^{in} + P_{I_A}^{de} + P_{I_A}^{st} = 1$$

$$P_{I_B}^{in} + P_{I_B}^{de} + P_{I_B}^{st} = 1$$

Για λόγους πληρότητας θα πρέπει να σημειωθεί πως όλα τα μοντέλα που περιγράψαμε έως τώρα, αλλά και ο τρόπος καθορισμού νέας τιμής που θα αναπτυχθεί παρακάτω, αφορούν συστήματα στα οποία η απόδοση των ποσοτήτων ενέργειας που ο κάθε παραγωγός πρέπει να διοχετεύσει στο σύστημα γίνεται σε γύρους. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως έχουμε την κλασική δομή ενός παιγνίου και μετά το πέρας κάθε γύρου λαμβάνουμε τα αποτελέσματά του. Αντιθέτως περιπτώσεις στις οποίες έχουμε κατάθεση προσφορών σε πραγματικό χρόνο, η θεώρηση που ακολουθείται είναι διαφορετική, όπως και τα αποτελέσματα στο τέλος του παιγνίου [18].

Από την πλευρά τη δικιά μας, στην παρούσα διπλωματική εργασία θα προταθεί, θα θεμελιωθεί και θα δοκιμαστεί μια μέθοδος που θα διαφέρει ουσιαστικά από όσα παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα. Ο τρόπος υπολογισμού των νέων τιμών θα είναι αποτέλεσμα των προηγούμενων αποτελεσμάτων των οποίων η χρήση θα είναι αποφασιστική. Δηλαδή δεν θα ενυπάρχουν πιθανότητες αλλά όλο το σύστημα θα είναι απόλυτα ντετερμινιστικό.

3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η μελέτη της ελεύθερης αγοράς ενέργειας από οικονομικής απόψεως, παραβλέποντας το ακριβές νομικό καθεστώς που διέπει τις σχέσεις των συμβαλλόμενων (αποτελεί αντικείμενο της νομικής επιστήμης), είναι το κύριο θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Απώτερος σκοπός του κάθε παραγωγού είναι η επίτευξη του μέγιστου δυνατού κέρδους, το οποίο επιτυγχάνεται με την απόκτηση ενός συγκεκριμένου μεριδίου αγοράς σε μία τιμή την οποία είτε καθορίζει ο ίδιος, είτε καθορίζεται από τον διαχειριστή του συστήματος (ISO). Για να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε την συνολική λειτουργία του συστήματος θα πρέπει να οριστούν αναλυτικά όλες οι προδιαγραφές και οι οικονομικές λεπτομέρειες της παραγωγής και της πώλησης των ποσοτήτων ενέργειας.

3.1 ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των κανόνων που διαπνέουν το υπό μελέτη σύστημα καθώς και της μεθόδου με την οποία δρουν οι παίκτες μέσα στα όριά του, θα πρέπει να δοθούν οι βασικές δομές, ώστε να είναι σαφές το πλαίσιο στο οποίο εξετάζεται η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου αλγορίθμου.

Δημιουργήθηκε λοιπόν μία ελεύθερη αγορά ενέργειας στην οποία συμμετέχουν και αλληλεπιδρούν τρεις (3) πωλητές. Η αρχική υπόθεση είναι πως και οι τρεις (3) παραγωγοί-πωλητές έχουν ίδια παραγωγική ικανότητα. Η τοποθέτηση επιπλέον παικτών μέσα στο σύστημα είναι μία απλή διαδικασία αλλαγής του προγράμματος με το οποίο θα γίνει η προσομοίωση. Η προσθήκη παικτών είναι προφανές πως θα μεταβάλλει τα αριθμητικά δεδομένα τα οποία θα προκύψουν, αλλά δεν είναι ικανή να αλλάξει την εικόνα του συστήματος, ούτε τη φιλοσοφία που διαπνέει τα αποτελέσματα.

Από την άλλη πλευρά υπάρχουν οι καταναλωτές, οι οποίοι όμως δεν μελετώνται μεμονωμένα, όπως συμβαίνει με τους παραγωγούς, αλλά ως σύνολο το οποίο αντιπροσωπεύεται από μια συνολική ζήτηση. Ο ακριβής τρόπος καταμερισμού της ενέργειας στους επιμέρους καταναλωτές είναι αδιάφορος στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αφού δεν έχει καμία επίπτωση στον τρόπο διαχωρισμού του μεριδίου αγοράς του κάθε παίκτη (παραγωγού) και κατ' επέκταση ούτε στα καταγραφόμενα κέρδη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι αγορές στις οποίες οι καταναλωτές δεν διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο έχουν τελείως διαφορετική έκβαση από αυτές στις οποίες οι πελάτες έχουν ενεργό συμμετοχή. Η ενεργός δράση από πλευράς καταναλωτών περιορίζει τη δύναμη καθορισμού της εξέλιξης της αγοράς που έχουν οι παραγωγοί [19]. Φυσικά όταν μιλάμε για συμμετοχή των πελατών δεν αναφερόμαστε στην δυνατότητα του καθενός να αγοράζει ποσότητες ενέργειας μεμονωμένα, πράγμα το οποίο είναι ο μόνος περιορισμός που θέτουμε, αφού κάτι τέτοιο δεν θα επηρέαζε το τελικό αποτέλεσμα.

Το σύστημα συμπληρώνεται από την παρουσία ενός Ανεξάρτητου Χειριστή Συστήματος, ή όπως συνηθίζεται να παρουσιάζεται στην βιβλιογραφία ενός Independent System Operator (ISO). Ο ρόλος του χειριστή είναι επικουρικός και διασφαλίζει την σωστή και δίκαιη αντιμε-

τώπιση κάθε παίκτη. Η δράση του ISO είναι τέτοια ώστε να διασφαλίζεται η αντικειμενικότητα του συστήματος και για αυτό τον λόγο θα μπορούσε κάλλιστα να θεωρηθεί ως ένας άνθρωπος ή ακόμα και ως ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Σε πραγματικά συστήματα, ο ρόλος του ISO είναι να ταυτοποιεί τις προσφορές των παραγωγών με τη ζήτηση των μεμονωμένων καταναλωτών, πάντα σύμφωνα με τους κανόνες που ισχύουν για το σύστημα.

3.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ

3.2.1 Κόστος παραγωγής

Θεωρούμε τρεις (3) ίδιους παραγωγούς με ίδιες δυναμικότητες παραγωγής. Με δεδομένο ότι οι παραγωγοί είναι ίδιοι, χαρακτηρίζονται και από αντίστοιχες συναρτήσεις κόστους. Έτσι λοιπόν οι συναρτήσεις είναι της μορφής:

$$F_j^1 = A^1 + B^1 x_j^1 + C^1 (x_j^1)^2$$

$$F_j^2 = A^2 + B^2 x_j^2 + C^2 (x_j^2)^2$$

$$F_j^3 = A^3 + B^3 x_j^3 + C^3 (x_j^3)^2$$

Η κάθε συνάρτηση κόστους (F_j^i) απαρτίζεται από τρεις όρους, έναν σταθερό και δύο μεταβλητούς. Ο πρώτος όρος (A^i) αποτυπώνει ένα σταθερό κόστος το οποίο πρέπει να πληρώσει η επιχείρηση ανεξάρτητα της ποσότητας ενέργειας την οποία συμφωνεί πως θα προμηθεύσει προς την αγορά. Ένα τέτοιο ποσό μπορεί να αντιπροσωπεύει το πάγιο κόστος λειτουργίας των μηχανημάτων, από τη στιγμή που ο παραγωγός εισέρχεται στην διαδικασία πώλησης, ή διάφορες άλλες λειτουργικές και διοικητικές δαπάνες.

Οι άλλοι δυο όροι εξαρτώνται άμεσα από την ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας, ανάλογα στην μία περίπτωση και τετραγωνικά στην δεύτερη. Έτσι έχουμε τους όρους με συντελεστές τα B^i και C^i , οι οποίοι είναι αυτοί που αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα του κόστους του κάθε παραγωγού. Η ύπαρξη αυτών των όρων είναι αυτονόητη αφού η θέληση ενός παίκτη να αυξήσει το μέγεθος της παραγωγής του θα πρέπει να συνεπάγεται ένα επιπλέον κόστος. Διαφορετικά θα μπορούσαμε να θέτουμε ανέξοδα την προσφερόμενη (και φυσικά παραγόμενη) ενέργεια στο μέγιστο δυνατό επίπεδο, αδιαφορώντας αν όντως υπάρχει ζήτηση ή όχι. Η ακριβής μορφή του δεύτερου και τρίτου όρου (πχ τετραγωνική αντί για κυβική) είναι αντικείμενο συζήτησης και φυσικά μελέτης της πραγματικής κατάστασης στις επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρότι υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγούν διαφορετικές τιμές για τα A , B , C των τριών παραγωγών, πράγμα που συμβαίνει στην πραγματικότητα, για λόγους απλοποίησης και διευκόλυνσης κατά την μελέτη, στην παρούσα εργασία θα θεωρηθούν ίσα.

Το κόστος παραγωγής του κάθε παίκτη είναι εξίσου σημαντικό με την τιμή που καταθέτει και επομένως και τα έσοδα που σημειώνει, καθώς επιδρά άμεσα και δραστικά στα τελικά κέρδη. Αυτός άλλωστε είναι ο λόγος για τον οποίο οι συναρτήσεις κόστους περιγράφονται αναλυτικά σχεδόν σε όλες τις εργασίες. Ανάλογα με τον τύπο της παραγωγικής μονάδας, εξετάζουμε και διαφορετική συνάρτηση κόστους. Παρ' ότι συναρτήσεις με τρεις όρους είναι

πιο σύνηθες στις διάφορες εργασίες ([6], [15]), για διάφορα μοντέλα έχουν ληφθεί υπόψιν συναρτήσεις κόστους οι οποίες αποτελούνται από δύο όρους, έναν σταθερό και έναν μεταβαλλόμενο ανάλογα με το μέγεθος της παραγωγής ([5], [20])· απουσιάζει δηλαδή ο τετραγωνικός όρος.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η παραπάνω μορφή κυρίως λόγω του ότι αντιπροσωπεύει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό τον τρόπο υπολογισμού ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα μας και επίσης από εκπαιδευτικής-ακαδημαϊκής άποψης καλύπτει πλήρως τον ρόλο που καλείται να παίξει το κόστος του παραγωγού.

3.2.2 Δυναμικότητα παραγωγής

Με δεδομένο ότι θέλουμε να μελετήσουμε τη συμπεριφορά μιας όσον το δυνατόν πιο ρεαλιστικής αγοράς, θα πρέπει να ορίσουμε την παραγωγική ικανότητα του κάθε παραγωγού. Είναι φυσικά προφανές ότι κανένας από τους παραγωγούς δεν μπορεί να έχει απεριόριστη δυνατότητα. Από την άλλη πλευρά για να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου αλγορίθμου, δεν γίνεται να ορίσουμε πως κάποιος από τους παραγωγούς έχει δυναμικότητα παραγωγής μεγαλύτερη από τους άλλους δύο. Όπως έχει αποδειχθεί στην περίπτωση που ένας παραγωγός, ή μια ομάδα παραγωγών που διαχειρίζονται από κοινού την παραγωγή τους, έχουν συγκριτικά πολύ μεγαλύτερη παραγωγή, αυτό θα οδηγούσε σε πλεονέκτημα γνώσης σχετικά με την κίνηση της αγοράς [21]. Επειδή εμείς επιθυμούμε να μελετήσουμε αγορά στην οποία υπάρχει παντελής έλλειψη γνώσης σχετικά με τις τιμές θέτουμε αξιωματικά ότι και οι τρεις παραγωγοί έχουν την ίδια δυναμικότητα..

Έτσι λοιπόν ορίζουμε ως παραγωγική ικανότητα και των τριών παραγωγών τις εκατό (100) MWh για τον καθένα:

$$Q_{\max}^1 = 100MWh$$

$$Q_{\max}^2 = 100MWh$$

$$Q_{\max}^3 = 100MWh$$

Πρέπει να σημειωθεί πως στην πράξη δεν μας ενδιαφέρει ο ακριβής αριθμός, ούτε καν η τάξη μεγέθους της παραγωγής, εφόσον όπως περιγράφηκε όλοι οι παραγωγοί έχουν ίδια δυναμικότητα, διότι η μελέτη που θα ακολουθήσει θα οδηγείται σε συμπεράσματα σχετικά με την αναλογία κερδών των παικτών και την κίνηση των διαδοχικών τιμών ισορροπίας και όχι με τις ακριβείς τιμές. Παρ' όλα αυτά ο συγκεκριμένος αριθμός (100 MWh) εξασφαλίζει την ρεαλιστικότητα του συστήματος, καθώς μπορεί να ταυτιστεί με μια σχετικά μεγάλη μονάδα παραγωγής που ένας ιδιώτης μπορεί να κατασκευάσει. Το μέγεθος αυτό καθώς και η αντίστοιχη ζήτηση που θα ακολουθήσει στην επόμενη ενότητα έχουν εξαχθεί κατ' αναλογία από την παρουσίαση της αναμενόμενης κίνησης του επιπέδου προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στον Ελλαδικό χώρο [22].

3.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ

Από την πλευρά των καταναλωτών, θα πρέπει να ορίσουμε την στιγμιαία ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια. Η ετήσια ζήτηση που προβλέπεται για το 2010 είναι της τάξης των 62 TWh [22]. Αν τοποθετούσαμε μια τέτοια ζήτηση στο δικό μας σύστημα, θα οδηγούμασταν σε πλήρη πώληση της προσφερόμενης ενέργειας και δεν θα μπορούσαμε να εξάγουμε αποτελέσματα σχετικά με την προσαρμοστικότητα των τιμών βάσει του προτεινόμενου αλγορίθμου. Εξάλλου ο ορισμός μιας παραγωγικής ικανότητας σε λογική μικρογραφία αυτής που παρατηρούμε στην πραγματική αγορά, θα πρέπει να μας οδηγήσει στον ορισμό μιας αντίστοιχα μικρής ζήτησης. Έτσι λοιπόν για το υπό μελέτη σύστημα θεωρούμε:

$$D_i = 180MWh$$

Οι 180 MWh έχουν επιλεγεί με γνώμονα τον αποκλεισμό ενός παραγωγού σε κάθε ταυτοποίηση τιμής πώλησης και ζήτησης. Από τους δύο εναπομείναντες παραγωγούς, ο ένας πουλάει το σύνολο της παραγωγής, ενώ ο δεύτερος το μεγαλύτερο μέρος της. Με βάση αυτή τη λογική επιλέχθηκε το νούμερο των 180 MWh (άλλη πιθανή τιμή θα μπορούσε να είναι για παράδειγμα τα 170 MWh). Για άλλη μια φορά τονίζεται πως σημασία δεν έχει το ακριβές μέγεθος, αλλά οι ιδιότητες αναφορικά με τα κριτήρια λειτουργίας που θέτουμε για το σύστημα.

Το να επιλέξουμε μια σταθερή ποσότητα ως ζήτηση της αγοράς, αντιβαίνει την κοινή λογική σύμφωνα με την οποία η ζήτηση των καταναλωτών είναι ένα δυναμικό νούμερο, το οποίο εξαρτάται και από την τιμή της προσφερόμενης παραγωγής. Πέραν λοιπόν από τις διάφορες περιπτώσεις στις οποίες θα εξετάσουμε τη συμπεριφορά του συστήματος υπό σταθερή ζήτηση, θα δημιουργήσουμε και έναν αλγόριθμο ο οποίος θα οδηγεί σε μικρότερες ή μεγαλύτερες μεταβολές της επιθυμίας των καταναλωτών για ηλεκτρική ενέργεια.

Μιας και θεωρούμε πως υπάρχει ευαισθησία των πελατών ως προς την τιμή, ορίζουμε πως πάνω από ένα συγκεκριμένο όριο (P_{max}) η ζήτηση θα μειώνεται, ενώ κάτω από ένα διαφορετικό όριο (P_{min}), η ζήτηση θα αυξάνεται. Η αύξηση ή η μείωση της ζήτησης θα επαναλαμβάνεται κάθε φορά που η τιμή ισορροπίας σπάει ένα από τα δύο όρια και θα διατηρείται σταθερή μέχρις ότου παρατηρηθεί και νέα παραβίαση των ορίων. Μια ερμηνεία του αλγορίθμου είναι πως οι καταναλωτές επιβραβεύουν τις χαμηλές τιμές, ενώ τιμωρούν τις υψηλές. Η διατήρηση της νέας ζήτησης, σηματοδοτεί την μνήμη που παρουσιάζει η αγορά. Η ακριβής ποσότητα αυξομείωσης της ζήτησης είναι ένας από τους παράγοντες που θα μεταβάλλονται στα προβλήματα που θα μελετώνται, και με βάση και αυτά θα γίνει προσπάθεια ερμηνείας των αποτελεσμάτων. Η αναμενόμενη έκβαση των σχετικών προσομοιώσεων είναι είτε ο περιορισμός της καμπύλης σε ένα από τα δύο άκρα (ανώτατο αν είχε αυξανόμενη τάση – κατώτατο αν η τάση είναι πτωτική), είτε η ταλάντωση μεταξύ των δύο προεπιλεγμένων οριακών τιμών.

3.4 ΤΙΜΕΣ ΚΑΙ ΚΕΡΔΗ

Ο υπολογισμός των εσόδων για τους παραγωγούς γίνεται με πολλαπλασιασμό της ποσότητας που ο διαχειριστής του συστήματος (ISO) κατανέμει σε κάθε παραγωγό, επί την τιμή πώλησης του κάθε παραγωγού. Οι τιμές που υποβάλλουν στο σύστημα οι τρεις πωλητές είναι:

$$p_i^1$$

$$p_i^2$$

$$p_i^3$$

Οι δείκτες i σηματοδοτούν πως σε κάθε γύρο δημοπρασίας οι τιμές ενδέχεται να είναι διαφορετικές από τις προηγούμενες υποβληθείσες. Με βάση τα παραπάνω τα έσοδα για κάθε παραγωγό, σε κάθε γύρο είναι:

$$pr_i^1 = p_i^1 q_i^1$$

$$pr_i^2 = p_i^2 q_i^2$$

$$pr_i^3 = p_i^3 q_i^3$$

Το επόμενο βήμα είναι να καθορίσουμε τα κέρδη τα οποία θα σημειώνει ο κάθε παίκτης του συστήματος σε κάθε γύρο δημοπρασίας. Είναι φυσικά αυτονόητο πως τα καθαρά κέρδη θα είναι η διαφορά που παρουσιάζεται μεταξύ εσόδων και κόστους παραγωγής. Συνδυάζοντας λοιπόν τους τύπους που έχουν ήδη παρατεθεί, λαμβάνουμε τις ακόλουθες σχέσεις:

$$J_i^1 = pr_i^1 - F_i^1 = p_i^1 q_i^1 - (A^1 + B^1 q_i^1 + C^1 (q_i^1)^2)$$

$$J_i^2 = pr_i^2 - F_i^2 = p_i^2 q_i^2 - (A^2 + B^2 q_i^2 + C^2 (q_i^2)^2)$$

$$J_i^3 = pr_i^3 - F_i^3 = p_i^3 q_i^3 - (A^3 + B^3 q_i^3 + C^3 (q_i^3)^2)$$

Αυτές οι εξισώσεις αποτελούν τον πυρήνα της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς τα όποια αποτελέσματα εξάγονται, θα είναι απόρροια της διαφοράς μεταξύ εσόδων και κόστους. Στόχος είναι οι σχέσεις που μόλις παρουσιάστηκαν να είναι θετικές σε κάθε βήμα του παιχνιδιού, γιατί κάτι τέτοιο εξασφαλίζει τη βιωσιμότητα οποιασδήποτε επιχείρησης.

Στην πράξη τα πιθανά αποτελέσματα είναι τρία σε κάθε γύρο του παιγνίου:

- **Θετικό:** Ο παραγωγός έχει έσοδα τα οποία υπερκαλύπτουν τα πάγια και λειτουργικά κόστη και ως εκ τούτου μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η ακολουθούμενη πολιτική είναι επιτυχημένη.
- **Μηδενικό:** Οριακά ο παραγωγός δεν σημείωσε ζημίες. Ο συγκεκριμένος γύρος μπορεί να θεωρηθεί αδιάφορος ως προς το τελικό αποτέλεσμα. Πρέπει να σημειωθεί πως το μηδενικό αποτέλεσμα δεν σημαίνει τη μη πώληση ποσότητας ενέργειας. Αντιθέτως το ότι καλύπτονται τα πάγια κόστη σημαίνει πως μια, έστω και μικρή ποσότητα ενέργειας προσφέρεται από τον παραγωγό στο σύστημα.
- **Αρνητικό:** Ένα αρνητικό αποτέλεσμα σημαίνει πως η τιμολογιακή πολιτική που έχει εφαρμοστεί από την επιχείρηση δεν αποδίδει. Οι ζημίες οι οποίες παρουσιάζονται δεν σημαίνουν το κλείσιμο της εταιρίας, αλλά ότι σε έναν συγκεκριμένο γύρο δεν επετεύχθη η πώληση αρκετών προϊόντων ώστε να καλυφθούν τα έξοδα. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται σε δύο λόγους: αποκλεισμός από την αγορά (μηδενικό μερίδιο) στον τρέχοντα γύρο ή πώληση εξαιρετικά χαμηλού ποσοστού επί του συνόλου της αγοράς.

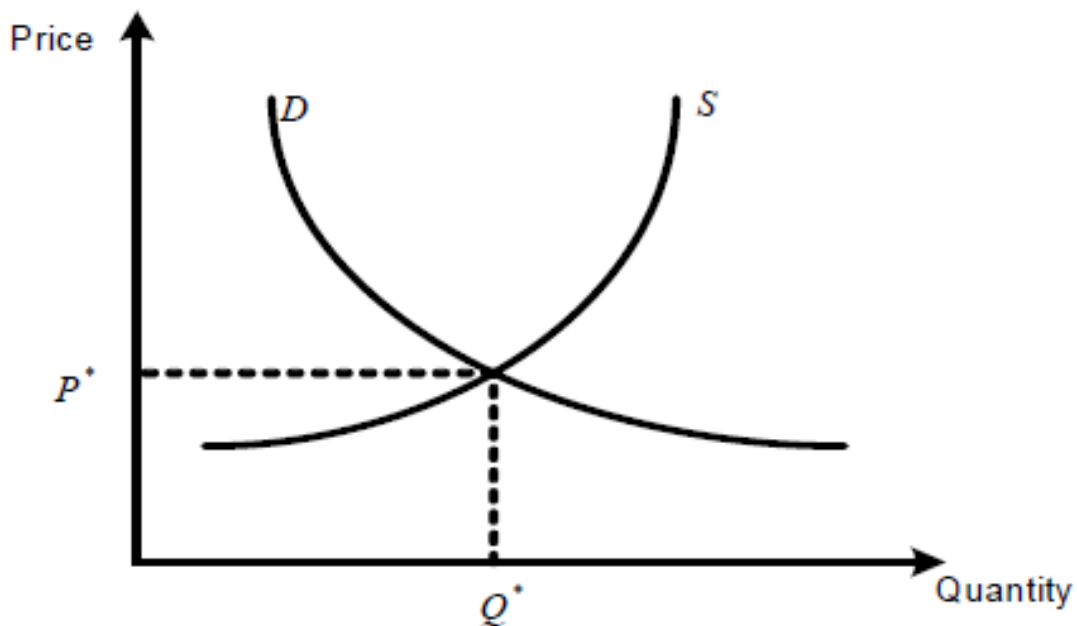
Επιπρόσθετη μελέτη απαιτεί η τρίτη περίπτωση, αυτή των αρνητικών κερδών. Αναλόγως με το ποια θεωρούμε ότι είναι στάση του παίκτη όταν παρουσιάζονται αρνητικά κέρδη, μπορούμε να επαναρυθμίσουμε ή μη, το εξαγόμενο αποτέλεσμα. Από τις πολλές τιμές που μπορούμε να θέσουμε, τρεις είναι αυτές που παρουσιάζουν μια λογική από λειτουργικής πλευράς: να αφήσουμε το αποτέλεσμα ανεπηρέαστο, να το θέσουμε ίσο με μηδέν (0), ή το ταυτίσουμε με ένα ποσοστό του πάγιου κόστους (A^1 , A^2 , A^3), πχ $\frac{1}{2}$.

3.5 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ (ΔΙΠΛΗ ΔΗΜΟΠΡΑΣΙΑ)

3.5.1 Υπολογισμός τιμής ισορροπίας

Ιδιαίτερης σημασίας είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η αξιολόγηση των προσφερόμενων τιμών των παραγωγών από τον διαχειριστή του συστήματος. Η αξιολόγηση αυτή γίνεται με τη μέθοδο της διπλής δημοπρασίας. Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται σχεδόν σε όλες τις απελευθερωμένες αγορές ενέργειας διότι, όπως περιγράφεται και από την οικονομική επιστήμη, εξασφαλίζει οικονομικά πλεονάσματα τόσο για τους πωλητές, όσο και για τους αγοραστές. Η θεμελίωση της συγκεκριμένης μεθόδου ως ενδεικνυόμενης έχει προέλθει από πλήθος εργασιών και βιβλίων ([23]-[25]). Αυτός είναι και ο λόγος που στην συντριπτική πλειοψηφία των μελετών – εργασιών γίνεται ξεχωριστή αναφορά στην λειτουργία της μεθόδου της διπλής δημοπρασίας καθώς και στην αποτελεσματικότητά της ([6], [16]).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει ειδική αναφορά στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η δημοπρασία και η αντιστοίχιση του εκάστοτε παραγωγού με το μερίδιο αγοράς. Η λογική είναι αρκετά απλή και μπορεί να παρασταθεί γραφικά με το διάγραμμα που ακολουθεί.



Αρχικά διατάσσουμε την συνολική ζήτηση και την συνολική προσφορά ώστε να σχηματιστούν οι δύο καμπύλες του σχήματος (πτωτική και αυξητική). Η αυξανόμενη τιμή της καμπύλης προσφοράς δείχνει το οικονομικό κόστος που συνεπάγεται η αύξηση της παραγωγής πάνω από ένα όριο που μπορεί να θεωρηθεί ως συμφέρον για τους πωλητές. Αυτό συμβαίνει διότι οδηγούμαστε σε ακραίες καταστάσεις της παραγωγικής ικανότητας του δικτύου παραγωγής (στην περίπτωσή μας πρόκειται για ηλεκτρική ενέργεια) και επομένως ο συντελεστής απόδοσης πέφτει αισθητά κάτω από τη μονάδα, το οποίο πρακτικά σημαίνει πως απαιτούνται διαρκώς αυξανόμενοι πόροι για όλο και μικρότερες ποσότητες παραγόμενης ενέργειας. Έτσι λοιπόν αθροίζοντας τις προσφερόμενες ποσότητες με βάση τις ζητούμενες τιμές των πωλητών μπορούμε να σχεδιάσουμε την καμπύλη S.

Από την πλευρά τους οι καταναλωτές διαθέτουν ένα ποσό για την αγορά μιας ποσότητας αγαθού. Η τιμή που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν είναι φυσικά εξαρτημένη από την ποσότητα που σχεδιάζουν να καταναλώσουν. Επομένως για την απόκτηση μιας σχετικά μικρής ποσότητας, που είναι αναγκαία, προτίθενται να δαπανήσουν μία σχετικά μεγάλη ποσότητα χρημάτων. Όσο όμως αυξάνεται η προσφερόμενη ποσότητα αγαθού, η επιπλέον ποσότητα μπορεί να θεωρηθεί σχετικά αδιάφορη και επομένως τα χρήματα που πρόκειται να ξοδέψουν για κάθε μονάδα του αγαθού είναι ολοένα και λιγότερα. Με βάση αυτή τη λογική αθροίζοντας τις ποσότητες που επιζητούν οι αγοραστές καθώς και τις τιμές πώλησης που είναι διατεθειμένοι να ικανοποιήσουν σχεδιάζουμε την καμπύλη D. Είναι προφανές πως αυτή η καμπύλη έχει αρνητική κλίση μέχρι το σημείο που πλέον οι αγοραστές δεν είναι διατεθειμένοι να δαπανήσουν καθόλου χρήματα για να εξασφαλίσουν επιπλέον ποσότητα αγαθού.

Κάθε σημείο κάθε μίας από τις δύο καμπύλες (S και D) αντιστοιχίζει μια ποσότητα ενέργειας (πάντα εκφρασμένη σε Wh) με μια τιμή. Έτσι έχουμε ζεύγη Q_D με P_D και Q_S με P_S αντίστοιχα για αγοραστές και πωλητές. Τα ζεύγη αυτά καθ' αυτά δεν αντιπροσωπεύουν τίποτα περισσότερο από την θέληση της μίας ή της άλλης πλευράς του συστήματος για συναλλαγή. Ιδιαίτερη σημασία όμως έχει το σημείο στο οποίο υπάρχει ταύτιση των δύο καμπυλών. Στο σημείο αυτό ορίζουμε το ζεύγος P^* , Q^* . Ισχύει λοιπόν:

$$P^* = P_D = P_S$$

$$Q^* = Q_D = Q_S$$

Με τον τρόπο γραφικής απεικόνισης που επιλέξαμε μπορούμε να διαχωρίσουμε το σύστημα σε δύο τμήματα: $Q < Q^*$ και $Q > Q^*$.

- $Q > Q^*$: σε αυτό το τμήμα παρατηρούμε πως για κάθε ποσότητα ενέργειας ίση με Q , η τιμή πώλησης είναι μεγαλύτερη από την τιμή αγοράς. Ο παραγωγός αξιώνει μεγαλύτερο ποσό για την πώληση της ενέργειας από ότι είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο αγοραστής. Έτσι μια τέτοια συναλλαγή δεν μπορεί να ολοκληρωθεί.
- $Q < Q^*$: σε αυτό το τμήμα παρατηρούμε πως για κάθε ποσότητα ενέργειας ίση με Q , η τιμή πώλησης είναι μικρότερη από την τιμή αγοράς. Δηλαδή ο αγοραστής είναι διατεθειμένος να πληρώσει μεγαλύτερο ποσό για να ικανοποιήσει την ανάγκη του από ότι απαιτεί ο παραγωγός για να πουλήσει την συγκεκριμένη ποσότητα παραγόμενου προϊόντος.

Από τον παραπάνω διαχωρισμό καθίσταται σαφές πως ενδιαφέρον παρουσιάζει το αριστερό μέρος του γραφήματος, αυτό δηλαδή στο οποίο λαμβάνει χώρα η οικονομική συναλλαγή. Οριακά η τελευταία συναλλαγή πραγματοποιείται στο σημείο (P^*, Q^*) . Το σημείο αυτό το ονομάζουμε σημείο ισορροπίας και την τιμή P^* την ονομάζουμε **SMP_i (System Marginal Price)**· προφανώς απαιτείται ο δείκτης i αφού σε κάθε γύρο έχουμε νέα τιμή ισορροπίας. Ανάλογα με τον τρόπο που επιλέγει ο διαχειριστής να αντιστοιχίζει τις προσφορές με την ζήτηση, μπορούμε (σύμφωνα πάντα και με όσα περιγράφονται στη θεωρία) να έχουμε τρεις δυνατές περιπτώσεις:

- Ο παραγωγός πληρώνεται με ενιαία τιμή ίση με P^* . Η τιμή αυτή όπως έχει ήδη περιγραφεί είναι το τελευταίο σημείο στο οποίο οι αγοραστές είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν τα χρήματα που ζητούν οι πωλητές. Η ενιαία τιμολόγηση θα σημαίνει πως όλοι οι αγοραστές θα πληρώσουν ακριβώς αυτό το ποσό, παρότι αρχικά είχαν δηλώσει ότι είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν παραπάνω, ενώ αντίστοιχα όλοι οι πωλητές θα πληρωθούν σε αυτή την τιμή, παρά το γεγονός ότι αρχικά είχαν δηλώσει χαμηλότερη τιμή που θα τους ικανοποιούσε.
- Ο παραγωγός πληρώνεται με τιμή ίση με αυτή που είναι διατεθειμένος να καλύψει ο αγοραστής. Αυτό σημαίνει πως ο πωλητής λαμβάνει χρήματα περισσότερα ή ίσα (οριακά αν $P_D = P^*$) από αυτά που αξιώνει για το προϊόν του. Από την πλευρά του ο αγοραστής ξοδεύει ακριβώς όσα είχε δηλώσει στον διαχειριστή του συστήματος και επομένως δεν βγαίνει ζημιωμένος.
- Ο παραγωγός πληρώνεται με την τιμή που ο ίδιος έχει θέσει ως επιζητούμενη αμοιβή. Σε αυτή την περίπτωση ο παραγωγός λαμβάνει ακριβώς όσα χρήματα αξιώνει για τα προϊόντα του, ενώ παράλληλα ο αγοραστής πληρώνει χρήματα σαφώς λιγότερα από ότι ήταν διατεθειμένος να δαπανήσει για να καλύψει τις ανάγκες του.

Στο αριστερό τμήμα του γραφήματος παρουσιάζονται τρία (3) διαφορετικά πλεονάσματα (κέρδη): πλεόνασμα πωλητή, πλεόνασμα αγοραστή και κοινωνικό πλεόνασμα. Πλεόνασμα πωλητή ορίζεται το παραπάνω ποσό που ο κάθε παραγωγός κερδίζει από την πώληση της ποσότητας παραγωγής του στην τιμή P^* έναντι της αρχικά ορισμένης τιμής του P_S . Πλεόνα-

σμα αγοραστή ορίζεται το ποσό που εξοικονομεί ο κάθε αγοραστής αφού πλέον αγοράζει σε τιμή P^* αντί για την τιμή P_D που είχε δώσει στον ISO. Τέλος το κοινωνικό πλεόνασμα είναι το άθροισμα των δύο παραπάνω πλεονασμάτων. Ο υπολογισμός των τριών πλεονασμάτων γίνεται με τους παρακάτω τύπους:

$$\Pi_S = \int_0^{Q^*} (P^* - S)dq$$

$$\Pi_D = \int_0^{Q^*} (D - P^*)dq$$

$$\Pi_K = \Pi_S + \Pi_D$$

Οι τρεις αυτοί τύποι ισχύουν για την πρώτη από τις τρεις περιπτώσεις τιμολόγησης, που είναι στην πράξη αυτή που χρησιμοποιείται γενικότερα. Αν θέλουμε να μελετήσουμε ένα σύστημα στο οποίο ο διαχειριστής εφαρμόζει πολιτική η οποία θέτει ως τιμή πώλησης την τιμή που ο αγοραστής είναι διατεθειμένος να πληρώσει τότε οι τύποι γίνονται:

$$\Pi_S = \int_0^{Q^*} (S - D)dq$$

$$\Pi_D = \int_0^{Q^*} (D - D)dq = 0$$

$$\Pi_K = \Pi_S + \Pi_D = \Pi_S$$

Η τρίτη περίπτωση τιμολόγησης μας δίνει τους παρακάτω τύπους για τα πλεονάσματα:

$$\Pi_S = \int_0^{Q^*} (S - S)dq = 0$$

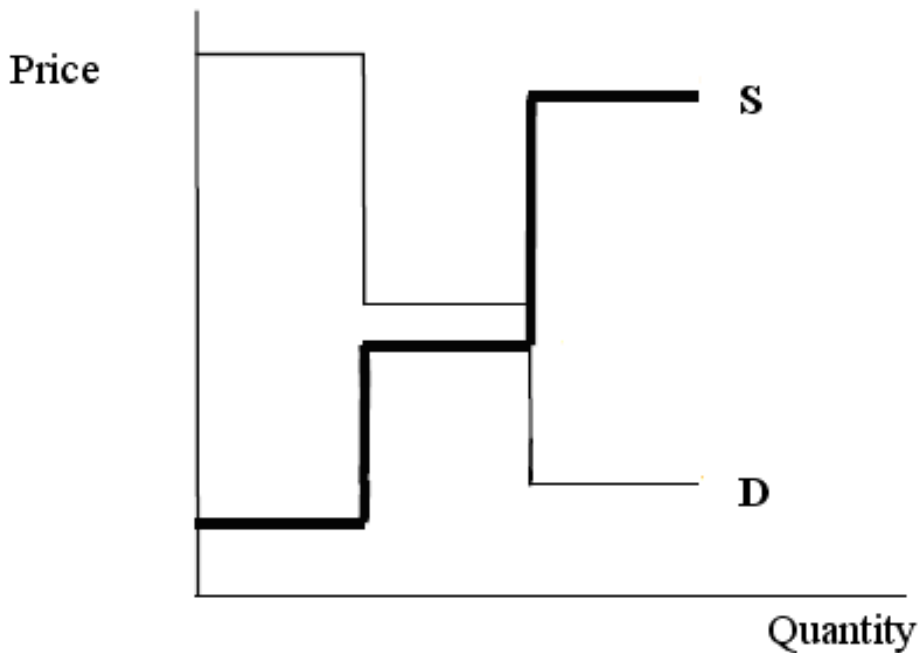
$$\Pi_D = \int_0^{Q^*} (D - S)dq$$

$$\Pi_K = \Pi_S + \Pi_D = \Pi_D$$

Η ανάλυση που προηγήθηκε δίνει την λογική λειτουργίας της μεθόδου διπλής δημοπρασίας (double auction όπως αναφέρεται στην διεθνή βιβλιογραφία) για ένα σύστημα που λειτουργεί υπό την εποπτεία ενός ISO.

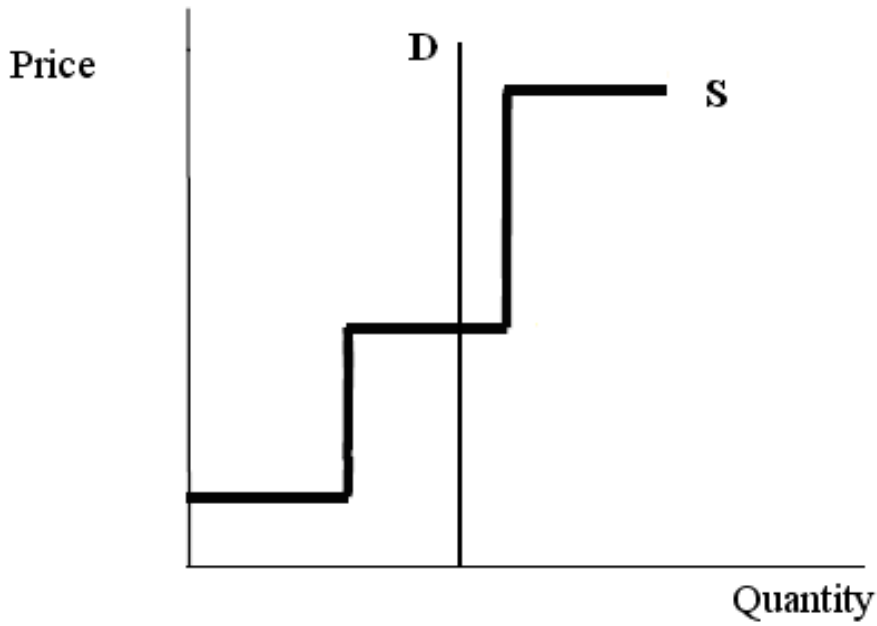
Το διάγραμμα Price-Quantity που έχει παρατεθεί παραπάνω είναι η πλέον γενική περίπτωση που μπορεί να συναντήσουμε, όπου τόσο η προσφορά όσο και η ζήτηση είναι συνεχείς καμπύλες χωρίς να παρουσιάζουν απότομες διακυμάνσεις για μικρές διαφοροποιήσεις της ποσότητας. Στην πραγματικότητα όμως σε πάρα πολλές αγορές οι παραγωγοί θέτουν μια μόνο τιμή για την πώληση των προϊόντων τους. Στο σύστημα που περιγράφουμε και στη συνέχεια θα μελετήσουμε, έχουμε από την αρχή υποθέσει πως οι τρεις (3) παραγωγοί μας ορίζουν μία ξεχωριστή τιμή ο καθένας για την πώληση της ενέργειας που διαθέτουν στο σύστημα. Έτσι λοιπόν η γραφική παράσταση των πωλητών (S) δεν μπορεί να είναι ως παραπάνω,

αλλά είναι κλιμακωτή. Αν τώρα υποθέσουμε πως αντί για ένα σύνολο αγοραστών που συμπεριφέρονται σαν μονάδα έχουμε αγοραστές που ο καθένας ορίζει μια διακριτή, αλλά σταθερή σε κάθε γύρο, τιμή για την ποσότητα της ενέργειας που προτίθεται να αγοράσει, τότε και η γραφική παράσταση των αγοραστών (D) γίνεται πλέον κλιμακωτή. Με αυτό τον τρόπο οδηγούμαστε στο παρακάτω διάγραμμα το οποίο βρίσκεται σαφώς πιο κοντά στην εικόνα του συστήματος που παρουσιάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Να σημειωθεί πως έχουν σχεδιαστεί τρεις κλίμακες για τους πωλητές λόγω του ότι θα μελετήσουμε σύστημα με τρεις παραγωγούς (όπως έχει ήδη αναφερθεί), αλλά στην γενικότερη περίπτωση μπορεί να υπάρξουν επιπλέον παραγωγοί οι οποίοι θα οδηγούν σε ένα πιο πολύπλοκο διάγραμμα.

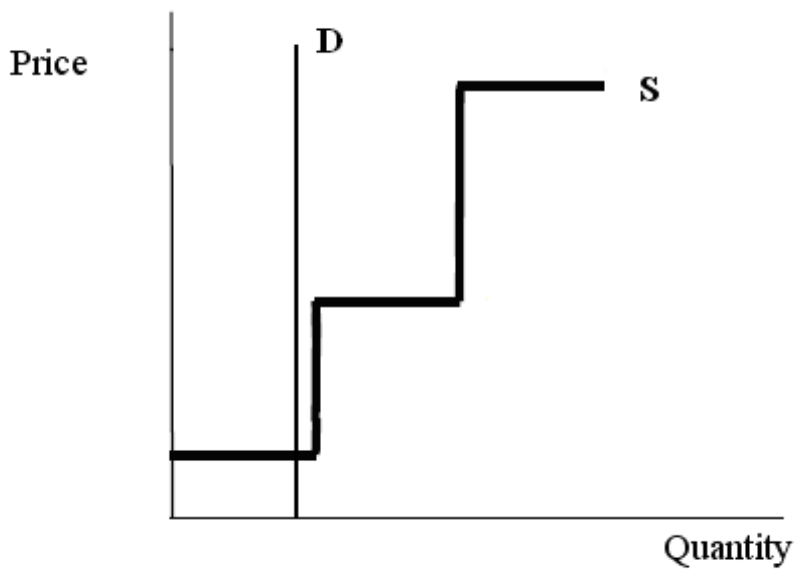


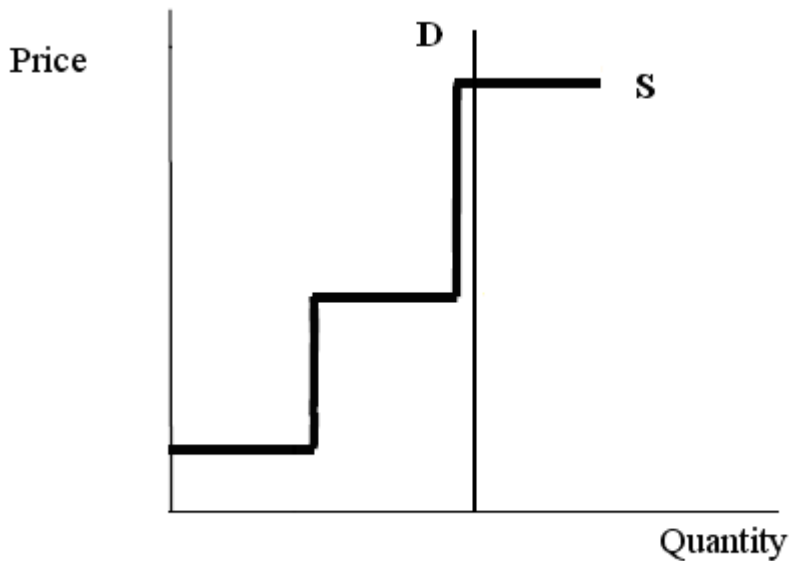
Μετά και από τον γραφικό τρόπο απεικόνισης ενός συστήματος ελεύθερης αγοράς ενέργειας, όπως αυτό που έχουμε οριοθετήσει και εμείς, μπορούμε να κατανοήσουμε ευκολότερα το διαφορετικό αποτέλεσμα στα έσοδα που θα σηματοδοτήσει καθένας από τους τρεις τρόπους τιμολόγησης που περιγράψαμε παραπάνω.

Βέβαια με όσα έχουν ήδη αναφερθεί, είναι κατανοητό πως ούτε αυτό το μοντέλο δεν ταυτίζεται με το δικό μας σύστημα, καθώς έχει περιγραφεί από την αρχή πως οι αγοραστές δεν θέτουν ξεχωριστές προσφορές ποσότητας-τιμής, αλλά δρουν ως ένα σύνολο το οποίο αδιαφορεί ως προς την τιμή που θα πληρώσει και ενδιαφέρεται μόνο για την κάλυψη των αναγκών του. Φυσικά κάτι τέτοιο δεν είναι απόλυτα ρεαλιστικό, αλλά μπορεί να αποτελέσει μια πολύ καλή πρώτη προσπάθεια ερμηνείας του συστήματος. Το σύστημα λοιπόν μπορεί να παρασταθεί γραφικά ως εξής:



Όμως επειδή όπως έχει περιγραφεί και πρωτύτερα, η ζήτηση μπορεί να αυξομειώνεται (εφόσον το έχουμε εντάξει στις δυνατότητες του συστήματος), πέραν από την παραπάνω μορφή, μπορεί να δημιουργηθούν δύο επιπλέον:





Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις έχει ιδιαίτερη σημασία το σημείο στο οποίο λαμβάνει χώρα η τελευταία συναλλαγή και η τιμή αυτού του σημείου (SMP_i). Στις προσομοιώσεις που θα ακολουθήσουν θα γίνει μελέτη του συστήματος με τις δύο κύριες μεθόδους τιμολόγησης. Η διαδικασία αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία αφού ανάλογα με τον τρόπο που πληρώνεται ο πωλητής, είναι ευκολότερο να αξιολογήσουμε τον τρόπο καθορισμού της νέας τιμής που κατατίθεται στον ISO. Έτσι, αν ο κάθε παραγωγός αμείβεται με την τιμή που ο ίδιος προτείνει, τότε αυτός που εμφανίζει συνολικά τα μεγαλύτερα κέρδη είναι λογικό να θεωρηθεί πως έχει εντοπίσει συγκριτικά τον καλύτερο αλγόριθμο για τον καθορισμό της νέας τιμής του. Για λόγους πληρότητας της διπλωματικής εργασίας, θα πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις συστημάτων και για τους δύο τρόπους τιμολόγησης και τα αποτελέσματα θα αξιολογηθούν ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες που έχουμε θέσει κάθε φορά.

3.5.2 Καθορισμός μεριδίων αγοράς

Η διαδικασία της διπλής δημοπρασίας δεν ολοκληρώνεται με την εύρεση της τιμής ισορροπίας (SMP_i), αλλά θα πρέπει να υπολογίσει και τις ποσότητες της παραγόμενης ενέργειας που ο κάθε παραγωγός είναι υποχρεωμένος να παράσχει στο σύστημα. Είναι αυτονόητο πως πρώτος θα διαθέτει το προϊόν του ο παραγωγός με την μικρότερη υποβληθείσα τιμή. Εφόσον αυτός δεν καλύψει το σύνολο της ζήτησης, τότε θα αρχίσει να πωλεί ο παραγωγός που είχε θέσει τη δεύτερη χαμηλότερη τιμή. Εφόσον ούτε αυτός καταφέρει να καλύψει το υπόλοιπο της ζητούμενης ενέργειας τότε αυτό ζητείται από τον τελευταίο παραγωγό.

Όπως έχουμε ήδη περιγράψει, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων που θα μελετήσουμε θα έχουμε σταθερή ζήτηση 180 MWh έναντι της δυνατότητας παραγωγής των 100MWh που έχει ο κάθε παραγωγός. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ο παραγωγός που θα θέσει την χαμηλότερη προσφορά θα διαθέτει το σύνολο της παραγωγής του, ενώ ο παραγωγός με την δεύτερη χαμηλότερη τιμή θα πωλεί το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ενέργειάς του. Έτσι ο τελευταίος παραγωγός θα μένει εκτός συναλλαγών και επομένως δεν θα έχει έσοδα.

Σημαντικό ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι το τι θα συμβεί στην περίπτωση που δύο ή και οι τρεις παραγωγοί υποβάλουν ακριβώς την ίδια τιμή στον διαχειριστή του συστήματος. Σε μια τέτοια περίπτωση ο ISO, δρώντας αντικειμενικά θα διαμοιράσει το μερίδιο της

αγοράς στους δύο (ή ακόμα και στους τρεις αν μιλάμε για τέτοια περίπτωση) εξασφαλίζοντας πως ο καθένας θα λάβει αυτό που του αναλογεί. Φυσικά με βάση τους κανονισμούς που διακατέχουν το σύστημα μπορεί να υπάρχει διαφορετικό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα για λόγους ενίσχυσης του ανταγωνισμού, σε περιπτώσεις ίδιων προσφορών μπορεί να ευνοείται ο παραγωγός που έχει παρουσιάσει τα λιγότερα κέρδη μέχρι τον συγκεκριμένο γύρο του παιγνίου.

3.6 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΤΙΜΗΣ

Ο τρόπος καθορισμού της τιμής που ο κάθε παραγωγός θέτει ως απαραίτητο αντιστάθμισμα για την πώληση της παραγόμενης ενέργειας, είναι ο πυρήνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ο αλγόριθμος πρόβλεψης, όπως συνήθως αναφέρεται, είναι η μέθοδος που ο κάθε παραγωγός χρησιμοποιεί για να μπορέσει να επιλέξει τη νέα τιμή που θα υποβάλει στον επόμενο γύρο του παιγνίου προσδοκώντας να λάβει το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό της αγοράς. Σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να θεωρήσουμε πως υπάρχει μόνο ένας σωστός αλγόριθμος, αλλά ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του συστήματος, τον γενικότερο τρόπο λειτουργίας και τους κανονισμούς του διάφοροι αλγόριθμοι μπορούν να εφαρμοστούν στην προσπάθεια των παραγωγών να έχουν ένα πλεονέκτημα έναντι των ανταγωνιστών τους. Πέρα από τις τετριμμένες περιπτώσεις (πχ τιμή σταθερή ή τιμή ίση με την τιμή του κυριότερου ανταγωνιστή κ.α.) ενδιαφέρον έχουν οι μέθοδοι που εξετάζουν τις προηγούμενες καταστάσεις ισορροπίας του συστήματος.

Μία πρώτη προσπάθεια είναι να ορίζουμε την επόμενη τιμή που θα τοποθετήσουμε στην δημοπρασία ίση με την προηγούμενη SMP. Αυτή η απλοϊκή θεώρηση δυνητικά ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο του παραγωγού, όμως στην πράξη δεν εξασφαλίζει την προστασία του παραγωγού αν το σύστημα βρέθηκε σε μια οριακή κατάσταση κατά τον τελευταίο γύρο δημοπρασιών. Με βάση αυτή τη λογική, κατά τη σχεδίαση του αλγορίθμου, θεωρήθηκε καλύτερη μια προσέγγιση η οποία θα συμπεριλάμβανε περισσότερες από μία προηγούμενες καταστάσεις ισορροπίας του συστήματος. Από την άλλη πλευρά το να εισάγουμε πάνω από τις τρεις τελευταίες καταστάσεις θεωρήθηκε υπερβολικό καθώς δεν θα πρόσφερε μεγαλύτερη ακρίβεια στην προσπάθεια να βγει μια λογική συνισταμένη των προηγούμενων καταστάσεων της αγοράς που μελετάμε. Σκοπός μας σε κάθε προσφορά που θα κατατίθεται, είναι να προσμετρείται η τάση που διακατέχει την τιμή (πτωτική, αυξητική ή σταθερή) αλλά και να εξασφαλίζεται ένα πλεονέκτημα ως προς τους υπόλοιπους ανταγωνιστές οι οποίοι καταθέτουν προσφορές υπολογισμένες με άλλους τρόπους. Έτσι λοιπόν ορίζουμε πως ο κάθε παραγωγός θα υποβάλει στο σύστημα για τον γύρο i τιμή πώλησης με την εξής μορφή:

$$P_i = \alpha_i * SMP_{i-1} + \beta_i * SMP_{i-2} + \gamma_i * SMP_{i-3}$$

Όπως έχει ήδη αναφερθεί για την τιμή του γύρου i χρησιμοποιούνται οι τιμές ισορροπίας (SMP) των τριών προηγούμενων γύρων, δηλαδή των $i-1$, $i-2$, $i-3$. Σε κάθε μία από αυτές τις τιμές έχει τοποθετηθεί ένας συντελεστής ώστε η νέα τιμή να διατηρείται μέσα σε πλαίσια ανεκτά ώστε να δύναται να εξασφαλίσει κέρδη. Δεν θα είχε κανένα απολύτως νόημα να οδηγηθούμε σε μια τιμή P_i ίση με $3 * SMP_{i-1}$, ή εναλλακτικά ίση με $\frac{1}{2} SMP_{i-1}$. Τέτοιου είδους τιμές θα οδηγούσαν τον παίκτη να βγει ζημιωμένος γιατί είτε δεν θα εξασφάλιζε καθόλου μερίδιο από την αγορά (αφού με τιμή τριπλάσια της προηγούμενης τιμής ισορροπίας οι άλλοι παίκτες με χαμηλότερες προσφορές θα κάλυπταν όλη την αγορά) ή θα έπαιρνε μεν ένα μεγά-

λο κομμάτι της αγοράς αλλά λόγω της πολύ χαμηλής τιμής τα έσοδα θα ήταν τόσο μικρά που δεν θα ξεπερνούσαν τα έξοδα και επομένως θα σημειώνονταν ζημίες.

Με βάση τον συλλογισμό που προηγήθηκε οι τιμές των $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ θα πρέπει να περιορίζονται σε ένα όριο κοντά στην μονάδα, το οποίο δεν έχει νόημα να είναι μεγαλύτερο του 20%. Δηλαδή:

$$\alpha_i + \beta_i + \gamma_i = 1 \pm 20\%$$

Ο αρχικός ορισμός του μαθησιακού αλγορίθμου που χρησιμοποιείται εδώ επιτρέπει την μεταβολή και των τριών συντελεστών σε κάθε γύρο του παιγνίου. Η ελευθερία εξασφαλίζει την γενικότητα του παιγνίου, αλλά μπορούμε να οδηγηθούμε σε σχεδόν ίδια αποτελέσματα αν μεταβάλλουμε μόνο έναν από τους τρεις συντελεστές σε κάθε γύρο. Έτσι λοιπόν στις περισσότερες προσομοιώσεις θα θεωρούμε μεταβλητή την τιμή του συντελεστή α , ενώ τις υπόλοιπες δύο θα τις λαμβάνουμε ως σταθερές. Σε αντίθεση με τις περιπτώσεις που μεταβάλλονται τα β, γ , στις οποίες δεν παρουσιάζεται κάποιο ιδιαίτερο ενδιαφέρον, εμείς θα εξετάσουμε στην συνέχεια τι συμβαίνει όταν έχουμε χρησιμοποίηση των τιμών ισορροπίας άλλων γύρων πιο παρελθοντικών στους όρους που σχηματίζουν την νέα υπό κατάθεση τιμή. Άρα τελικά ο αλγόριθμος πρόβλεψης της νέας τιμής θα έχει τη μορφή:

$$P_i = \alpha_i * SMP_{i-1} + \beta * SMP_{i-2} + \gamma * SMP_{i-3}$$

Στη συνέχεια θα πρέπει να προσδιοριστούν οι τιμές που λαμβάνουν τα α_i, β, γ ώστε να πληρούνται οι προϋποθέσεις που έχουν τεθεί παραπάνω. Φυσικό είναι πως η νέα τιμή θα πρέπει να επηρεάζεται περισσότερο από την SMP_{i-1} , ακολούθως από την SMP_{i-2} και λιγότερο από την SMP_{i-3} . Αυτό συμβαίνει διότι μας ενδιαφέρουν περισσότερο ο τελευταίος γύρος δημοπρασιών αφού αυτός βρίσκεται πιο κοντά στην παρούσα κατάσταση και επομένως μπορεί να δώσει ακριβέστερη εικόνα της αγοράς. Θα ήταν παράλογο να δίνουμε μεγαλύτερη σημασία σε παλαιότερη τιμή έναντι νεότερης καθώς η πρώτη βρίσκεται σίγουρα πιο κοντά στο να σβηστεί από την μνήμη του συστήματος. Τιμές που είναι πολύ παρελθοντικές έχουν με τη σειρά τους επηρεάσει τις μετέπειτα καταστάσεις του συστήματος και επομένως η παρουσία τους ενυπάρχει στην νέα τιμή που θα τοποθετηθεί στην επόμενη δημοπρασία.

Οι ακριβείς συντελεστές είναι αντικείμενο διαπραγμάτευσης και ως εκ τούτου μπορούν να γίνουν διάφορες δοκιμές. Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε στις προσομοιώσεις τα παρακάτω:

$$\alpha_i = 0,5 + a$$

$$\beta = 0,3$$

$$\gamma = 0,2$$

Φαίνεται πως όπως είχαμε περιγράψει και προηγουμένως $\alpha_i > \beta > \gamma$. Το α_i είναι η μόνη μεταβλητή και επηρεάζεται κατά έναν συντελεστή a . Η τιμή του a θα πρέπει να είναι μικρή και για αυτό θα χρησιμοποιήσουμε τιμές $\pm 2\%$, $\pm 3\%$ και άλλες αντίστοιχα μικρές.

Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει όσο το δυνατόν πιο κατανοητή η λογική με την οποία επιλέγουμε θετική ή αρνητική μεταβολή του α_i . Ανάλογα με τον εάν το a έχει θετικό ή αρνητικό πρόσημο, ισχύει ότι $P_i > SMP_{i-1}$ ή $P_i < SMP_{i-1}$ αντίστοιχα. Η επιδίωξη είναι να επιβραβεύουμε τις σωστές ενέργειες και να τιμωρούμε τις λανθασμένες. Ο τρόπος αξιολόγησης των

προηγούμενων ενεργειών θα είναι η σύγκριση των κερδών που παρουσιάστηκαν στον τελευταίο γύρο του παιχνιδιού, σε σχέση με αυτά που παρουσιάστηκαν στον προτελευταίο. Έτσι αν τα κέρδη του γύρου $i-1$ είναι μεγαλύτερα από αυτά του $i-2$, τότε το a θα είναι θετικό, αλλιώς αρνητικό. Αυτό το κάνουμε με την λογική ότι εφόσον τα κέρδη μας ήταν βελτιωμένα, μπορούμε να αυξήσουμε λίγο την τιμή προσδοκώντας ακόμα υψηλότερα κέρδη. Αντιθέτως αν τα κέρδη που παρουσιάστηκαν είναι μειωμένα, τότε πρέπει να αναθεωρήσουμε την τιμολογιακή μας πολιτική μειώνοντας την τιμή στην προσπάθειά μας να επιτύχουμε την εξασφάλιση ενός μεγαλύτερου μεριδίου της αγοράς.

Για να γίνει πλήρως κατανοητός ο συλλογισμός που παρατέθηκε παραπάνω, αν υποθέσουμε ότι δεν υπάρχει μεγάλη μεταβολή μεταξύ των SMP_{i-1} , SMP_{i-2} και SMP_{i-3} και υποθέσουμε ότι $a = \pm 5\%$, έχουμε:

$$J_{i-1} > J_{i-2} \Rightarrow a = 5\% \Rightarrow P_i = 1,05SMP_{i-1}$$

$$J_{i-1} < J_{i-2} \Rightarrow a = -5\% \Rightarrow P_i = 0,95SMP_{i-1}$$

Στην πρώτη γραμμή έχουμε την επιβράβευση, αφού $P_i = 1,05SMP_{i-1}$, ενώ στην δεύτερη έχουμε διόρθωση, αφού $P_i = 0,95SMP_{i-1}$.

Αφού πλέον έχουμε ορίσει και επεξηγήσει πλήρως τον τρόπο καθορισμού της νέας τιμής που ο παραγωγός υποβάλλει στο σύστημα, πρέπει πλέον να καταγραφούν οι εξισώσεις των τριών παικτών που εμείς θα μελετήσουμε στο υπάρχον σύστημα:

$$P_i^1 = (0,5 + a) * SMP_{i-1} + 0,3 * SMP_{i-2} + 0,2 * SMP_{i-3}$$

$$P_i^2 = (0,5 + b) * SMP_{i-1} + 0,3 * SMP_{i-2} + 0,2 * SMP_{i-3}$$

$$P_i^3 = (0,5 + c) * SMP_{i-1} + 0,3 * SMP_{i-2} + 0,2 * SMP_{i-3}$$

Τα b , c έχουν τιμές αντίστοιχες με αυτές που περιγράφηκαν παραπάνω για το a . Πρέπει να σημειωθεί πως ενώ στις τιμές που υποβάλλονται στο σύστημα έχουμε τους δείκτες των παικτών, στις τρεις τιμές των SMP δεν έχουμε κάτι αντίστοιχο, διότι αυτοί είναι ανεξάρτητοι από τους παίκτες και χαρακτηρίζουν τις προηγούμενες καταστάσεις του συστήματος με τρόπο πιο γενικό.

Για να μπορέσουμε να εξάγουμε ουσιαστικά αποτελέσματα σχετικά με τον μαθησιακό αλγόριθμο που προτείνουμε θα πρέπει να έχουμε μία αναφορά ως προς την οποία θα συγκρίνονται τα αποτελέσματα των παικτών οι οποίοι υιοθετούν τον συγκεκριμένο αλγόριθμο. Από την άλλη πλευρά δεν θεωρείται αναγκαία η ύπαρξη τριών παικτών που χρησιμοποιούν το ίδιο μοντέλο καθορισμού της νέας τιμής. Έτσι μπορούμε να μεταβάλλουμε τις εξισώσεις που παρατέθηκαν παραπάνω και στον τρίτο παίκτη να τοποθετήσουμε έναν παραγωγό ο οποίος προσφέρει στο σύστημα την παραγωγή του σε μια σταθερή τιμή c . Στην πράξη ένας τέτοιος παραγωγός μπορεί να παίξει τον ρόλο ενός παραγωγού που δεν επιζητά απαραίτητα το μέγιστο δυνατό κέρδος, αλλά την ικανοποίηση της ανάγκης της κοινωνίας για ηλεκτρικό ρεύμα σε τιμή η οποία δεν θα μεταβάλλεται σε πολύ υψηλά επίπεδα. Για λόγους ορθότητας της με-

λέτης θα διατηρήσουμε την αρχική ρύθμιση του συστήματος όσον αφορά τη δυναμικότητα της παραγωγής, με μέγιστη τιμή τις 100MWh και δε θα τη θεωρήσουμε απεριόριστη.

Η ύπαρξη ενός παραγωγού με σταθερή τιμή προσφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας θα χρησιμοποιηθεί ως μέτρο της επιτυχίας του αλγορίθμου μας. Σκοπός είναι προφανώς να εξαχθεί από τα αποτελέσματα ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων (πάντα λαμβάνοντας υπόψιν και τις ιδιαιτερότητες) ο δικός μας αλγόριθμος πετυχαίνει μακροπρόθεσμα μεγαλύτερα κέρδη.

Η λογική πίσω από την αλλαγή της τιμής που ένας παίκτης τοποθετεί στο σύστημα είναι να καταφέρει να προσαρμοστεί στην αγορά και στις διακυμάνσεις που αυτή έχει. Με βάση αυτό το σκεπτικό φιλοδοξούμε να δούμε μια επιβεβαίωση της σωστής προσαρμοστικότητας του αλγορίθμου πρόβλεψης και την εξαγωγή ενός συγκριτικού πλεονεκτήματος έναντι του παραγωγού με σταθερή τιμή πώλησης. Επειδή όμως η ύπαρξη μόνο ενός τέτοιου παραγωγού ενδεχομένως να οδηγούσε σε υπερβολική εύνοια των κανονισμών του συστήματος, επιλέξαμε και ο δεύτερος παραγωγός να ρυθμίζει τη νέα τιμή του με τον ίδιο τρόπο.

Ως αντιστάθμισμα στην αδυναμία παρακολούθησης της αγοράς που παρουσιάζει ο παραγωγός με την σταθερή τιμή, θέτουμε σαν κανονισμό του συστήματος ότι θα έχει προτεραιότητα στην απόκτηση του μεριδίου της αγοράς όταν κατατίθενται ίδιες τιμές. Αυτό το κάνουμε στην προσπάθειά μας για την δημιουργία ενός λίγο πιο ρεαλιστικού παιγνίου. Το να επιλέγει ο αγοραστής τον παραγωγό που έχει πάντα μια σταθερή τιμή έναντι ενός που αυξομειώνει κατά το δοκούν την τιμή του, δικαιολογείται ως ένα βαθμό και από την «ψυχολογία» του. Η πιθανότητα ενός παραγωγού να μεταβάλλει σταδιακά την τιμή του και να την οδηγήσει σε πολύ υψηλότερα επίπεδα από την σταθερή τιμή που προσφέρει ο τρίτος παραγωγός, αρκεί ώστε όταν τίθεται στον αγοραστή ως δίλημμα, να επιλέξει να στηρίξει τον παραγωγό με την σταθερή τιμή.

Αυτό πρακτικά σημαίνει πως όταν δύο παίκτες έχουν καταθέσει ίδια προσφορά και υψηλότερη από τον τρίτο, τότε εφόσον ο ένας είναι ο παραγωγός με την σταθερή τιμή, τότε αυτός θα λάβει το υπόλοιπο μερίδιο της αγοράς και μόνο εφόσον δεν μπορεί να το καλύψει εξολοκλήρου θα πουλήσει και ο τελευταίος παραγωγός. Επειδή αυτή την «συναισθηματική» συμπεριφορά των αγοραστών δεν μπορούμε να την παραστήσουμε με έναν αλγόριθμο, θα το εντάξουμε στο σύστημα σε μορφή κανόνα και έτσι θα το εφαρμόζει ο ISO.

Καταλήγοντας λοιπόν έχουμε διαμορφώσει τις παρακάτω εξισώσεις για τον υπολογισμό των τιμών που οι τρεις παίκτες θα καταθέσουν στον επόμενο γύρο του παιγνίου:

$$P_i^1 = (0,5 + a) * SMP_{i-1} + 0,3 * SMP_{i-2} + 0,2 * SMP_{i-3}$$

$$P_i^2 = (0,5 + b) * SMP_{i-1} + 0,3 * SMP_{i-2} + 0,2 * SMP_{i-3}$$

$$P_i^3 = C$$

Αφού έχουμε καταστρώσει τις εξισώσεις θα δώσουμε τώρα τις αρχικές συνθήκες με τις οποίες θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν κατά την προσομοίωση. Έτσι θα θέσουμε:

$$P_i^1 = 55 \quad i = 1, 2, 3$$

$$P_i^2 = 60 \quad i = 1, 2, 3$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in (1, 1001)$$

Οι συγκεκριμένες αρχικές τιμές έχουν επιλεγεί με βάση τις τιμές που ισχύουν στις πραγματικές αγορές. Έτσι η τιμή του τρίτου παραγωγού (την οποία θα διατηρήσει καθ' όλη τη διάρκεια του παιγνίου) έχει προέλθει από τις τιμές πραγματικών ελεύθερων αγορών, αλλά και από αποτελέσματα διαφόρων άλλων εργασιών ([16], [17]), οι οποίες σε αντίστοιχες συνθήκες δείχνουν να διατηρούν μία ισορροπία σε αυτό το επίπεδο τιμών. Αντίστοιχα οι αρχικές τιμές των δύο πρώτων παραγωγών έχουν επιλεγεί λαμβάνοντας υπόψιν τις επιλογές που έχουν γίνει σε πληθώρα εργασιών που καταπιάνονται με το ίδιο θέμα, αν και χρησιμοποιούνται άλλοι μαθησιακοί αλγόριθμοι. Φυσικά έχει πολύ μεγάλη σημασία το που θα οδηγηθεί το σύστημα αν αντί για τις παραπάνω τιμές επιλεγούν άλλες οι οποίες ενδεχομένως να οδηγήσουν το σύστημα σε οριακές καταστάσεις. Για παράδειγμα αξίζει να μελετηθεί τι θα συμβεί στην περίπτωση που ο παίκτης με την σταθερή τιμή, διπλασιάσει ή τριπλασιάσει την τιμή του.

Μετά το τρέξιμο των τριών πρώτων γύρων, πλέον θα έχουμε τα τρία σημεία ισορροπίας που απαιτούνται ώστε το παίγνιο να μπορεί να κινηθεί μόνο του και να μας δώσει αποτελέσματα τα οποία με τη σειρά τους θα αξιολογηθούν και αν κριθεί αναγκαίο θα προχωρήσουμε σε διορθωτικές παρεμβάσεις.

Η μέθοδος καθορισμού της επόμενης τιμής μπορεί να δημιουργηθεί με τρόπο που να περιγράφει διαφορετικές αντιλήψεις. Τα όσα παρουσιάστηκαν παραπάνω αφορούν μέθοδο που επιδιώκει να διαμορφώσει τιμή που θα εξασφαλίζει τις βέλτιστες πιθανότητες ώστε η υπό κατάθεση προσφορά να ανταποκρίνεται στην πορεία του συστήματος. Πρακτικά αυτό γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν τις προηγούμενες καταστάσεις του παιγνίου και όχι τις μεμονωμένες προσφορές που οι υπόλοιποι παίκτες κατέθεταν. Βεβαίως υπάρχει και μια διαφορετική προσέγγιση στην οποία κύριο ρόλο παίζουν οι προηγούμενες προσφορές των άλλων παικτών, πράγμα το οποίο μας δίνει ένα μοτίβο για τις επόμενες κινήσεις τους. Υποθέτοντας με σχετική ακρίβεια την επόμενη τιμή των ανταγωνιστών, μπορούμε πλέον να δημιουργήσουμε μια νέα τιμή η οποία θα υπερέχει. Μια τέτοια προσπάθεια παρουσιάζεται στην εργασία [26]. Σε καμία περίπτωση δεν μπορεί κάποιος να ισχυριστεί πως η μια ή η άλλη προσέγγιση υπερτερεί, παρά μόνο ότι ταιριάζει καλύτερα σε συγκεκριμένα συστήματα.

3.7 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΑΙΓΝΙΟΥ

Έχει ήδη αναφερθεί πως οι τρεις παίκτες θα αξιολογηθούν με βάση τα κέρδη που παρουσιάζουν. Κατά την διάρκεια των διαφόρων γύρων, τα κέρδη που πετυχαίνει ο κάθε παίκτης θα μεταβάλλονται διαρκώς και ενίοτε θα λαμβάνουν πολύ ακραίες τιμές (πχ πώληση του συνόλου της παραγωγής σε υψηλή τιμή σε αντιδιαστολή με μηδενικές πωλήσεις που συνεπάγονται μεγάλες ζημιές). Έτσι δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται τα μεμονωμένα αποτελέσματα των γύρων για την εξαγωγή ενός γενικότερου συμπεράσματος όσον αφορά την αρτιότητα και την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου στις διάφορες διαφοροποιήσεις του συστήματος.

Αυτό το πρόβλημα μας οδηγεί στο να κρίνουμε τους παίκτες με βάση τα συνολικά κέρδη που θα επιτύχουν σε μια μεγάλη χρονική περίοδο. Θεωρώντας ότι πραγματοποιείται ένας γύρος του παιγνίου κάθε μέρα, έχουμε 365 γύρους κάθε χρόνο. Για να μπορούμε να έχουμε μια σωστή εικόνα της μεθόδου μας θα πρέπει να πραγματοποιηθούν τουλάχιστον 1000 γύροι στους οποίους θα αθροίζουμε τα κέρδη που παρουσιάζονται. Κάτι τέτοιο στην πράξη σημαίνει πως μελετούμε το σύστημα για μια περίοδο περίπου τριών (3) ετών. Επομένως για την αξιολόγηση θα χρησιμοποιήσουμε τις παρακάτω σχέσεις:

$$J_{o\lambda}^1 = \sum_{i=1}^{1001} J_i^1$$

$$J_{o\lambda}^2 = \sum_{i=1}^{1001} J_i^2$$

$$J_{o\lambda}^3 = \sum_{i=1}^{1001} J_i^3$$

Σε αρκετές εργασίες που πραγματεύονται το ίδιο θέμα, έχει υιοθετηθεί η λογική της εκτέλεσης ενός γύρου δημοπρασίας για κάθε ώρα της ημέρας, δηλαδή 24 δημοπρασίες τη μέρα. Αυτή η διαφοροποίηση έχει μόνο διαισθητική διαφορά, όσον αφορά την κατανόηση του συστήματος και των κανόνων που το διέπουν από κάποιον μελετητή. Στην πράξη επειδή μιλάμε για ένα παίγνιο όπου οι ενέργειες υπαγορεύονται από τον κώδικα που έχουμε αναπτύξει, ο οποίος δεν διαχωρίζει την χρονική διάρκεια μεταξύ δύο γύρων, είναι παντελώς αδιάφορο το αν θα υποθέσουμε πως γίνεται μια δημοπρασία κάθε μία ώρα, ή κάθε μία μέρα.

3.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Αφού πλέον έχουμε ορίσει πλήρως το σύστημα αλλά και τις βασικές παραμέτρους που λίγο πολύ θα παραμένουν σταθερές στις διάφορες περιπτώσεις που θα μελετήσουμε, θα πρέπει να αναφερθούμε και στα στοιχεία τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

Έχουμε εξηγήσει παραπάνω για ποιο λόγο κύριο κριτήριο της επιτυχούς ή μη χρησιμοποίησης του αλγορίθμου πρέπει να είναι τα συνολικά κέρδη που παρουσιάζονται μετά το πέρας ενός συγκεκριμένου, μεγάλου αριθμού γύρων. Το στοιχείο αυτό από μόνο του δεν είναι πάντα αρκετό. Για παράδειγμα έχουμε πει πως για τον παραγωγό υπ' αριθμόν 3 (παραγωγός αναφοράς) εξίσου σημαντικό είναι να προσφέρει ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών της κοινωνίας. Έτσι προκύπτει άλλο ένα κριτήριο, το οποίο είναι η συνολική ενέργεια που πωλήθηκε σε MWh. Το συγκεκριμένο θα μπορούσαμε να το αξιοποιήσουμε έτσι και αλλιώς για να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε την πορεία δύο παραγωγών οι οποίοι στο τέλος κατέγραψαν κέρδη αντίστοιχου μεγέθους.

Δεδομένου ότι θα υπάρξουν περιπτώσεις στις οποίες η ζήτηση θα μεταβάλλεται και άλλες στις οποίες θα παραμένει σταθερή, κομμάτι της ερμηνείας θα πρέπει να είναι και η τιμή ισορροπίας του συστήματος. Σε συστήματα στα οποία παρατηρείται μεγάλη διακύμανση στις τιμές ισορροπίας μεταξύ δύο συνεχόμενων γύρων, θα λάβουμε υπόψιν τον μέσο όρο των τελευταίων τιμών ισορροπίας, ώστε να έχουμε ένα αντιπροσωπευτικό μέγεθος για να μπορέσουμε να το συγκρίνουμε με άλλες περιπτώσεις.

Τα τελικά αποτελέσματα κάθε παιγνίου θα σχολιάζονται όσο το δυνατόν πληρέστερα με βάση τις ρυθμίσεις που έχουμε θέσει από την αρχή. Έτσι οι διαφοροποιήσεις που θα εμφανίζονται στα αποτελέσματα, σε σύγκριση με άλλα παρόμοια συστήματα που έχουν ήδη παρουσιαστεί, θα γίνεται προσπάθεια να ερμηνεύονται με όρους ρεαλιστικούς και αντικειμενικούς.

Η τελική έκβαση πρέπει να είναι η αποδοχή ή μη του προτεινόμενου μαθησιακού αλγορίθμου ως κατάλληλου εργαλείου για τον καθορισμό των επόμενων τιμών ενός παραγωγού με στόχο την μέγιστη δυνατή επίτευξη κερδών. Στις περιπτώσεις που τα κέρδη υπερβαίνουν

τα κέρδη του παραγωγού με σταθερή τιμή, η χρήση της μεθόδου θα χαρακτηρίζεται ως πετυχημένη. Αντιθέτως όταν ο παραγωγός με σταθερή τιμή σημειώνει μεγαλύτερα κέρδη, θα πρέπει να γίνεται προσεκτική κριτική όσον αφορά τις ιδιαιτερότητες του συστήματος που μας οδήγησαν σε αυτό το αποτέλεσμα.

4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στο παρόν τμήμα της διπλωματικής θα γίνει η προσομοίωση των διαφόρων συστημάτων με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab. Στις διάφορες περιπτώσεις που θα μελετηθούν θα γίνεται πάντα παραμετροποίηση του κώδικα που έχουμε αναπτύξει ώστε αυτός να ανταποκρίνεται στις νέες συνθήκες που θέλουμε να επιβάλουμε. Οι όποιες διαφοροποιήσεις θα αναφέρονται και στην αρχή του σχολιασμού προκειμένου να εξασφαλίζεται η καλή εποπτεία των όσων ισχύουν στο σύστημα. Τα προγράμματα που έχουμε αναπτύξει για τις διάφορες περιπτώσεις (συμπεριλαμβανομένων και των νέων παραμέτρων) λόγω του μεγάλου όγκου τους δεν είναι πρακτικό να παρουσιαστούν αναλυτικά στην παρούσα εργασία. Παρ' όλα αυτά στο τέλος των προσομοιώσεων και μετά τον τελικό σχολιασμό παρατίθεται η πλέον γενική περίπτωση του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε.

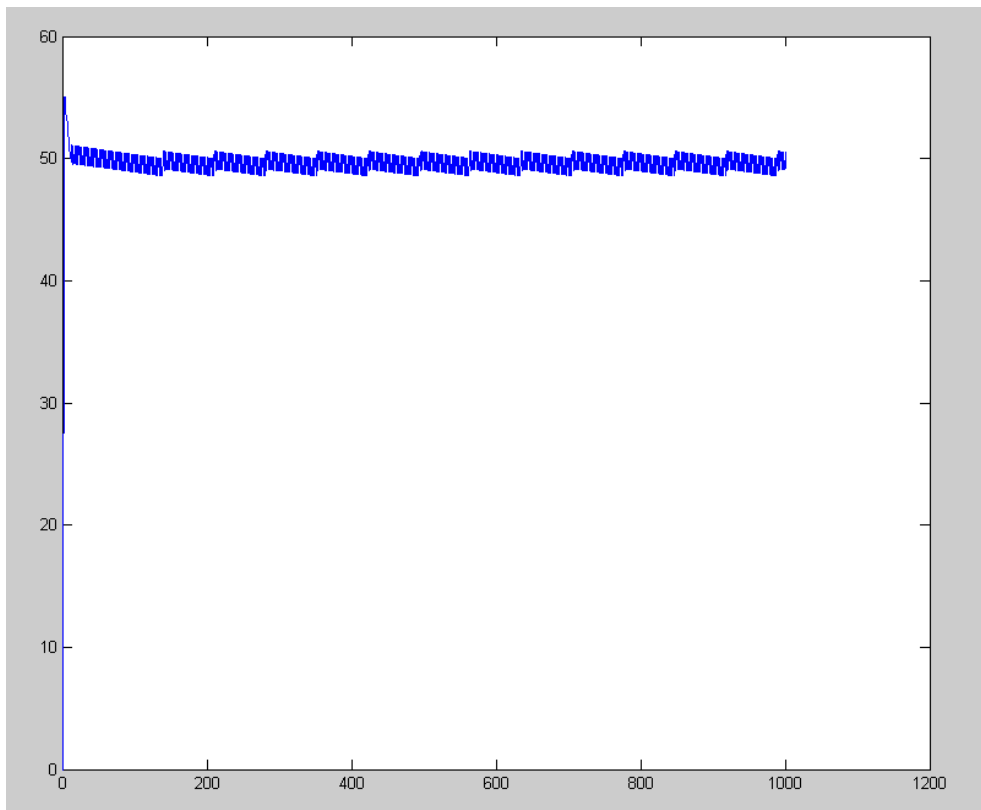
4.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ I (Γενική περίπτωση)

Η πρώτη περίπτωση αφορά το πλέον γενικό σύστημα που θα μελετήσουμε. Πρόκειται για την δομή που έχουμε περιγράψει στις προηγούμενες ενότητες χωρίς να συμπεριλαμβάνεται κάποια ουσιαστική παρέμβαση προς όφελος είτε των δύο παικτών που χρησιμοποιούν τον δικό μας αλγόριθμο, είτε του παίκτη με την σταθερή τιμή πώλησης.

Ορίζουμε λοιπόν πως η ζήτηση θα έχει σταθερή τιμή ίση με 180MWh. Η τιμή πώλησης της ενέργειας του παραγωγού με σταθερή τιμή ορίζεται στα 50€/ MWh, ενώ για τους άλλους δύο παραγωγούς οι αρχικές τιμές είναι τα 55 και τα 60 €/ MWh. Επίσης πρέπει να σημειωθεί πως όσον αφορά τη μεταβολή που προβλέπεται για τις τιμές που οι δύο παραγωγοί θα καταθέτουν στους επόμενους γύρους του παιγνίου, σαν πρώτη προσέγγιση έχουμε υιοθετήσει μεταβολή ίση με $\pm 2\%$. Η συγκεκριμένη ρύθμιση δείχνει μια σχετική μετριοπάθεια σε σχέση με την παρουσία μεγαλύτερων ή μικρότερων κερδών συγκριτικά με τους προηγούμενους γύρους. Οι παίκτες δεν παρασύρονται από τις διακυμάνσεις του συστήματος ώστε να αυξομειώνουν έντονα τις δικές τους προσφορές. Η τιμή του 2% ως μέτρο μεταβολής έχει ήδη εφαρμοστεί και σε άλλες εργασίες και γενικά μπορεί να θεωρηθεί επαρκές για την σωστή προσαρμογή του παίκτη. Αυτό σε καμία περίπτωση δεν σημαίνει πως μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις είναι λανθασμένες. Το ποσοστό της μεταβολής έχει να κάνει μόνο με την εμπιστοσύνη που δείχνει ο ίδιος ο παίκτης ως προς τον μαθησιακό αλγόριθμο που χρησιμοποιεί.

Το σημείο στο οποίο πρέπει να επικεντρωθούμε είναι ο τρόπος πληρωμής των παικτών. Στην παρούσα εφαρμογή θεωρούμε πως ο κάθε παίκτης πληρώνεται με την τιμή που υποβάλλει στο σύστημα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, αυτός ο τρόπος είναι πολύ χρήσιμος για να έχουμε μια καλή εικόνα για την επιτυχημένη ή όχι προσαρμοστικότητα του αλγορίθμου.

Η χρήση του προγράμματος που έχουμε αναπτύξει μας δίνει το επόμενο διάγραμμα σχετικά με την κίνηση της αγοράς και επομένως και την τιμή ισορροπίας:



Αυτό που εξάγουμε ως συμπέρασμα από την καμπύλη της αγοράς είναι η ταλάντωση του συστήματος γύρω από την τιμή των 50 €/ MWh. Ο μέσος όρος των τιμών ισορροπίας της αγοράς είναι 49,6535 €/ MWh που βρίσκεται πολύ κοντά στην αναμενόμενη τιμή. Η αρχική απόκλιση δικαιολογείται πλήρως αφού μέχρις ότου οι δύο παραγωγοί με ρυθμιζόμενες προσφορές να προσαρμόσουν τις τιμές τους στην πραγματικότητα της αγοράς η SMP του συστήματος είναι αυξημένη. Από το σημείο στο οποίο και οι τρεις προσφορές βρεθούν να κυμαίνονται σε λογικά πλαίσια, η αγορά ακολουθεί μία πορεία με δύο περιοδικές κινήσεις.

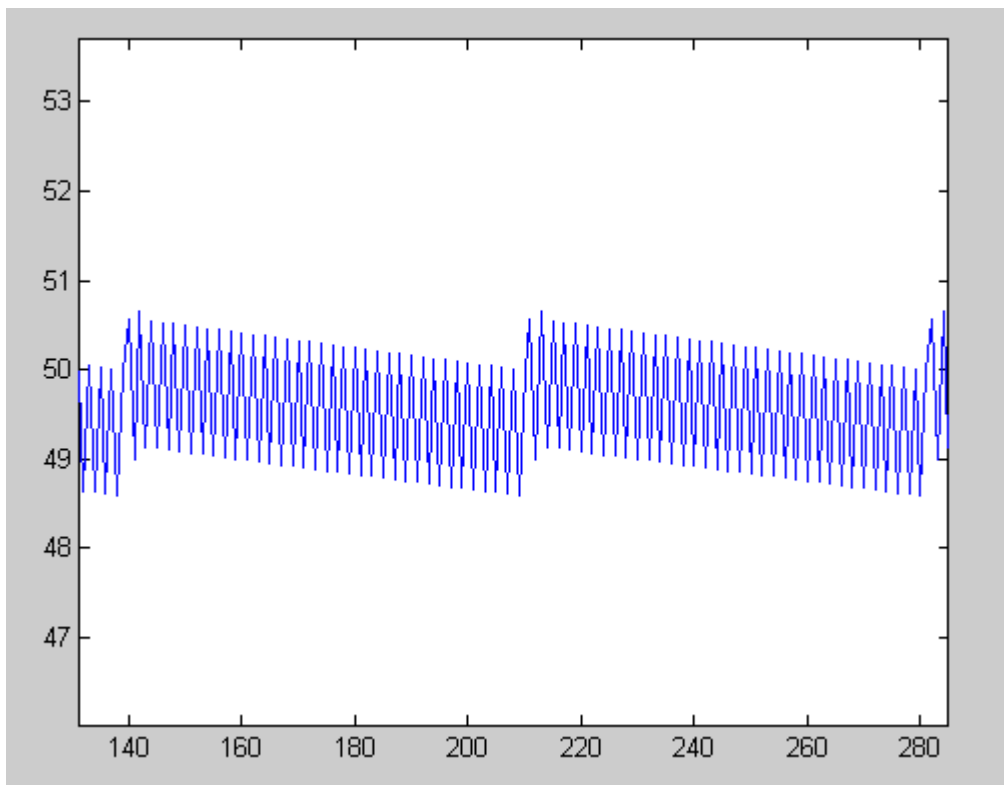
Η πρώτη ταλάντωση έχει περίοδο περίπου εβδομήντα γύρων και ακολουθεί μια πτωτική κλιμακωτή τάση από την μέγιστη τιμή περίπου 51 €/ MWh έως το τοπικό μέγιστο των 50 €/ MWh. Αυτά τα διαρκώς πτωτικά μέγιστα παρατηρούνται λόγω της προσαρμογής των τιμών των δύο παραγωγών που μεταβάλλουν τις προσφορές τους εξαιτίας των διαρκώς μειούμενων κερδών. Κάθε φορά που η τιμή ισορροπίας είναι πάνω από το φράγμα των 50€/ MWh, αυτό πρακτικά σημαίνει πως ο τρίτος παραγωγός πωλεί πλήρως την παραγωγή του, δηλαδή το σύνολο των 100 MWh, και από τους άλλους δύο παραγωγούς καλύπτονται οι υπόλοιπες 80 MWh.

Ταυτόχρονα συμβαίνει μία δεύτερη ταλάντωση με άξονα συμμετρίας τα 50 €/ MWh. Κάθε φορά που η τιμή ισορροπίας βρίσκεται κάτω από τον άξονα συμμετρίας, αυτό σημαίνει πως πωλούν μεγάλες ποσότητες οι δύο παραγωγοί με τις μεταβλητές τιμές· αντιθέτως ο τρίτος παραγωγός δεν πετυχαίνει καμία απολύτως πώληση. Ως αποτέλεσμα των μεγάλων πωλήσεων παρουσιάζονται και υψηλά κέρδη τα οποία σύμφωνα με τον τρόπο καθορισμού της επόμενης προσφοράς, οδηγούν σε τιμές αναθεωρημένες - αυξημένες πάνω από τα 50 €/ MWh. Έτσι το αποτέλεσμα είναι αυτό που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο και επομένως τα νέα κέρδη των δύο παραγωγών είναι πλέον περιορισμένα σε σχέση με τα προηγούμενα. Με αυτή ακριβώς τη λογική δημιουργείται η ταλάντωση με την τιμή ισορροπίας να βρίσκεται μία φορά πάνω από τον άξονα συμμετρίας και μία κάτω από αυτόν.

Τώρα μπορεί να γίνει πλήρως κατανοητή και η πρώτη από τις δύο ταλαντώσεις. Επειδή έχουμε αύξηση και μείωση 2% επί των SMP, πρακτικά σημαίνει πως σε ένα βάθος ορισμέ-

νων γύρων οι αυξήσεις είναι μικρότερες από τις μειώσεις σε απόλυτο μέγεθος. Έτσι τελικά δημιουργείται η πτωτική τάση η οποία διακόπτεται περιοδικά από ραγδαία αύξηση μέχρις ότου αρχίσει εκ νέου η πτωτική τάση. Η αύξηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι όταν η τοπική κατώτατη τιμή φτάσει στο 48,589 μετά την αύξηση κατά 2% η νέα τιμή ισορροπίας είναι 49,99. Επειδή βρισκόμαστε πάλι κάτω από τα 50 €/ MWh (έστω και οριακά) έχουμε σύμφωνα με το σκεπτικό που παρατέθηκε νέα αύξηση της επόμενης SMP. Η νέα τιμή είναι η μέγιστη δυνατή κατά την διάρκεια των ταλαντώσεων και επομένως μέχρις ότου οδηγηθούμε άλλη μια φορά στο κατώτατο επίπεδο τιμών, θα έχουμε ολοένα και μειούμενα τοπικά μέγιστα.

Τα παραπάνω γίνονται πιο κατανοητά αν πάρουμε μεγεθυμένο το διάγραμμα που παρουσιάστηκε προηγουμένως:



Αυτό που αξίζει να αναφερθεί σαφώς είναι πως μετά από την αρχική διαδικασία εκκίνησης του συστήματος, οι τιμές που υποβάλλουν οι δύο παραγωγοί με τις μεταβλητές προσφορές ταυτίζονται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχουμε ορίσει ίδια δυνατότητα αυξομείωσης και για τους δύο και επομένως λόγω της περιορισμένης ακρίβειας των δεκαδικών ψηφίων που επιδρά στην διαδικασία διαλογής των προσφορών, οδηγούμαστε σε ταυτόσημες προσφορές. Έτσι οι δύο παραγωγοί θέτουν στο σύστημα την ίδια ακριβώς τιμή και τελικά ισομοιράζονται το μερίδιο της αγοράς που τους αντιστοιχεί.

Αφού έχει περιγραφεί με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος, θα πρέπει να εξεταστούν και τα κέρδη που παρουσιάζονται από τον κάθε παραγωγό ξεχωριστά. Για να έχουμε ακριβέστερη εικόνα της έκβασης της αγοράς θα γίνει ο υπολογισμός και η παρουσίαση της συνολικής ζήτησης ως στοιχείο της επιτυχίας του προτεινόμενου αλγορίθμου. Έχουμε λοιπόν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	65220	64980	49800
Κέρδη	340740000	337250000	74437000

Από τα όσα φαίνονται από τον πίνακα η μέθοδος που εφαρμόζουν οι δύο πρώτοι παραγωγοί κρίνεται απόλυτα πετυχημένη. Οι μικρές διαφορές που παρουσιάζονται μεταξύ των κερδών είναι αποτέλεσμα των μικρών διαφορών που παρουσιάζονται μεταξύ των πωλήσεων των δύο παραγωγών. Η ύπαρξή τους οφείλεται ως στις διαφοροποιήσεις που προέρχονται από τις αρχικές τιμές που δίνουμε στο σύστημα. Οι αρχικές αυτές τιμές όπως έχουμε ήδη επισημάνει έως ένα βαθμό είναι «τυχαίες» με την έννοια ότι έχουν μια λογική βάση (αποτελέσματα αντίστοιχων εργασιών) και χρησιμοποιούνται για να αρχικοποιήσουν το σύστημα, αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να ισχυριστούμε πως αυτές ακριβώς θα κατέθετε ένας πραγματικός παραγωγός.

Συγκρίνοντας τώρα τα κέρδη των δύο πρώτων με αυτά που παρουσιάζει ο τρίτος, βλέπουμε ότι ισχύει ένας λόγος της τάξης του 4,5. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως η προσαρμοστικότητα των τιμών που θέλαμε να πετύχουμε είναι πραγματικότητα. Τα κέρδη είναι πάνω από τέσσερις φορές μεγαλύτερα από ότι αυτά που θα σημείωνε ένας παραγωγός που θα επέλεγε να μην μεταβάλλει την τιμή προσφοράς.

Για να μπορέσουμε να τοποθετηθούμε λεπτομερέστερα πάνω στην σχετική κίνηση των παικτών, θα πρέπει να προχωρήσουμε και στην σύγκριση των μεριδίων της αγοράς που κέρδισε ο καθένας. Με βάση λοιπόν τα στοιχεία που λαμβάνουμε από το Matlab, βλέπουμε ότι οι δύο πρώτοι παραγωγοί υπερισχύουν του τρίτου με έναν λόγο της τάξης του 1,3. Αυτός ο λόγος είναι πολύ σημαντικός διότι δείχνει ότι ακριβώς λόγω της προσαρμοστικότητας στην τάση της αγοράς, οι δύο πρώτοι παίκτες επικρατούν του 3^{ου}. Αξιοσημείωτο είναι πως τα κέρδη που σημειώνονται είναι αναλογικά πολύ μεγαλύτερα, γεγονός το οποίο οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο έχουμε θεωρήσει ότι ο ISO χρεώνει τους αγοραστές για να πληρωθούν οι παραγωγοί. Αφού λοιπόν ο κάθε παίκτης πληρώνεται με βάση την τιμή που ο ίδιος προτείνει για τον εκάστοτε γύρο του παιχνιδιού, είναι αναμενόμενο το αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει.

Κρίνοντας συνολικά την συμπεριφορά του μαθησιακού αλγορίθμου που προτάθηκε για τον καθορισμό των νέων τιμών των δύο από τους τρεις παίκτες στο υπάρχον σύστημα, έχουμε να σημειώσουμε πως είναι απόλυτα επιτυχημένος. Οι παίκτες που επιλέγουν να διαφοροποιηθούν επικρατούν στο ανταγωνισμό που εμφανίζεται εξασφαλίζοντας σημαντικά μερίδια της αγοράς, ενώ τα κέρδη τα οποία σημειώνουν είναι κατά πολύ ανώτερα από αυτά που θα πετύχαιναν με μία μέθοδο σταθερής τιμολόγησης.

Μετά την πλήρη ανάλυση του αρχικού συστήματος, θα πρέπει τώρα να εξετάσουμε κατά πόσον το συγκεκριμένο σύστημα είναι ευσταθές. Θα προσπαθήσουμε δηλαδή να μεταβάλλουμε τις αρχικές συνθήκες που εφαρμόσαμε, ώστε να δούμε έως ποιο σημείο είναι δυνατόν να εξασφαλιστεί η ευστάθεια. Είναι αυτονόητο πως σε καμία περίπτωση δε θα αλλάξουμε τις ιδιότητες του μοντέλου που μελετούμε. Σε αυτήν την ενέργεια προβαίνουμε διότι από την στιγμή που εξετάζουμε ένα ντετερμινιστικό σύστημα είναι αρκετά πιθανό σε ακραίες περιπτώσεις ρύθμισης των μεταβλητών των παικτών να οδηγούμαστε σε τετριμμένες περιπτώσεις.

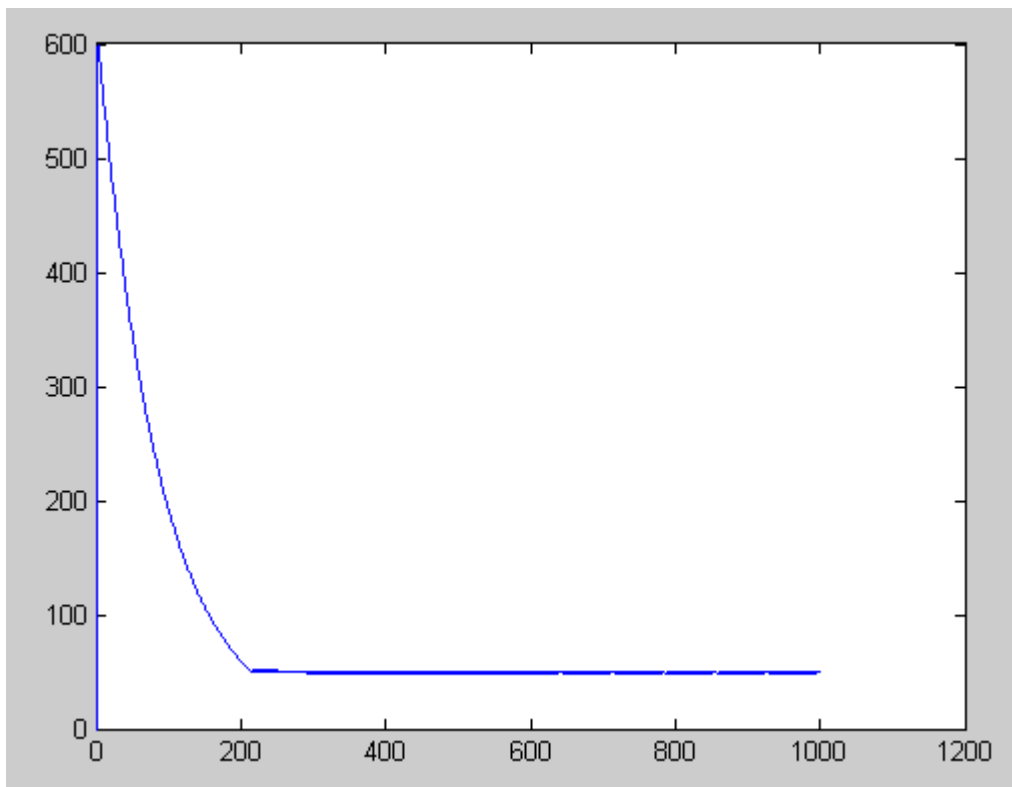
Η πρώτη δοκιμή που θα κάνουμε, είναι να βρούμε αν υπάρχει κάποιο άνω άκρο το οποίο αποδεικνύεται κατά την προσομοίωση ότι αγνοεί – παραγκωνίζει τελείως την ύπαρξη του παραγωγού με την σταθερή τιμή και επομένως τα 50 €/MWh που προηγουμένως αποτέλεσαν τον άξονα συμμετρίας. Ξεκινώντας λοιπόν θα θέσουμε πολύ υψηλές τιμές σε σχέση με την αναμενόμενη ισορροπία των τιμών των παραγωγών. Ορίζουμε λοιπόν ότι για τους τρεις πρώτους γύρους (χρειάζονται για να μπορέσει ο αλγόριθμος να εκκινήσει) ισχύει:

$$P_{1,2,3}^1 = 600$$

$$P_{1,2,3}^2 = 600$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1, 1000]$$

Η προσομοίωση έχει ως αποτέλεσμα το παρακάτω διάγραμμα και αμέσως μετά θα ακολουθήσει η αξιολόγηση της πορείας της αγοράς.



Αυτό που εξάγεται από το διάγραμμα είναι η πτωτική τάση της γραμμής μέχρι το σημείο των 50€/MWh όπου και ισορροπεί η αγορά. Η αρχική ραγδαία πτωτική τάση οφείλεται στα αρνητικά κέρδη που παρουσιάζουν εκατέρωθεν οι δύο παραγωγοί και κατ' επέκταση στην διαρκώς μειούμενη τιμή που προσφέρουν στον ISO. Από τη στιγμή που πλέον έχουμε φτάσει στα 50€/MWh, ακολουθεί η διπλή ταλάντωση που ερμηνεύτηκε στο προηγούμενο τμήμα της διπλωματικής εργασίας. Η μεγέθυνση του διαγράμματος επαληθεύει ακριβώς αυτή την κατάσταση. Εφόσον με τόσο υψηλές αρχικές τιμές δεν είχαμε κατάρρευση της λειτουργίας του συστήματος, μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι δεν υπάρχει πρόβλημα στις πολύ μεγάλες αρχικές τιμές.

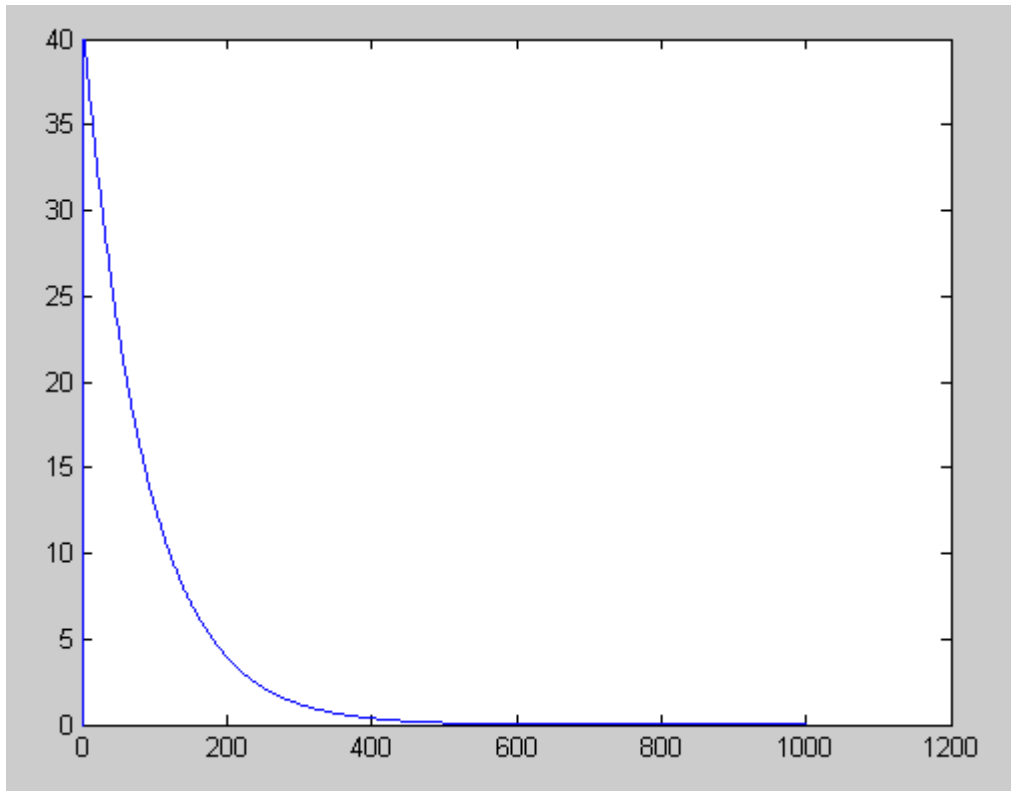
Έπειτα θα πρέπει να δοκιμαστούν αρχικές τιμές κάτω από τον άξονα συμμετρίας. Είναι αυτονόητο ότι πολύ χαμηλές τιμές θα οδηγήσουν το σύστημα στην τετριμμένη περίπτωση οι δύο πρώτοι παραγωγοί να θέτουν μηδενικές προσφορές. Το ερώτημα είναι αν με τιμές σχετικά κοντινές στα 50€/MWh το σύστημα θα οδηγηθεί εκ νέου σε ισορροπία. Οι νέες αρχικές τιμές είναι:

$$P_{1,2,3}^1 = 40$$

$$P_{1,2,3}^2 = 40$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1,1000]$$

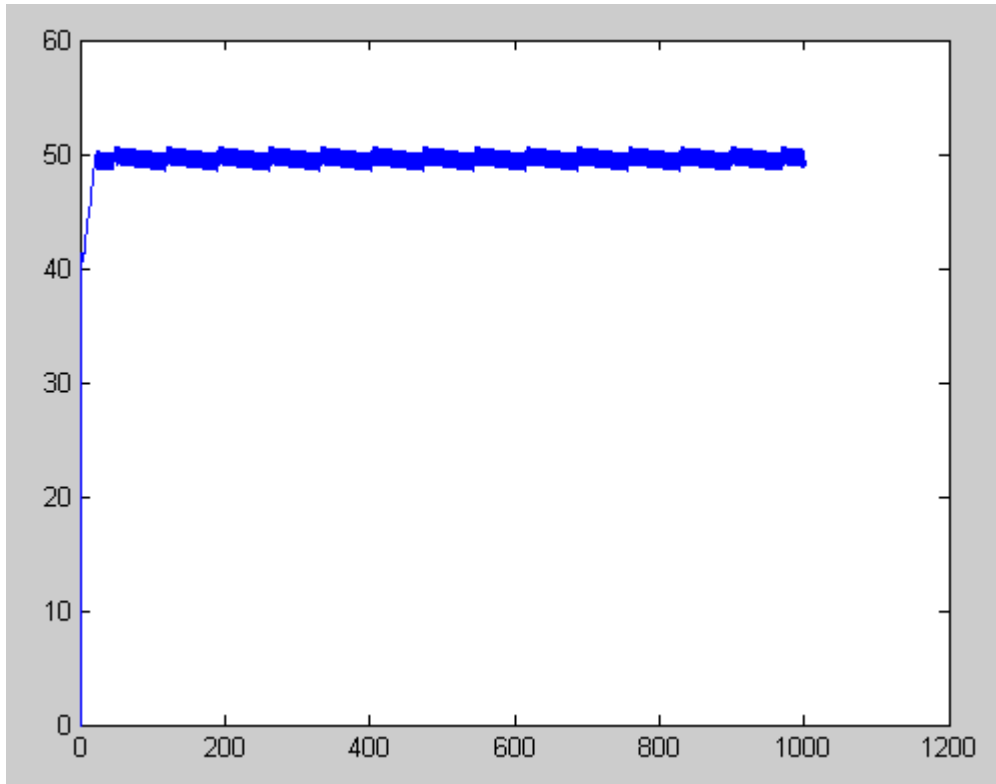
Η προσομοίωση δημιουργεί το παρακάτω διάγραμμα:



Από την εικόνα του διαγράμματος εξάγουμε ως συμπέρασμα ότι με τις νέες αρχικές τιμές το σύστημα οδηγήθηκε σε σβέση. Ο διαμοιρασμός της αγοράς μεταξύ των δύο παικτών δεν μπορεί να αντισταθμίσει το γεγονός της χαμηλής τιμής. Έτσι οι παραγωγοί παρουσιάζουν διαρκώς ζημίες και στην προσπάθειά τους να προσαρμοστούν στην αγορά και να εξασφαλίσουν μεγαλύτερο τμήμα της αγοράς και επομένως και μεγαλύτερα κέρδη, οδηγούνται στο να μειώνουν συνεχώς τις τιμές τους. Έτσι το σύστημα τελικά οδηγείται σε SMP μηδενικές.

Το γεγονός αυτό δεν σημαίνει πως απέτυχε ο αλγόριθμος πρόβλεψης που χρησιμοποιούμε. Αντιθέτως με βάση την λογική της προσπάθειας «ψυχολόγησης» της αγοράς και την επιδίωξη εξασφάλισης ενός μεγαλύτερου μεριδίου αγοράς μέσω της μείωσης των τιμών, το αποτέλεσμα είναι λογικό. Η αποτυχία έγκειται στο ότι οι παραγωγοί καταθέτουν αρχικές τιμές πολύ κατώτερες από το ρεαλιστικό περιθώριο που έχουν ώστε τελικά να σημειώσουν κέρδος.

Στη συνέχεια για λόγους πληρότητας θα παρουσιάσουμε μία προσομοίωση όπου οι αρχικές τιμές είναι μεν κατώτερες του άξονα των 50 €/MWh, όμως βρίσκονται σε ένα όριο που εξασφαλίζει την ισορροπία σε μη μηδενικές τιμές. Το διάγραμμα που επιβεβαιώνει τα όσα περιγράψαμε είναι το ακόλουθο:



Η ανοδική τάση που εμφανίζεται στο αρχικό μέρος του διαγράμματος αντικαθίσταται από την διπλή ταλάντωση που έχει παρουσιαστεί και προηγουμένως. Αξίζει να σημειωθεί πως οι αρχικές είναι οι κάτωθι:

$$P_{1,2,3}^1 = 41.4$$

$$P_{1,2,3}^2 = 39$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1, 1000]$$

Με βάση τα κριτήρια που έχουμε θέσει για την επιτυχία του αλγορίθμου, μπορούμε να αποφανθούμε πως η λειτουργία του συστήματος είναι η αναμενόμενη. Ο τρόπος προσαρμογής των δύο παικτών είναι απόλυτα ικανοποιητικός αφού σε σχετικά μικρό χρόνο ανταπεξέρχεται στην τάση της αγοράς.

Κρίνοντας συνολικά την λειτουργία της προτεινόμενης μεθόδου στο υπάρχον σύστημα και τις ιδιότητες που περιγράψαμε ότι το χαρακτηρίζουν, μπορούμε να πούμε ότι επιτύχαμε τον στόχο μας. Οι δύο παίκτες προσαρμόστηκαν με αρκετά μεγάλη ταχύτητα στις ανάγκες του συστήματος και τα κέρδη που παρουσίασαν στο τέλος των 1000 γύρων ήταν μεγαλύτερα από αυτά που σημείωσε ο παραγωγός με την σταθερή τιμή. Το μόνο πρόβλημα που παρατηρήθηκε είναι πως σε ακραίες περιπτώσεις πολύ χαμηλών αρχικών τιμών, η μέθοδος οδηγεί το σύστημα σε ισορροπία με μηδενικές προσφορές. Ακόμα και εκεί όμως, υπαίτια θεωρείται η αποτυχία των παικτών να επιλέξουν αρχικές τιμές με ρεαλιστικές πιθανότητες εμφάνισης κερδών.

4.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΙΙ (Διαφορετική Τιμολόγηση)

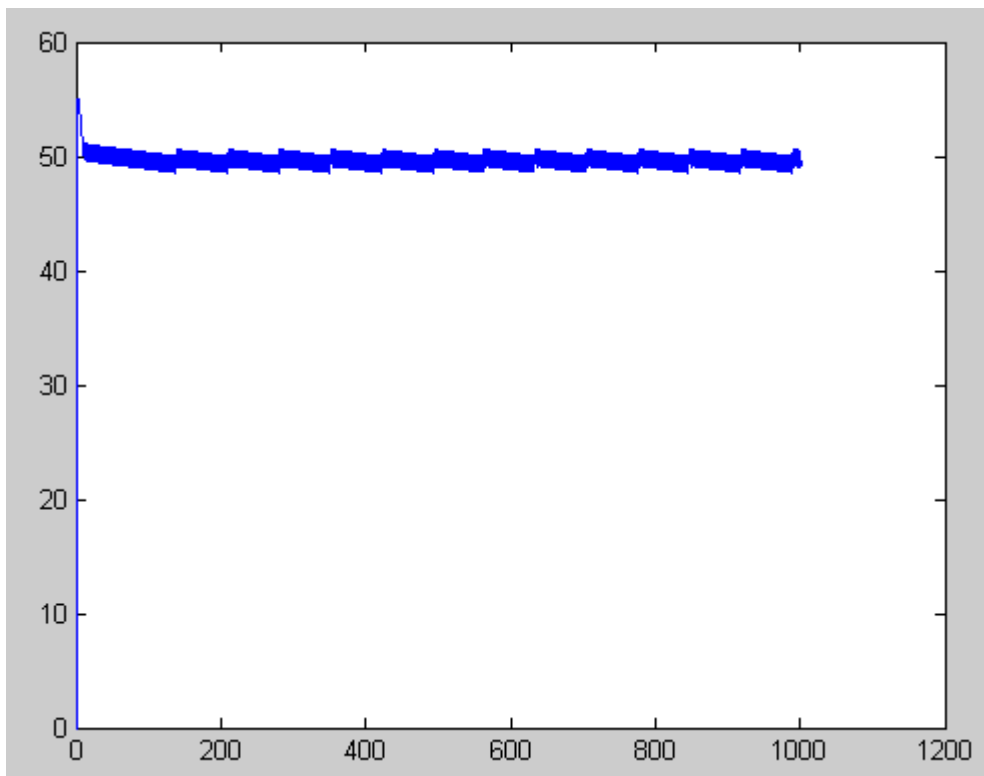
Ως δεύτερη κατηγορία προσομοιώσεων θα παρουσιάσουμε συστήματα τα οποία έχουν σε μεγάλο βαθμό τις ίδιες ιδιότητες με τα προηγούμενα, χαρακτηρίζονται όμως από την ουσιώδη διαφοροποίηση ότι ο τρόπος πληρωμής των παικτών γίνεται με βάση την SMP που υπολογίζεται σε κάθε γύρο. Διατηρώντας για άλλη μια φορά σταθερή τη ζήτηση, δηλαδή οι καταναλωτές δεν παρουσιάζουν ευαισθησία ως προς την τιμή, ο τρόπος επίτευξης κερδών εξαρτάται μόνο από την τιμή στην οποία πωλούν οι παίκτες την παραγόμενη ενέργεια.

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο τμήμα της εργασίας, ο συγκεκριμένος τρόπος τιμολόγησης εξαρτάται από την επιλογή που θα κάνει ο διαχειριστής του συστήματος και είναι το σύνηθες για τις πραγματικές ελεύθερες αγορές. Ακολούθως παρουσιάζεται το διάγραμμα κίνησης της αγοράς ως προς την SMP των διαφόρων γύρων. Προτού όμως παρουσιαστεί το διάγραμμα θα πρέπει να ορίσουμε τις αρχικές τιμές των τριών παραγωγών. Πρέπει να σημειωθεί πως οι παρακάτω τιμές είναι τιμές απόλυτα ρεαλιστικές και για αυτό το λόγο έχει ιδιαίτερη σημασία το αποτέλεσμα που εξάγεται.

$$P_{1,2,3}^1 = 55$$

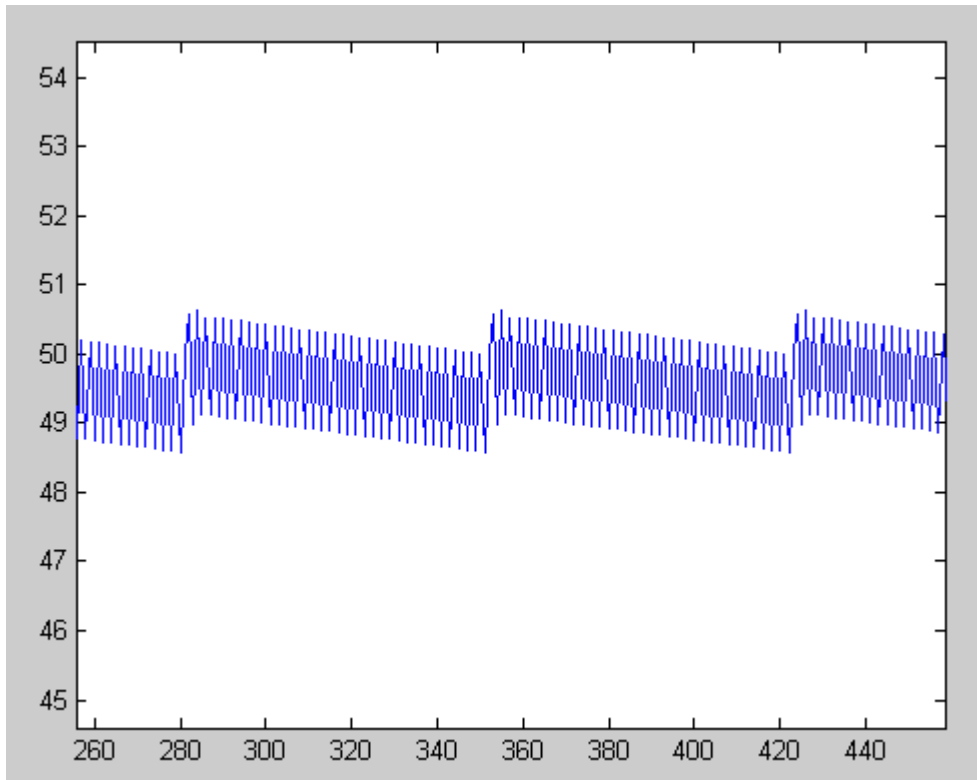
$$P_{1,2,3}^2 = 60$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1,1000]$$



Το διάγραμμα που παρατέθηκε έχει την ίδια μορφή με το αντίστοιχο της περίπτωσης που ο υπολογισμός των εσόδων γινόταν με την τιμή που ο κάθε παραγωγός κατέθετε στο σύστημα. Έχουμε λοιπόν την μορφή με τις δύο περιοδικές κινήσεις της τιμής ισορροπίας. Όπως και στην ανάλυση που προηγήθηκε παρατηρείται η εκατέρωθεν κίνηση των τιμών ισορροπίας πάνω και κάτω από το όριο των 50 €/MWh, καθώς και η πτωτική τάση στις τοπικά μέγιστες τιμές μέχρις ότου με δύο συνεχόμενες ανοδικές κινήσεις η SMP βρεθεί αρκετά πάνω από την τιμή του σταθερού παραγωγού.

Μία μεγέθυνση του κυρίου μέρους της γραφικής παράστασης αποδεικνύει την απόλυτη ταύτιση των δύο περιπτώσεων των συστημάτων:



Και σε αυτή την περίπτωση θα μελετήσουμε τόσο τα συνολικά κέρδη όσο και την ποσότητα παραγωγής που ο κάθε παίκτης διοχέτευσε στο σύστημα κατά την διάρκεια των 1000 γύρων.

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	65220	64980	49800
Κέρδη	340740000	337250000	93578000

Τα αποτελέσματα, όπως παρουσιάζονται και στον πίνακα, είναι αυτά ακριβώς που αναμενόταν. Έχουμε τις ίδιες ακριβώς ποσότητες ενέργειας και για τους τρεις παραγωγούς με αυτές που σημειώθηκαν στην προηγούμενη περίπτωση. Όσον αφορά τα κέρδη, οι δύο πρώτοι παραγωγοί είναι απολύτως φυσικό να έχουν τα ίδια κέρδη με την περίπτωση I. Με δεδομένο ότι η SMP καθορίζεται πάντα από τους ίδιους και σε κανέναν γύρο από τον παραγωγό 3, αυτοί πάντα πληρώνονται με την τιμή που θέτουν. Έως ένα βαθμό αυτό συμβαίνει διότι μετά το

πέρασμα ορισμένων γύρων, οι δύο παραγωγοί θέτουν ακριβώς τις ίδιες προσφορές. Αν δεν γινόταν κάτι τέτοιο, τότε θα είχαμε διαφοροποίηση και στα δικά τους κέρδη.

Ο τρίτος παραγωγός παρουσιάζει σημαντικά αυξημένα κέρδη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο τρίτος παραγωγός έχει έσοδα όταν η τιμή ισορροπίας είναι πάνω από τα 50 €/MWh. Σε αυτή λοιπόν την περίπτωση κατά την τρέχουσα προσομοίωση αντί να αμείβεται με 50 €/MWh, αμείβεται με την τιμή SMP που είναι μεγαλύτερη και επομένως το γινόμενο αυξάνεται, άρα και τα κέρδη του. Ακολουθώντας το ίδιο σκεπτικό περί της επιτυχίας του προτεινόμενου αλγορίθμου θα εξετάσουμε τον λόγο των κερδών μεταξύ ενός εκ των δύο πρώτων παραγωγών και του τρίτου. Βρίσκουμε λοιπόν ότι ο λόγος είναι ίσος με 3,64, ενώ ο αντίστοιχος λόγος των ποσοτήτων παραμένει στο 1,3. Συγκρινόμενο με το προηγούμενο αποτέλεσμα, το τωρινό δείχνει μια βελτίωση προς όφελος του παραγωγού με τη σταθερή τιμή προσφοράς.

Η πραγματικότητα είναι πως η μέχρι τώρα παρουσίαση της δεύτερης περίπτωσης δεν παρουσιάζει κάποιο ενδιαφέρον, ή κάποια μεταβολή που να αξίζει να αναφερθεί. Όμως αν εξετάσουμε το αποτέλεσμα στο οποίο οδηγούμαστε μετά την διαφοροποίηση των αρχικών τιμών για να ελέγξουμε την ευστάθεια της μεθόδου, παρατηρούμε ουσιαστική αλλαγή στην έκβαση της προσομοίωσης.

Πέραν του ότι με πολύ υψηλές αρχικές τιμές μελετούμε τα όρια ευστάθειας του αλγορίθμου, μπορεί να ερμηνευτεί και ως μια προσπάθεια των παικτών να οδηγήσουν το σύστημα σε ανώτερες τιμές και επομένως να εξασφαλίσουν οι ίδιοι μεγαλύτερα κέρδη. Έχουμε λοιπόν τις κάτωθι αρχικές τιμές:

$$P_{1,2,3}^1 = 600$$

$$P_{1,2,3}^2 = 600$$

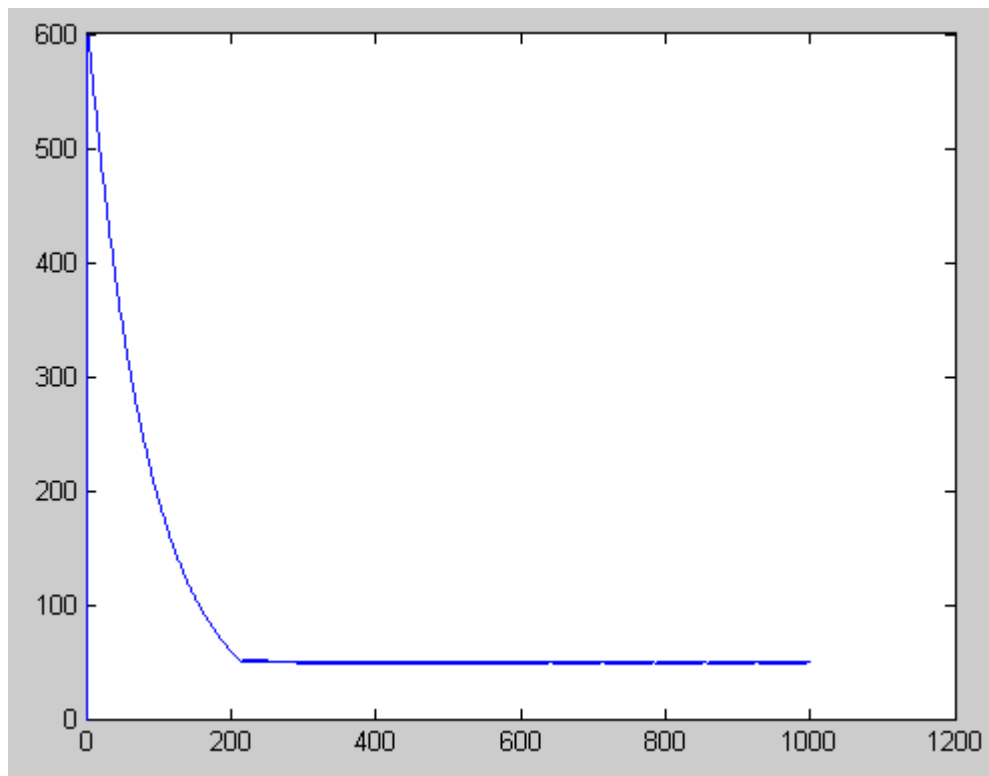
$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1, 1000]$$

Τα αποτελέσματα όσον αφορά την κατανομή της ζήτησης και τα κέρδη είναι

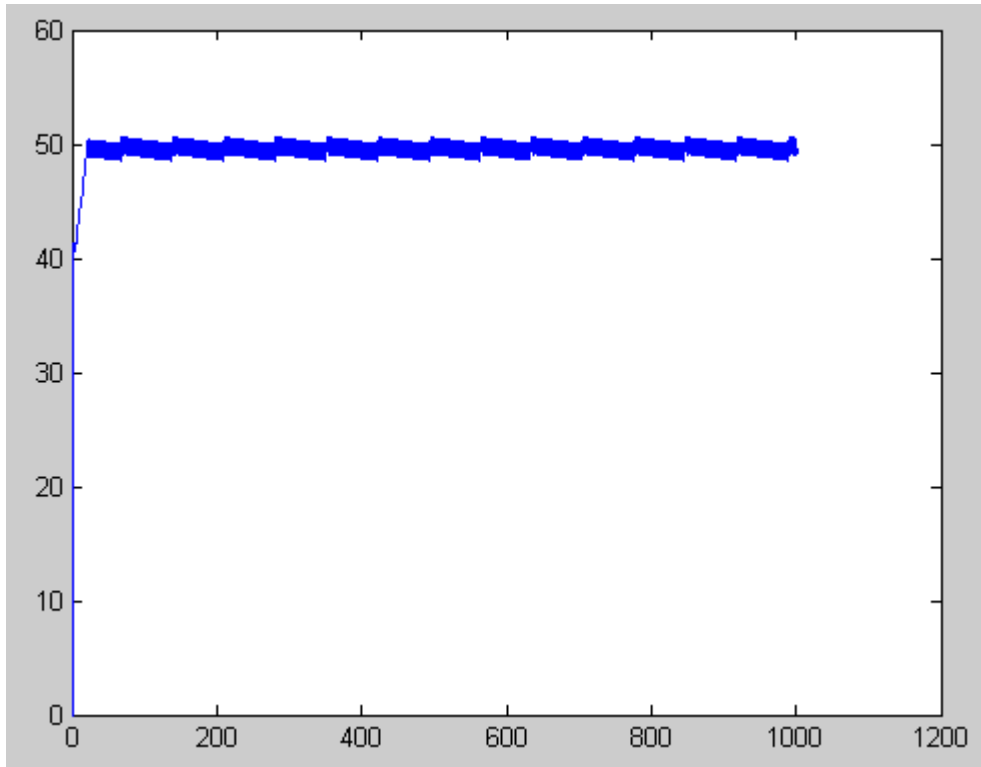
	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	59950	59950	60100
Κέρδη	267980000	267980000	3832800000

Αξίζει να τονιστεί πως πλέον ο τρίτος παραγωγός έχει μεγαλύτερη συνολική ζήτηση και πετυχαίνει μεγαλύτερα κέρδη από τους άλλους δύο. Προφανώς τα ακριβή μεγέθη δεν έχουν ιδιαίτερη αξία δεδομένου ότι οι αρχικές τιμές των δύο πρώτων παικτών είναι δεκαπλάσιες από τις αναμενόμενες- ρεαλιστικές τιμές που ένας μέτριος παίκτης θα έθετε στο σύστημα. Σε κάθε περίπτωση δείχνουν μια τάση σχετικά με το ποιος ωφελείται από τον συγκεκριμένο τρόπο τιμολόγησης. Όπως έχει επισημανθεί και στην παρουσίαση του θεωρητικού μέρους της διπλωματικής, η τιμολόγηση της παραχθείσας ενέργειας στην SMP, ευνοεί τους πιο αδύναμους παίκτες. Έτσι αυτός που δεν μπορεί να παρακολουθήσει την τάση της αγοράς και να προσαρμοστεί σε αυτή, εκμεταλλεύεται την αυξημένη τιμή ισορροπίας που καθορίζουν οι υπόλοιποι παίκτες και πωλεί το προϊόν του σε αυτή την τιμή. Υπό αυτό το πρίσμα τα αποτελέσματα αν και υπερβολικά δικαιολογούνται πλήρως.

Για λόγους πληρότητας παρουσιάζεται και η γραφική παράσταση της πορείας της αγοράς που δεν διαφέρει σε τίποτα από την αντίστοιχη της περίπτωσης I:



Για τις περιπτώσεις που θέτουμε αρχικές τιμές κάτω του ορίου των 50 €/MWh, ισχύουν τα ίδια με όσα λάμβαναν χώρα στην περίπτωση I. Για αυτό το λόγο θα παρουσιάσουμε μόνο το διάγραμμα του συστήματος στο οποίο έστω και οριακά επιτυγχάνεται ισορροπία σε μη μηδενικές τιμές :



Οι αρχικές τιμές που μας οδήγησαν στην παρούσα κατάσταση είναι:

$$P_{1,2,3}^1 = 41.4$$

$$P_{1,2,3}^2 = 40$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1, 1000]$$

Κρίνοντας εξολοκλήρου τον προτεινόμενο μαθησιακό αλγόριθμο για την παρούσα περίπτωση έχουμε να σημειώσουμε ότι και πάλι πετυχαίνει μεγαλύτερα κέρδη από τον παραγωγό με τη σταθερή τιμή πώλησης. Η διαφορά που προκύπτει από τον νέο τρόπο τιμολόγησης ευνοεί τον τρίτο παραγωγό, αλλά όχι σε βαθμό που να υποκαθιστά το πλεονέκτημα που της προσαρμοστικότητας στην τάση της αγοράς. Τα αποτελέσματα αντιστρέφονται μόνο όταν οι υπό κατάθεση αρχικές τιμές των παικτών κυμαίνονται σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα. Σε αυτό το σημείο όμως δεν μπορούμε να μιλήσουμε για αποτυχία της μεθόδου, αλλά για αποτυχία των παραγωγών να θέσουν τιμές που δυνητικά μπορούν να τους εξασφαλίσουν την επικράτηση στην αγορά.

4.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΙΙΙ (Μεταβλητή Ζήτηση)

Οι μέχρι τώρα προσομοιώσεις περιορίζονταν σε συστήματα τα οποία χαρακτηρίζονταν από σταθερή ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια. Τέτοιου είδους συστήματα έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την κατανόηση της λειτουργίας της αγοράς, αλλά δεν μπορούν να περιγραφούν ως ρεαλιστικά. Στην πραγματική οικονομική δραστηριότητα το μέγεθος της ζήτησης είναι συνυφασμένο με το επίπεδο τιμών στο οποίο κινείται κάθε στιγμή η αγορά.

Στις επόμενες προσομοιώσεις θα προχωρήσουμε στον χωρισμό της αγοράς σε τρεις διακριτές περιοχές τιμών. Η πρώτη περιοχή τιμών θεωρείται ως εξαιρετικά χαμηλή. Εκτιμώντας λοιπόν οι αγοραστές πως η τιμή η οποία ανήκει σε αυτό το τμήμα είναι εξαιρετικά συμφέρουσα, αυξάνουν τη ζήτησή τους ώστε να καλύψουν τις ανάγκες τους με το χαμηλότερο κόστος που προέκυψε. Η αύξηση της ζήτησης μπορεί να θεωρηθεί και ως η δυνατότητα (λόγω της νέας τιμής) να πραγματοποιήσει ο αγοραστής ενέργειες οι οποίες υπό άλλες συνθήκες δε θα θεωρούνταν ως προτεραιότητες και επομένως δε θα πραγματοποιούνταν.

Η δεύτερη κατηγορία τιμών είναι αυτή στην οποία είχαμε κίνηση των τιμών ισορροπίας και στις προηγούμενες περιπτώσεις. Όταν η τιμή επανέρχεται σε αυτά τα επίπεδα έχουμε δύο επιλογές:

- Επαναφέρουμε τη ζήτηση στην αρχική τιμή
- Συνεχίζουμε να κινούμαστε με την τελευταία τιμή της ζήτησης

Είναι προφανές πως μεγαλύτερο ενδιαφέρον έχει το τι θα συμβεί αν κρατήσουμε την τελευταία ζήτηση.

Στην τρίτη κατηγορία τιμών η αναμενόμενη αντίδραση των αγοραστών είναι η μείωση της ποσότητας ενέργειας την οποία είναι διατεθειμένοι να αγοράσουν. Η εκτίμηση πως η τιμή είναι αρκετά υψηλή οδηγεί στην περικοπή δαπανών για μια σειρά από ανάγκες και για αυτό ακριβώς το λόγο η συνολική ζήτηση μειώνεται. Κάθε φορά λοιπόν που βρισκόμαστε πάνω από το όριο το οποίο θέσαμε, η ζήτηση μειώνεται κατά μια σταθερή ποσότητα.

Σε κάθε περίπτωση τα δύο όρια που θα θέσουμε καθώς και οι τιμές αυξομείωσης είναι υποκειμενικές και δεν μπορούν να θεωρηθούν ως οι μοναδικές δυνατές. Ανεξάρτητα πάντως από το αριθμητικό μέρος, έχει μεγάλη σημασία η προσαρμοστικότητα του αλγορίθμου και η αξιοποίηση της αλλαγής της ζήτησης με σκοπό να επιτευχθούν τα μέγιστα δυνατά κέρδη.

Στην πρώτη περίπτωση που θα μελετήσουμε, ορίζουμε το κάτω όριο στην τιμή των 50 €/MWh και το άνω όριο στα 75 €/MWh. Η κατώτερη τιμή ταυτίζεται με την τιμή του σταθερού παραγωγού. Έχουμε περιγράψει στο θεωρητικό μέρος της παρούσας εργασίας πως ο σταθερός παραγωγός θέτει τιμή τέτοια ώστε να διευκολύνεται η χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος από την κοινωνία και επομένως μπορούμε να υποθέσουμε πως όταν προσφέρεται τιμή κατώτερη αυτής, το καταναλωτικό κοινό αυξάνει τη ζήτησή του. Το άνω όριο έχει τοποθετηθεί με βάση την εκτίμηση του γράφοντος σύμφωνα με τιμές που αποτέλεσαν ανώτατα όρια σε άλλες εργασίες προσομοίωσης καθώς και τις ανώτατες τιμές που παρατηρήθηκαν σε πραγματικές ελεύθερες αγορές ενέργειας (κυρίως στην Αμερική- Midwest, New England κ.α.).

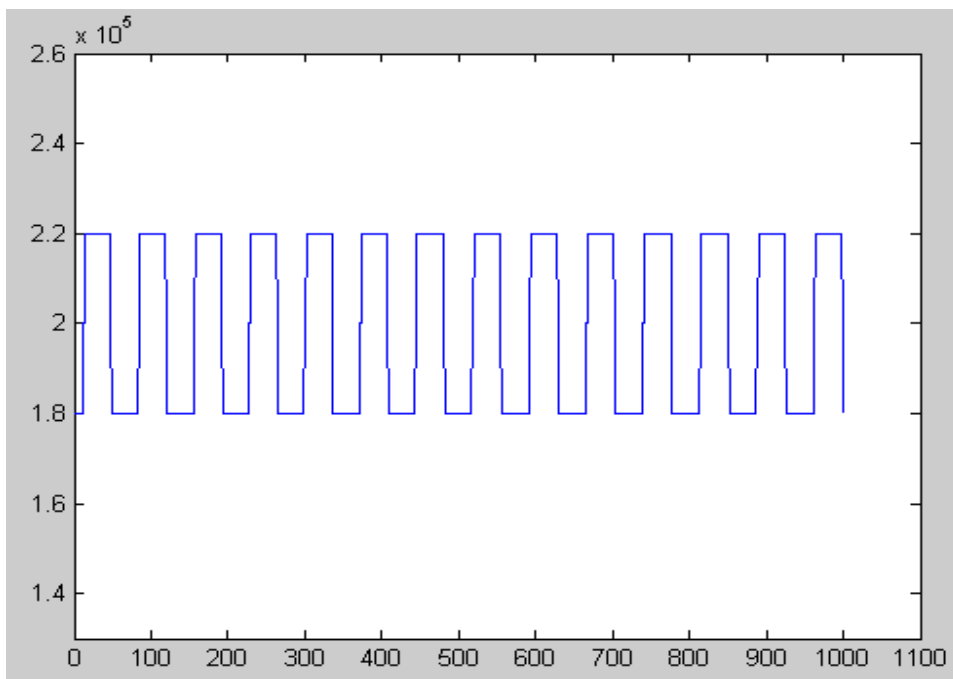
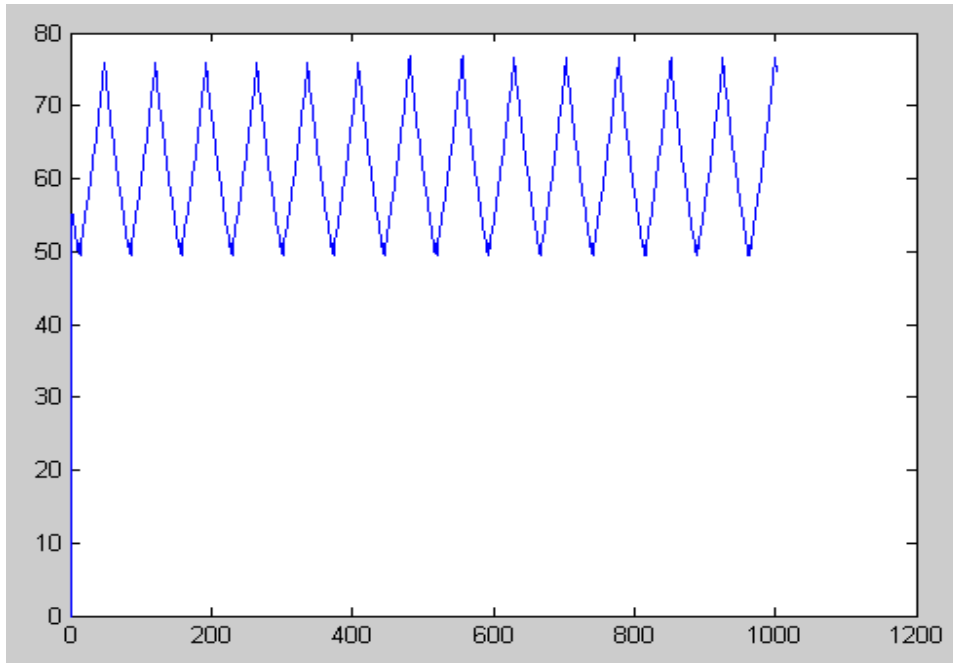
Η αρχική μεταβολή της ζήτησης θα τεθεί ίση με $\pm 20\text{MWh}$ αντίστοιχα για το κάτω και το άνω όριο. Η συγκεκριμένη μεταβολή κινείται σε λογικά πλαίσια καθώς αντιπροσωπεύει μία σαφή τάση ως αποτέλεσμα της απόφασης που λαμβάνουν οι αγοραστές, χωρίς όμως να θεωρείται παρορμητική. Οι αρχικές τιμές είναι αυτές που ακολουθούν:

$$P_{1,2,3}^1 = 55$$

$$P_{1,2,3}^2 = 60$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1, 1000]$$

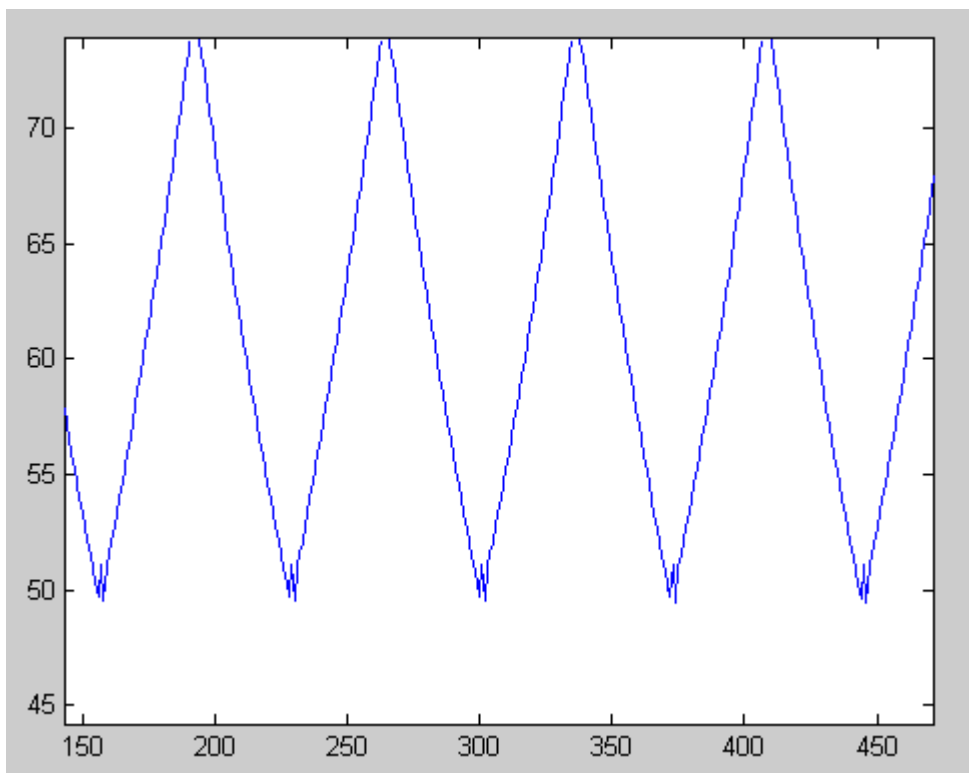
Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν δύο διαγράμματα, ένα για την μεταβολή της τιμής ισοροπίας και ένα για την αυξομείωση της ζήτησης.



Το διάγραμμα των SMP έχει την οδοντωτή μορφή που παρουσιάζεται λόγω της αυξομείωσης της ζήτησης. Επομένως η μελέτη και η ερμηνεία της συμπεριφοράς του συστήματος θα πρέπει να αρχίσει από το διάγραμμα της ζήτησης.

Σε αυτό παρατηρούμε πως έχουμε σχεδόν τετραγωνική μορφή για την μεταβολή της συνολικής ζήτησης. Από την αρχική τιμή των 180 MWh οδηγούμαστε στο μέγιστο των 220 MWh για να ακολουθήσει εκ νέου πτώση μέχρι την τιμή των 180 MWh. Με δεδομένο ότι έχουμε επιλέξει την τιμή της αυξομείωσης στις 20 MWh, είναι προφανές ότι η διαδικασία της μεταβολής αποτελείται από δύο βήματα τόσο για την αύξηση της ποσότητας, όσο και για τη μείωσή της. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως στις ταλαντώσεις που πραγματοποιούνται, η τιμή ισορροπίας του συστήματος μετράται δύο φορές κάτω από το κατώτατο όριο και δύο φορές πάνω από το ανώτατο. Αντιθέτως μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει μια σχετική ηρεμία στα δύο άκρα αφού για 33 γύρους η τιμή της SMP παραμένει εντός των ορίων και έτσι δεν προκαλεί μεταβολή και της συνολικής υπολογισμένης ζήτησης.

Αυτό που έχει ιδιαίτερη αξία είναι μια στιγμιαία ταλάντευση στα όρια των 50 €/ MWh, με την τιμή ισορροπίας να βρίσκεται οριακά πάνω από το όριο προτού πέσει για δεύτερη φορά κάτω από αυτό. Έτσι οι δύο γύροι που επισημάναμε προηγουμένως ότι το σύστημα παραμένει κάτω από το όριο δεν είναι στην πράξη συνεχόμενοι όπως άλλωστε φαίνεται και από το διάγραμμα που ακολουθεί.



Η στιγμιαία αυτή ταλάντευση είναι αποτέλεσμα του τρόπου υπολογισμού της νέας τιμής που καταθέτουν οι δύο παραγωγοί με βάση τα κέρδη που σημείωσαν στον προηγούμενο γύρο. Στη συνέχεια θα καταγράψουμε τα συνολικά κέρδη καθώς και την ποσότητα ενέργειας που ο διαχειριστής ζήτησε να προμηθεύσει το σύστημα ο κάθε παραγωγός.

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	51620	51380	97200
Κέρδη	455150000	451660000	148618000

Για να αξιολογήσουμε σωστά τη λειτουργία του αλγορίθμου μας, ως τιμή για τον υπολογισμό των κερδών λάβαμε την τιμή που ο κάθε παραγωγός θέτει στο σύστημα και όχι την SMP. Για αυτό τον λόγο παρατηρούμε πως παρότι η ζήτηση του τρίτου παραγωγού είναι σχεδόν διπλάσια από την αντίστοιχη που μετράται για τους άλλους δύο παραγωγούς, τα κέρδη που σημειώνουν οι δύο πρώτοι παίκτες είναι πάνω από τρεις φορές μεγαλύτερη.

Η υπεροχή στη ζήτηση του παίκτη με τη σταθερή τιμή πώλησης οφείλεται στο γεγονός πως η τιμή ισορροπίας της αγοράς στη συντριπτική πλειοψηφία των γύρων είναι πάνω από τα 50 €/ MWh και επομένως διαθέτει το σύνολο της παραγωγής του. Επίσης είναι λογικό το αποτέλεσμα της αυξημένης συνολικής ζήτησης σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις που μελετήσαμε, εφόσον σε αρκετούς γύρους είχαμε τιμή ζήτησης ίση με 220 MWh.

Από την άλλη πλευρά τα σημαντικά βελτιωμένα κέρδη των δύο πρώτων παραγωγών, παρά τη μείωση της ζήτησής τους, οφείλονται στην μεγάλη διακύμανση της SMP προς ανώτερες τιμές σε σχέση με αυτές που παρατηρούσαμε στα προηγούμενα συστήματα. Έτσι τα κέρδη που παρουσιάζονται στους γύρους όπου η προσφερόμενη τιμή επικρατεί του ανταγωνισμού είναι εξαιρετικά μεγάλα, διασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο μια άκρως ικανοποιητική κερδοφορία.

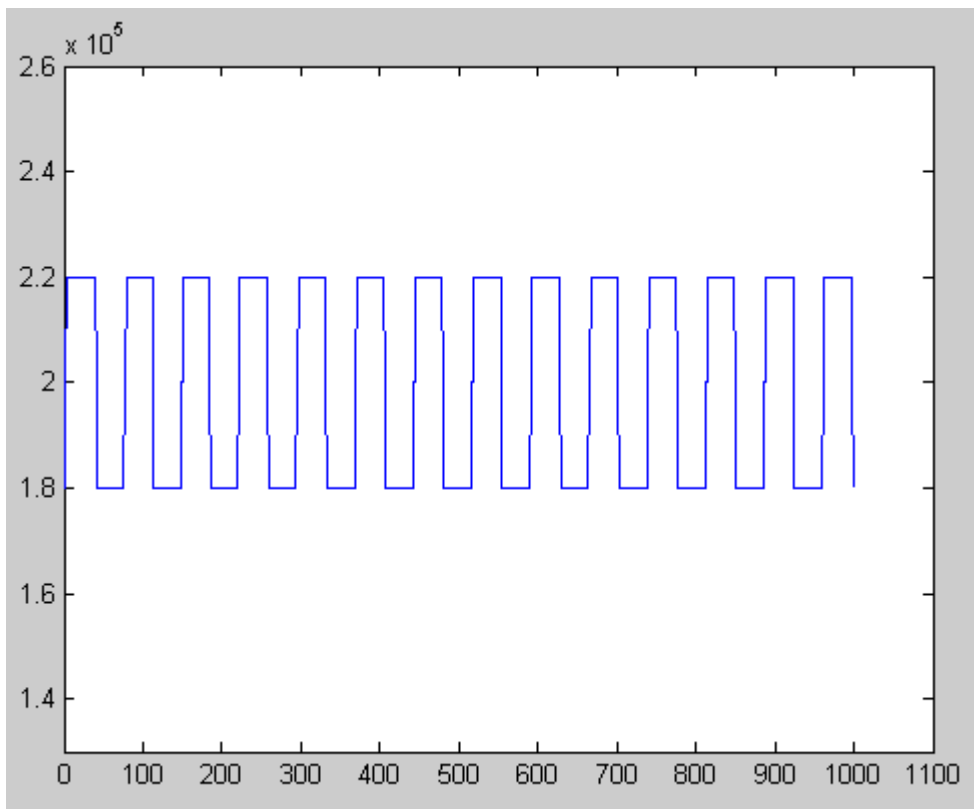
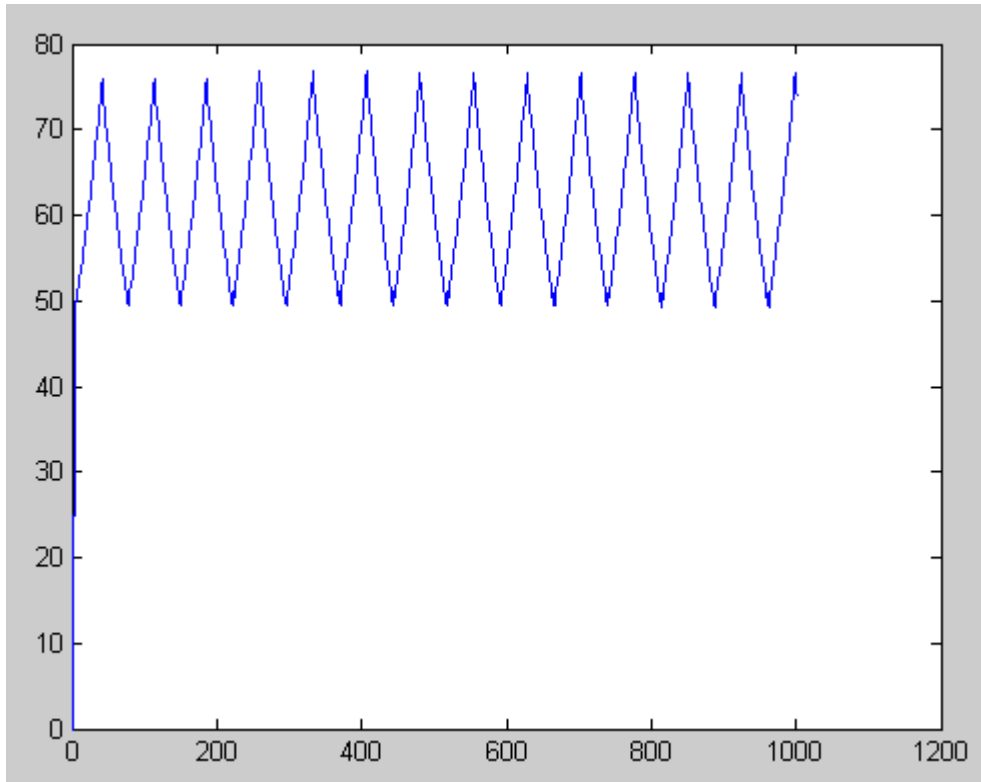
Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τι συμβαίνει στην περίπτωση που οι αρχικές τιμές είναι χαμηλές. Θυμίζουμε πως στις περιπτώσεις αυτές, κατά τα προηγούμενα τρεξίματα είχαμε κατάρρευση του συστήματος και ισορροπία σε μηδενικές τιμές. Επιλέγουμε λοιπόν:

$$P_{1,2,3}^1 = 25$$

$$P_{1,2,3}^2 = 25$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1,1000]$$

Ακολουθούν τα διαγράμματα για την πορεία της τιμής ισορροπίας καθώς και η αυξομείωση της ζήτησης.



Έχει ιδιαίτερη σημασία ότι όταν υπάρχει η δυνατότητα να αυξηθεί η ζήτηση, τότε παρότι οι αρχικές τιμές των δύο πρώτων παραγωγών είναι πολύ χαμηλές το σύστημα δεν οδηγείται σε κατάρρευση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως μόλις η ζήτηση ξεπεράσει τις 200 MWh

τότε αυτομάτως εισέρχεται στην αγορά και ο τρίτος παραγωγός και η SMP γίνεται 50 €/MWh. Έτσι οι τιμές που υπολογίζονται σύμφωνα με τον αλγόριθμο που προτείνουμε με γοργά βήματα φτάνουν στο κάτω όριο και στη συνέχεια ακολουθούν την πορεία της περίπτωσης που περιγράψαμε ακριβώς παραπάνω. Για αυτό το λόγο άλλωστε τα διαγράμματα έχουν ακριβώς την ίδια μορφή, ενώ και ο υπολογισμός των κερδών πιστοποιεί πως δεν έχει υπάρξει κάποια μεταβολή στα αποτελέσματα του παιγνίου.

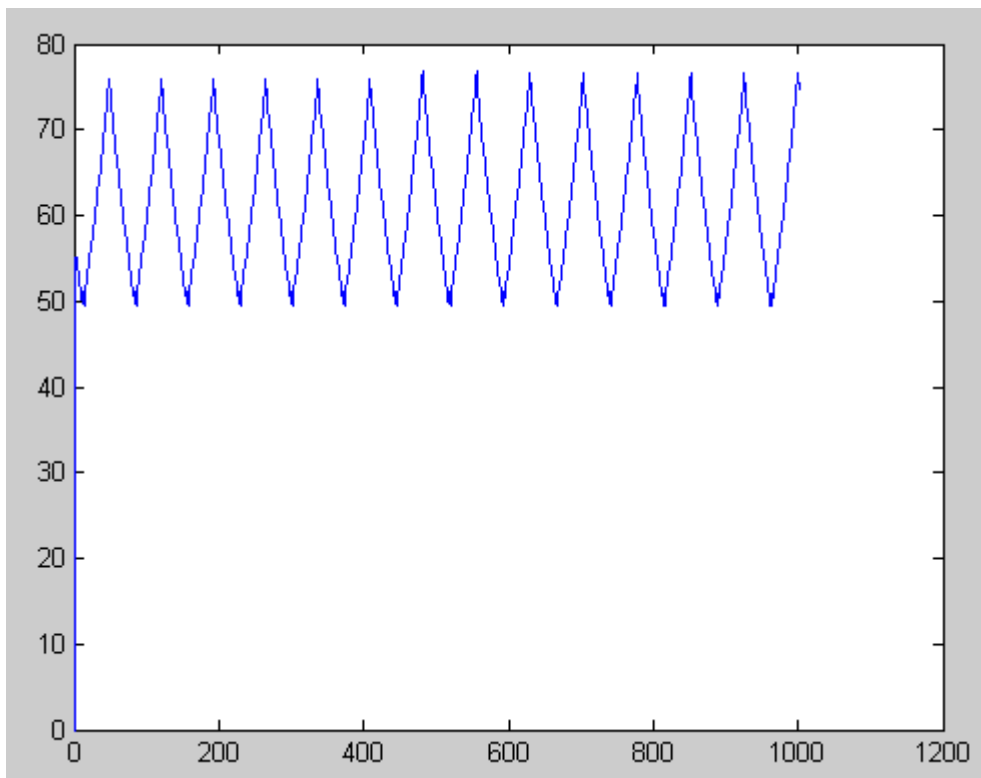
Παραμένοντας στην ίδια κατηγορία συστημάτων (με μεταβλητή ζήτηση) θα προχωρήσουμε με την αξιολόγηση μιας προσομοίωσης στην οποία αλλάζει ο τρόπος υπολογισμού των εσόδων. Έτσι λοιπόν στο επόμενο παράδειγμα που θα μελετήσουμε, ο ISO αποδίδει έσοδα στον κάθε παίκτη ίσα με την ποσότητα που διέθεσε στην αγορά επί την τιμή ισορροπίας του συστήματος για τον συγκεκριμένο γύρο. Οι αρχικές τιμές είναι οι παρακάτω:

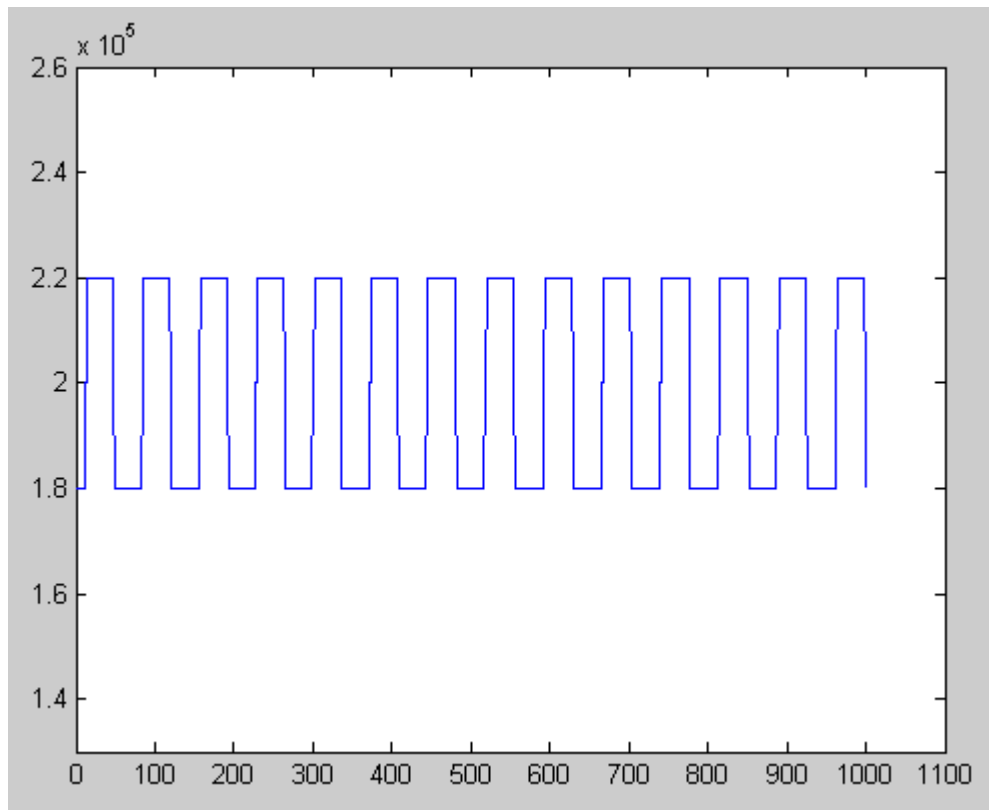
$$P_{1,2,3}^1 = 55$$

$$P_{1,2,3}^2 = 60$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1,1000]$$

Ακολουθούν τα διαγράμματα της πορείας της SMP και της συνολικής ζήτησης:





Είναι προφανές ότι για ακόμα μια φορά έχουμε επανάληψη των διαγραμμάτων. Η ουσιαστική διαφορά είναι στα υπολογιζόμενα κέρδη και μπορεί να γίνει αντιληπτή στον πίνακα που ακολουθεί:

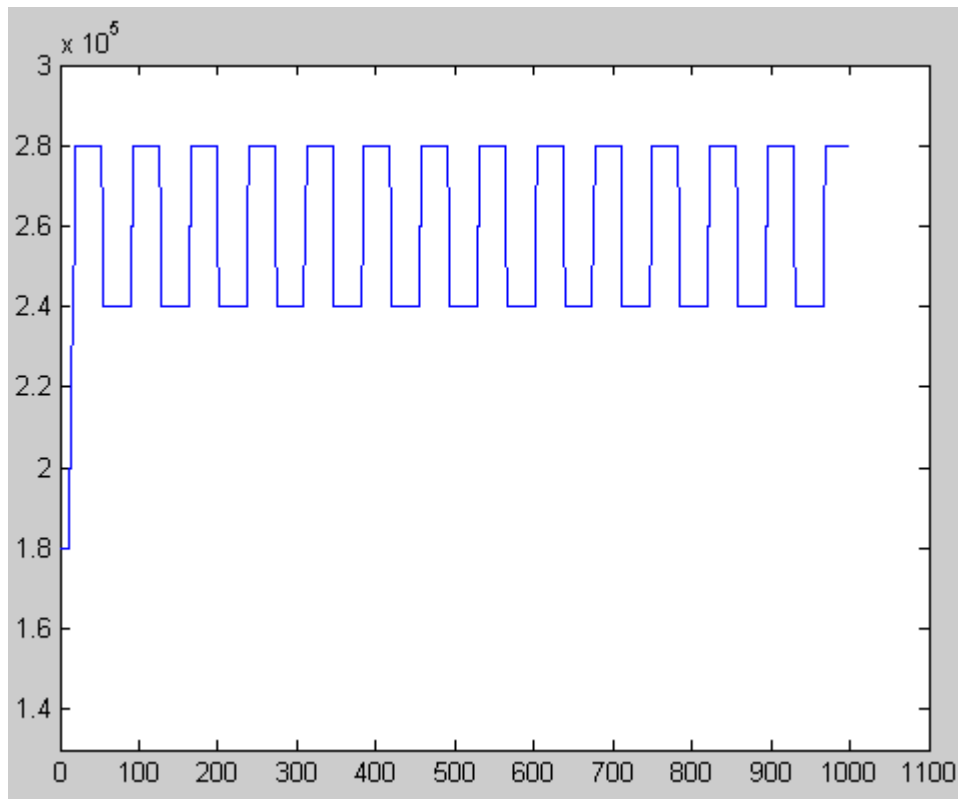
	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	51620	51380	97200
Κέρδη	455150000	451660000	131250000

Βλέπουμε πως πλέον ο παραγωγός με τα μεγαλύτερα κέρδη είναι αυτός που καταθέτει σταθερή τιμή. Για την ακρίβεια σε σχέση με την πρώτη προσομοίωση της συγκεκριμένης περίπτωσης υπάρχει αύξηση των κερδών κατά 8,8. Στην πράξη αυτό που συνέβη είναι πως η μεγαλύτερη ζήτηση που παρουσίασε ο παίκτης μετουσιώθηκε σε κέρδη. Με δεδομένο ότι διέθετε συνέχεια το σύνολο της παραγωγής του, την ώρα που η τιμή ισορροπίας καθορίζεται από τον ανταγωνισμό των δύο πρώτων παραγωγών, το αποτέλεσμα είναι προδιαγεγραμμένο. Σε αντίθεση με ότι παρατηρήσαμε στη δεύτερη περίπτωση, εδώ επειδή δεν πέφτουμε κάτω από τα 50 €/ MWh και επομένως ο τρίτος παίκτης δεν χάνει τίποτα από την έλλειψη προσαρμοστικότητας.

Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι τα λιγότερα κέρδη των δύο πρώτων παραγωγών οφείλονται στον υψηλό ανταγωνισμό μεταξύ τους και στην εκμετάλλευσή του από τον τρίτο.

Για να κλείσουμε τη μελέτη της συγκεκριμένης περίπτωσης, θα εξετάσουμε τι θα συμβεί αν υποθέσουμε πως οι συναρτήσεις κόστους των παραγωγών είναι διαφορετική από αυτή που έχουμε υποθέσει. Έτσι λοιπόν ο συντελεστής του τετραγωνικού όρου υποθέτουμε ότι υποδιπλασιάζεται – νέα τιμή 0,0002

Η προσομοίωση του συστήματος οδηγεί στο ίδιο διάγραμμα για την SMP, αλλά σε ελαφρώς διαφοροποιημένο διάγραμμα ζήτησης:



Ο πίνακας των κερδών και της ζήτησης είναι:

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	51620	51380	97200
Κέρδη	2407000000	2399700000	2130500000

Τα αυξημένα κέρδη οφείλονται στο μικρότερο κόστος παραγωγής, αλλά δεν μπορεί να θεωρηθεί ρεαλιστική διότι η συνάρτηση κόστους θα πρέπει να εξάγεται από πραγματικές μονάδες παραγωγής. Το σημαντικό είναι πως για ακόμα μία φορά οι δύο παραγωγοί με τη μεταβλητή τιμή πώλησης παρουσιάζουν μεγαλύτερα κέρδη από τον τρίτο.

Κρίνοντας συνολικά την επίδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου στην παρούσα περίπτωση, μπορεί να χαρακτηριστεί για ακόμα μια φορά ως απόλυτα επιτυχημένη. Στην πλειοψηφία των προσομοιώσεων η προσαρμοστικότητα των δύο πρώτων παικτών επικράτησε της «ασφάλειας» του τρόπου τιμολόγησης του τρίτου παίκτη. Έτσι παρότι αυτός είχε μεγαλύτερη συνολική ζήτηση, τα κέρδη (που είναι άλλωστε και ο σκοπός των παικτών) ήταν μικρότερα. Η μόνη εξαίρεση παρουσιάστηκε όταν η απόδοση των κερδών γίνεται με βάση την τιμή ισορροπίας και όχι την προσφερόμενη τιμή. Όπως έχει ήδη σημειωθεί αυτού του τύπου η απόδοση εσόδων ευνοεί τον ασθενέστερο και ως εκ τούτου δεν ενδείκνυται για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Ο ανταγωνισμός που οδήγησε τους δύο παίκτες σε μικρότερα κέρδη, σε μια ρεαλιστική αγορά μπορεί να γίνει αντιληπτή και επομένως έστω και προσωρινά να μεταβληθεί ο τρόπος καθορισμού της νέας τιμής. Έτσι ακόμα και σε αυτή την περίπτωση δεν μπορούμε να μιλήσουμε για αποτυχία της μεθόδου μας.

4.4 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ IV (Αλλαγή προσαρμογής)

Η μέχρι τώρα ανάλυση των διαφορών συστημάτων έχει περιοριστεί στις περιπτώσεις όπου τα ποσοστά αύξησης και μείωσης της επόμενης τιμής των παραγωγών είναι ίδια. Κάτι τέτοιο αποτελεί προφανώς τη μέση λύση του προβλήματος υπολογισμού της νέας προσφερόμενης τιμής. Όμως πέρα από αυτό υπάρχει δυνατότητα να μεταβληθεί ο μαθησιακός αλγόριθμος ώστε να μπορέσει να καλύψει τόσο τους αισιόδοξους παίκτες όσο και τους απαισιόδοξους.

Σε πρακτικό επίπεδο, επιλέγουμε για έναν παίκτη ο οποίος είναι συγκρατημένα αισιόδοξος πως ο νέος αλγόριθμος με βάση τον οποίο θα καθορίζεται η νέα του τιμή για το σύστημα θα προϋποθέτει αύξηση κατά 5% ενώ σε περίπτωση που χρειαστεί μείωση θα είναι σε ποσοστό 2%.

$$J_{i-1} > J_{i-2} \Rightarrow a = 5\%$$

$$J_{i-1} < J_{i-2} \Rightarrow a = -2\%$$

Η υπερδιπλάσια απόλυτη τιμή της περίπτωσης ανόδου σε σχέση με αυτή της πτώσης, διασφαλίζει πως υπάρχει σαφής διαφοροποίηση με τους παίκτες που έχουμε μελετήσει έως τώρα. Έτσι λοιπόν ο αισιόδοξος παίκτης θεωρεί πως τα σημάδια ανοδικής τάσης είναι επαρκή να εξασφαλίσουν σημαντικά κέρδη στο μέλλον και προσπαθεί να ευνοηθεί από αυτό αυξάνοντας την τιμή με σκοπό να παρατηρηθεί και βραχυπρόθεσμη αύξηση της κερδοφορίας.

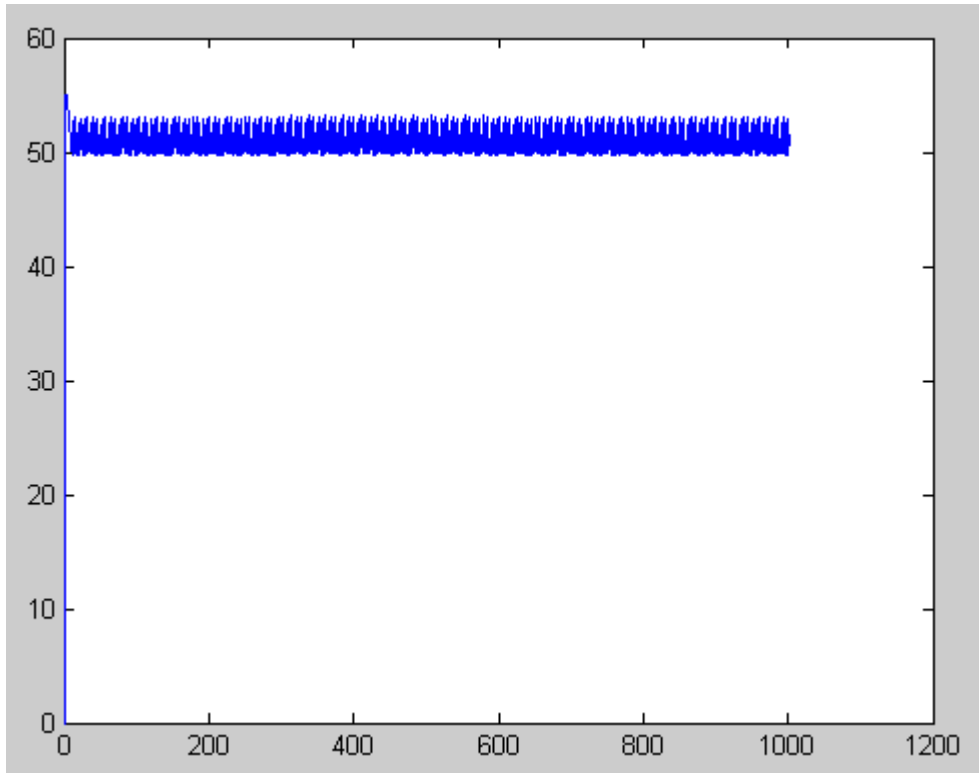
Οι αρχικές τιμές του συστήματος είναι:

$$P_{1,2,3}^1 = 55$$

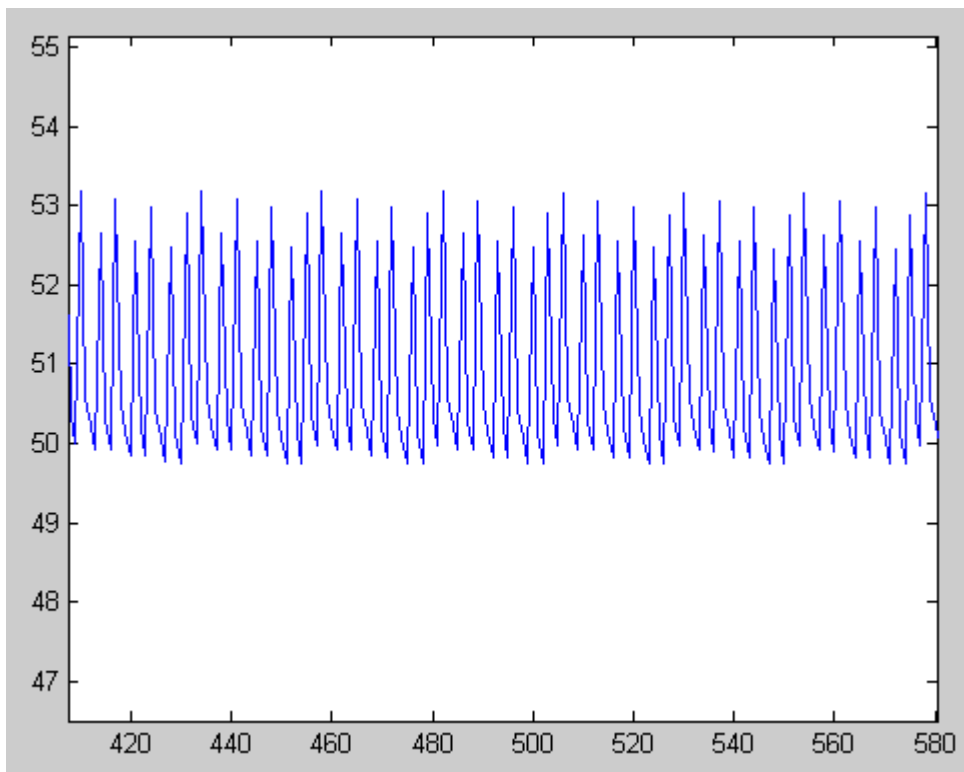
$$P_{1,2,3}^2 = 60$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1, 1000]$$

Με το πρόγραμμα προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε παίρνω το παρακάτω διάγραμμα για την κίνηση της τιμής ισορροπίας στη διάρκεια των γύρων:



Αυτό που είναι σαφές από μία πρώτη αξιολόγηση του διαγράμματος είναι πως για ακόμα μια φορά το σύστημα ταλαντώνεται. Όμως είναι πολύ σημαντικό ότι σε αυτή την περίπτωση η ταλάντωση γίνεται σχεδόν ολοκληρωτικά πάνω από το φράγμα των 50 €/ MWh. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η συμπεριφορά του παιγνίου, ακολουθεί μία μεγέθυνση του προηγούμενου διαγράμματος με σκοπό να είναι ευδιάκριτη η εσωτερική διακύμανση των SMP.



Ταυτόχρονα με την προσπάθεια εποπτικής ερμηνείας του διαγράμματος πρέπει να ληφθούν υπόψιν τα ακριβή αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις τιμές ισορροπίας. Παρατηρώντας τον πίνακα με τις τιμές, βλέπουμε ότι για κάθε φορά που το σύστημα έχει τιμή ισορροπίας κάτω από τα 50 €/ MWh, ακολουθούν δύο ή τρεις γύροι στους οποίους η τιμή είναι πάνω από αυτό το όριο. Ο μέσος όρος των SMP υπολογίζεται στα 50,8970 €. Αυτό το αποτέλεσμα πιστοποιεί πως η κίνηση του συστήματος γίνεται σε επίπεδα ανώτερα από αυτά που είχαμε συναντήσει στην αντίστοιχη προσομοίωση της Περίπτωσης Ι. Στη συνέχεια θα παραθέσουμε έναν πίνακα ο οποίος θα παρουσιάζει τη σχέση ζήτησης και κερδών για τους τρεις παίκτες.

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	54570	54330	71100
Κέρδη	216950000	213460000	107771500

Για ακόμα μία προσομοίωση, η ζήτηση και τα κέρδη των δύο πρώτων παραγωγών είναι αντίστοιχα, παρότι δεν ταυτίζονται πλήρως. Η μικρή αυτή διαφοροποίηση οφείλεται στους πρώτους γύρους στους οποίους έχουμε διαφορετικές αρχικές συνθήκες. Το σημαντικό είναι η απόκλιση στη ζήτηση και στα κέρδη σε σχέση με τον τρίτο παραγωγό.

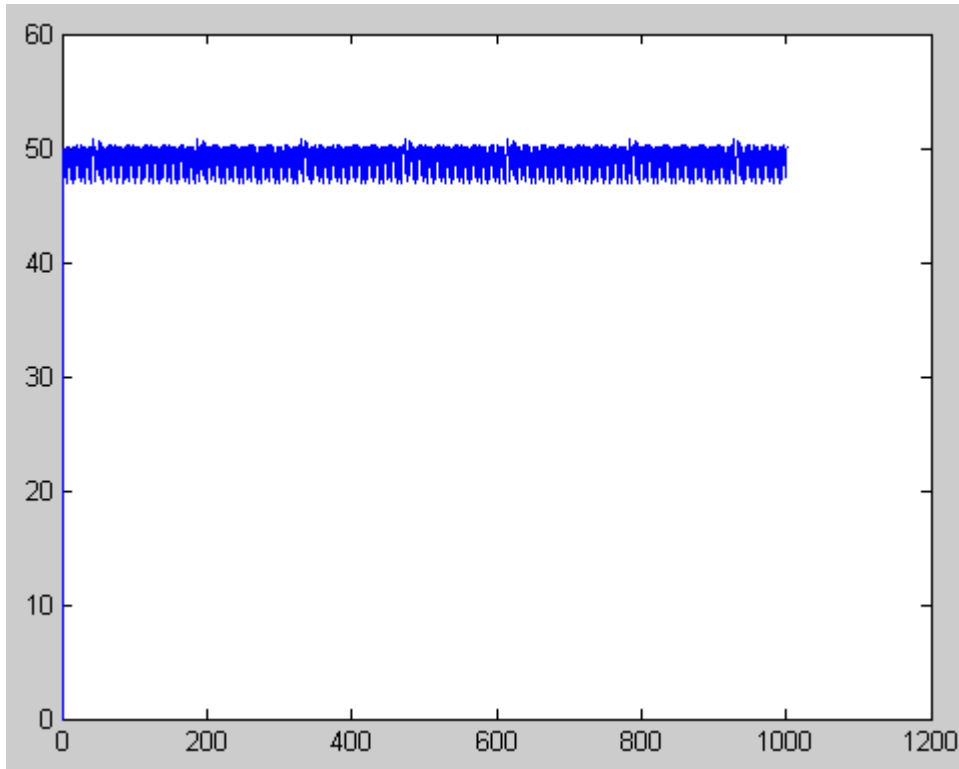
Βλέπουμε πως ενώ ο λόγος της ζήτησης είναι περίπου 1,3 υπέρ του παίκτη με τη σταθερή τιμή, ο λόγος των κερδών είναι περίπου 2 υπέρ των παικτών με τη μεταβαλλόμενη τιμή προσφοράς. Υπό αυτό το πρίσμα η λειτουργία του προτεινόμενου μαθησιακού αλγορίθμου έχει σημαντικά οφέλη για τους δύο πρώτους παίκτες, καθώς η προσαρμοστικότητα που επέδειξαν στην τάση της αγοράς ανταμειφθηκε με αυξημένα κέρδη.

Από την άλλη πλευρά συγκρίνοντας τα κέρδη που επιτεύχθηκαν σε σχέση με αυτά που είχαμε στην πρώτη περίπτωση αντιλαμβανόμαστε πως είναι μειωμένα. Αυτό έρχεται ως αποτέλεσμα της μειωμένης ζήτησης και επομένως και των μειωμένων εσόδων. Έτσι λοιπόν, παρότι η αγορά κινείται σε υψηλότερα επίπεδα, το ποσοστό επί της συνολικής ζήτησης που εξασφαλίζει καθένας από τους δύο πρώτους παίκτες οδηγεί σε συνολικά μειωμένα κέρδη.

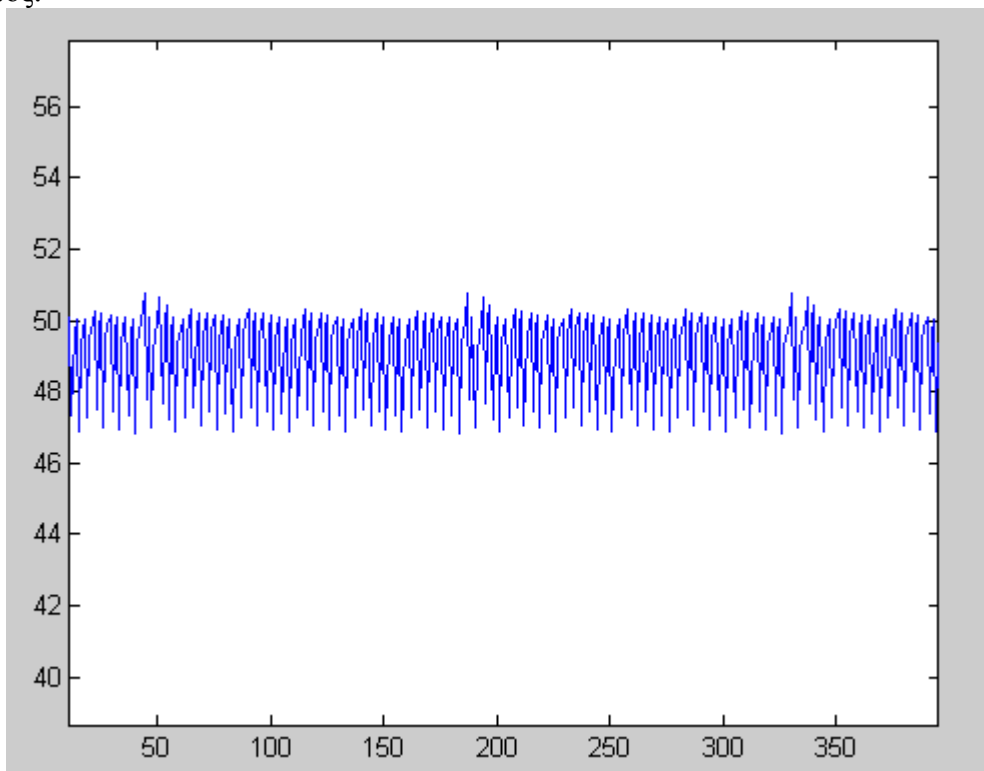
Σε προσομοιώσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν για αρχικές τιμές που προηγουμένως οδήγησαν το σύστημα σε κατάρρευση, παρατηρήσαμε πως και πάλι είχαμε πτωτική τάση που τελικά κατέληξε στους δύο παραγωγούς να καταθέτουν μηδενικές προσφορές. Αντίστοιχα, η κίνηση της αγοράς όταν οι αρχικές τιμές είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με αυτές της προσομοίωσης που προηγήθηκε, οδήγησαν το σύστημα σε ισορροπία πάνω από το όριο των 50€/ MWh, όπως ακριβώς έγινε και προηγουμένως.

Στη διαδικασία λειτουργίας και ερμηνείας του συστήματος που ακολουθεί, θα γίνει προσπάθεια να παρουσιαστεί η εξέλιξη ενός συστήματος στο οποίο οι παίκτες είναι εξαιρετικά επιφυλακτικοί. Έτσι, για να μπορέσουμε να προσεγγίσουμε μια τέτοια συμπεριφορά, θεωρούμε πως όταν τα κέρδη του τελευταίου γύρου είναι μειωμένα σε σχέση με αυτά του προτελευταίου, τότε θα έχουμε συντελεστή επαναδιαμόρφωσης της τιμής ίσο με -5%. Αντιθέτως όταν τα νέα κέρδη είναι αυξημένα σε σχέση με τα προηγούμενα, τότε ο συντελεστής αύξησης της τιμής θα είναι +2%, ποσοστό που έχει υιοθετηθεί μέχρι τώρα ως μια λογική και συντηρητική προσέγγιση.

Πραγματοποιώντας προσομοίωση παίρνουμε το παρακάτω διάγραμμα για την κίνηση της SMP, πάντα για τις αρχικές τιμές που έχουμε ορίσει στην αρχή της παρούσας περίπτωσης:



Για καλύτερη αξιολόγηση της κατάστασης ακολουθεί η μεγέθυνση του παραπάνω διαγράμματος:



Σε πλήρη αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση η ταλάντωση γίνεται ως επί το πλείστον κάτω από το φράγμα των 50 €/ MWh. Κατά την διάρκεια των γύρων παρατηρούνται μερικά peaks, τα οποία είναι αρκετά πάνω από το όριο. Υπολογίζοντας τον μέσο όρο των SMP στα

49,1222 €, πιστοποιείται ότι στην μεγάλη πλειοψηφία της η αγορά κινείται κάτω από την τιμή που θέτει ο παραγωγός με σταθερή τιμή πώλησης.

Ακολουθεί πίνακας στον οποίο παρουσιάζονται τόσο η ζήτηση των τριών παραγωγών, όσο και τα κέρδη που πετυχαίνουν για την περίοδο λειτουργίας του παιγνίου, δηλαδή για τους πρώτους 1000 γύρους.

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	75780	76080	28140
Κέρδη	471360000	471360000	40163500

Σε αυτή την περίπτωση ο λόγος της ζήτησης των δύο πρώτων παραγωγών προς τον 3^ο είναι περίπου 2,69. Αυτό στην πράξη προκύπτει διότι στην μεγάλη πλειοψηφία των γύρων ο τρίτος παραγωγός δεν καταφέρνει να εξασφαλίσει μερίδιο από την αγορά. Η αδυναμία του να παρακολουθήσει την πτωτική τάση της αγοράς σε συνδυασμό με την επιτυχημένη προσαρμοστικότητα στις ανάγκες του παιγνίου των άλλων δύο παραγωγών, οδηγεί τους μεν δύο να αυξάνουν τη ζήτηση σχεδόν κατά 16% (σε σχέση με αυτή της περίπτωσης I) και τον 3^ο να βλέπει νέα ζήτηση σχεδόν υποδιπλάσια.

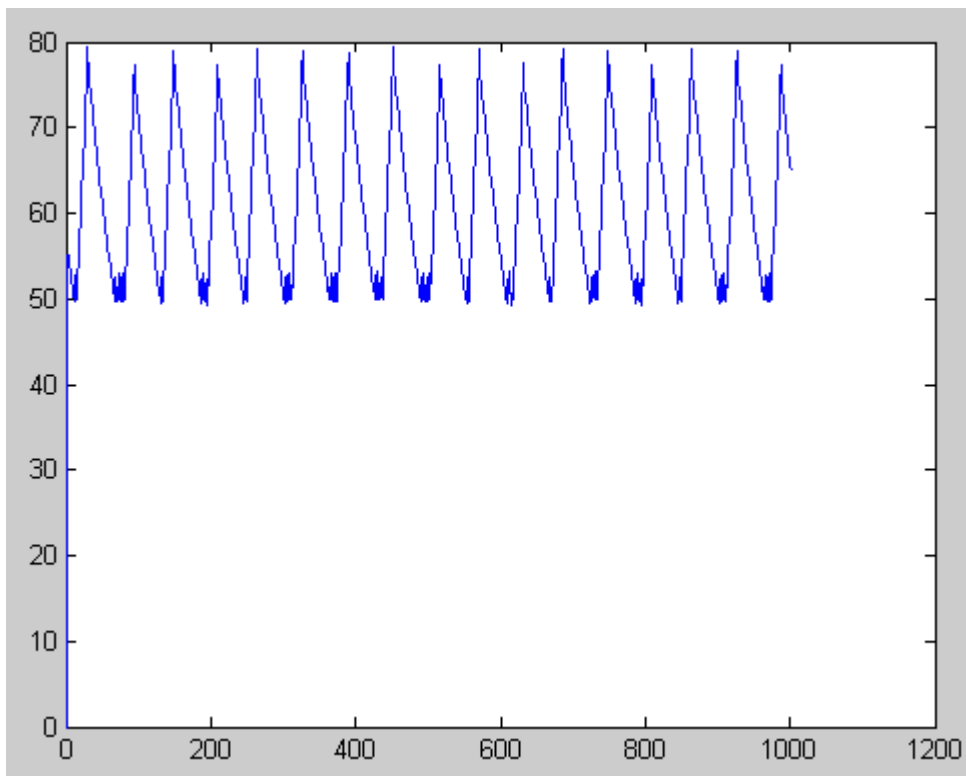
Ακολουθώντας την πορεία της ζήτησης, τα κέρδη των δύο παικτών παρουσίασαν αύξηση περίπου 40%, ενώ αυτά του τρίτου μειώθηκαν κατά 46%. Στην πράξη οι τιμές που προσέφεραν στο σύστημα άφηναν εκτός ανταγωνισμού τον παραγωγό με τη σταθερή τιμή και επομένως επιβλήθηκαν απόλυτα. Έτσι λοιπόν ο ISO απέδωσε σε αυτούς τα αντίστοιχα έσοδα και έτσι τα κέρδη τους ήταν πολύ βελτιωμένα σε σχέση με όσα είχαμε δει στο παρελθόν.

Κατά την μελέτη ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε αναφορικά με τις αρχικές συνθήκες, επαληθεύτηκαν τα αποτελέσματα που είχαμε δει μέχρι τώρα. Έτσι ενώ για υψηλές αρχικές τιμές έχουμε γρήγορη ταύτιση με την μορφή που παρουσιάστηκε παραπάνω, όταν οι αρχικές τιμές είναι εξαιρετικά χαμηλές, τότε το σύστημα καταρρέει σε μηδενικές προσφορές.

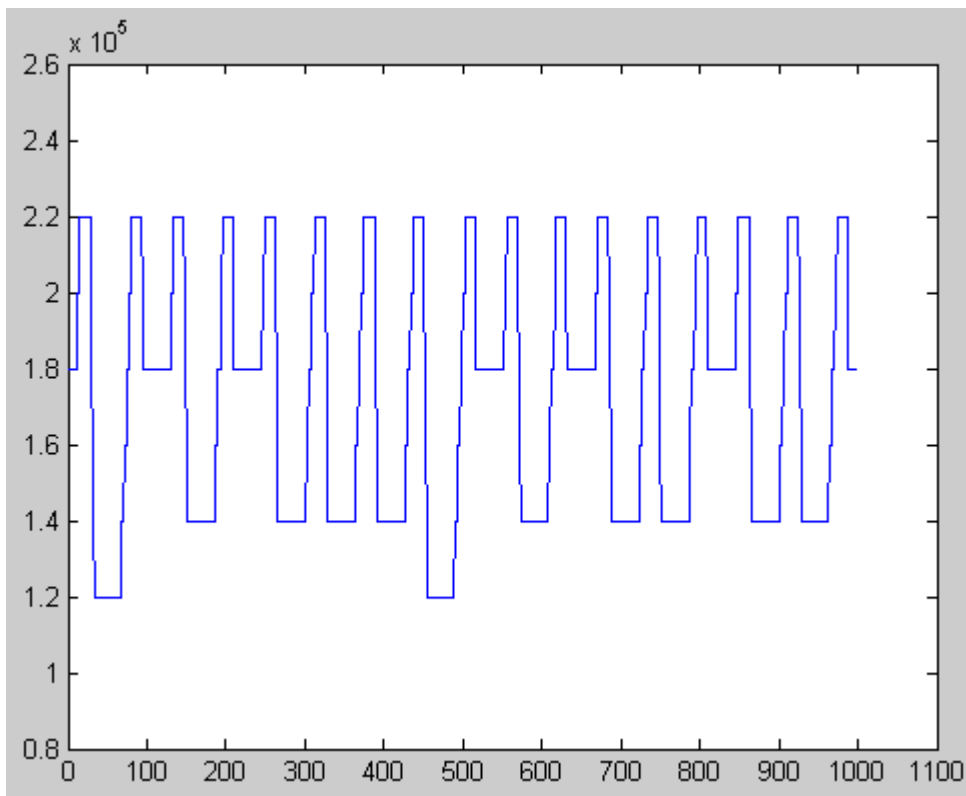
Προκειμένου να ολοκληρώσουμε αυτού του τύπου τα συστήματα (συστήματα με διαφορετικό ποσοστό θετικού και αρνητικού επαναπροσδιορισμού της τιμής) έγινε προσομοίωση των ίδιων συστημάτων για την περίπτωση που εφαρμοστεί διαφορετική τιμολόγηση. Έτσι λοιπόν υποθέσαμε ότι ο ISO αποδίδει κέρδη με βάση την τιμή ισορροπίας και όχι την τιμή προσφοράς. Τα αποτελέσματα αν και ελαφρώς διαφοροποιημένα δεν αναιρούν την εικόνα που συναντήσαμε μέχρι εδώ. Διαφοροποίηση άξια αναφοράς είχαμε στην περίπτωση που οι νέες τιμές καθορίζονται υπό ένα αισιόδοξο πρίσμα και επομένως η αγορά κινείται σχεδόν επί μονίμου βάσεως άνω των 50 €/ MWh. Αυτό σημαίνει πως εφόσον η τιμή ισορροπίας είναι ανώτερη της τιμής του τρίτου παραγωγού, αυτός διαθέτει όλη την παραγόμενη ενέργειά του, αλλά με τον νέο τρόπο τιμολόγησης αμείβεται με καλύτερη τιμή. Ακόμη και σε αυτή την περίπτωση όμως τα κέρδη του υστερούσαν –έστω και οριακά– των άλλων δύο. Αυτό είναι αποτέλεσμα των λίγων περιπτώσεων που το φράγμα σπάει προς τα κάτω και επομένως ο τρίτος παραγωγός μένει εκτός διάθεσης της ενέργειας.

Οι δύο προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα ενότητα είναι πολύ σημαντικές για την κατανόηση του προβλήματος και τα αποτελέσματα στην περίπτωση που οι παίκτες που μελετούμε δεν περιορίζονται σε αυξομειώσεις με το ίδιο ποσοστό. Η μελέτη όμως δε θα ήταν πλήρης αν δεν εξετάζαμε και το ενδεχόμενο η ζήτηση να έχει μεταβλητή τιμή. Για να υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης με προηγούμενες ενότητες θα υποθέσουμε ότι τα όρια είναι και πάλι

στα 50 και 75 € και η μεταβολή της ζήτησης είναι κατά 20 MWh. Με πρώτες τιμές για τους δύο παραγωγούς όπως έχουν ήδη παρουσιαστεί, παίρνουμε το παρακάτω διάγραμμα για την SMP:



Η διακύμανση της ζήτησης είναι η παρακάτω:



Αυτό που εξάγουμε ως συμπέρασμα από την μορφή των παραπάνω διαγραμμάτων είναι πως στην περίπτωση της μεταβλητής ζήτησης όταν διαφοροποιούνται τα ποσοστά αναπροσαρμογής της τιμής πώλησης στο σύστημα διακρίνονται κάποιες τάσεις επανάληψης χωρίς όμως να μπορούμε να αναφερθούμε σε ταλάντωση. Ακόμα και όταν χάνεται η επαναληπτικότητα όμως τα κέρδη που παρουσιάζονται εξακολουθούν να είναι περισσότερα για τους δύο πρώτους παραγωγούς σε σχέση με τον τρίτο.

Η κρίση της λειτουργίας – επιτυχίας του προτεινόμενου μαθησιακού αλγορίθμου θα πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψιν το σύνολο των περιπτώσεων και των αποτελεσμάτων που λάβαμε στην παρούσα ενότητα. Σε όλες τις προσομοιώσεις ανεξαιρέτως είδαμε τους δύο παίκτες με τη μεταβλητή τιμή να πετυχαίνουν μεγαλύτερα κέρδη από τον τρίτο. Αυτό σημαίνει ότι η μέθοδος καθορισμού των νέων τιμών είναι άκρως αποδοτική. Η μόνη περίπτωση στην οποία οι δύο πρώτοι παραγωγοί δεν επικρατούν στα μερίδια της αγοράς είναι όταν κινούνται με υπέρμετρη αισιοδοξία, αλλά ακόμα και τότε τα κέρδη τους είναι μεγαλύτερα. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις η προσαρμοστικότητα της μεθόδου στη τάση της αγοράς διασφαλίζει τα πολύ μεγάλα ποσοστά επί του συνόλου της ζητούμενης ενέργειας και παράλληλα τα εξαιρετικά μεγάλα κέρδη.

Πρέπει να αποσαφηνιστεί πως παρά την προσπάθεια μετατροπής των στοιχείων της μεθόδου ώστε να ενυπάρξει σε αυτή μια φιλοσοφία που θέλουμε να προσδώσουμε στους παίκτες, κατάλληλουμε να επηρεάζουμε μόνο τους όρους μιας καθαρά ντετερμινιστικής μεθόδου. Έτσι αυτό που τελικά μεταβάλλεται είναι οι αποφάσεις που λαμβάνονται σε κάθε γύρο του παιχνίσιου, πάντα όμως τηρώντας τους κανόνες που αντιπροσωπεύουν οι εντολές του κώδικα. Σε αυτή τη διαφοροποίηση ανά τους γύρους βασίζουμε την προσέγγιση του «αισιόδοξου» και «απαισιόδοξου» παίκτη, και τα αποτελέσματα μπορούμε να πούμε ότι είναι αρκούντως ικανοποιητικά και ρεαλιστικά.

4.5 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ V (Αλλαγή Σύνθεσης Αγοράς)

Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε τη συμπεριφορά του μαθησιακού αλγορίθμου στο συγκεκριμένο σύστημα που περιγράψαμε αν αλλάξει η σύνθεση των παραγωγών. Μέχρι τώρα μελετούσαμε συστήματα στα οποία είχαμε δύο παραγωγούς με μεταβλητή τιμή (πάντα με τα ίδια ποσοστά επαναπροσδιορισμού της τιμής) και έναν παραγωγό που κατέθετε προσφορές με σταθερή τιμή πώλησης (παραγωγός αναφοράς). Όμως αυτό δεν είναι ο μοναδικός τρόπος με τον οποίο μπορεί να δομηθεί ένα σύστημα. Οι παραλλαγές που θα παρουσιαστούν εδώ αφορούν παίγνια στα οποία:

- και οι τρεις παραγωγοί θα μεταβάλουν τις τιμές τους
- δύο παραγωγοί καταθέτουν σταθερές προσφορές και ένας μεταβλητή
- ένας παραγωγός έχει σταθερή τιμή και οι άλλοι δύο μεταβλητή αλλά με διαφορετικά ποσοστά αναμόρφωσης της υπό κατάθεση προσφοράς

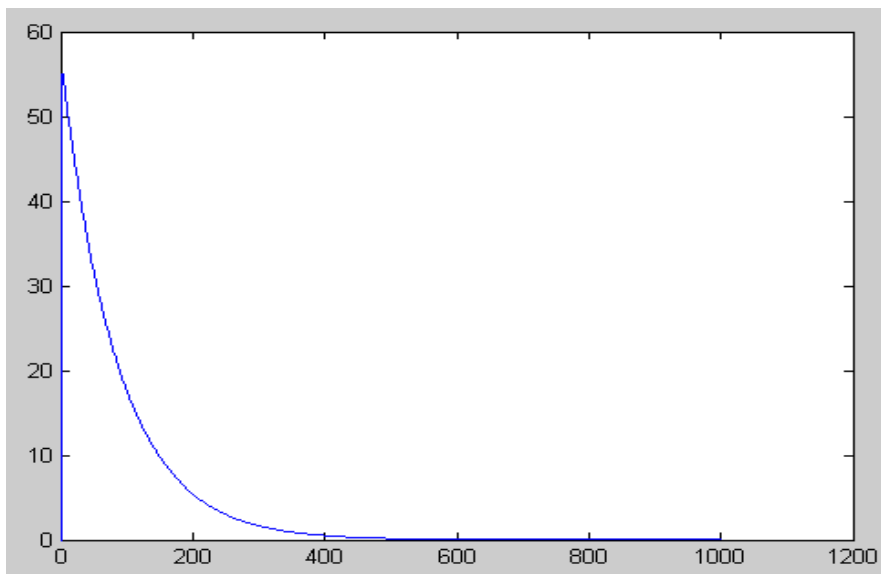
Υποθέτουμε ότι εξετάζουμε μία αγορά στην οποία δραστηριοποιούνται τρεις παραγωγοί οι οποίοι πωλούν ενέργεια με προσφορές μεταβλητής τιμής. Ο τρόπος καθορισμού της νέας τιμής καθενός από τους παραγωγούς είναι αυτός που έχει περιγραφεί στο θεωρητικό τμήμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επιλέγουμε για αρχικές τιμές υποβολής αυτές που έχουμε χρησιμοποιήσει και σε όλες τις προηγούμενες περιπτώσεις έτσι ώστε να μπορέσουμε να λάβουμε μια όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική εικόνα της κίνησης της αγοράς.

$$P_{1,2,3}^1 = 55$$

$$P_{1,2,3}^2 = 60$$

$$P_{1,2,3}^3 = 50$$

Το γενικό πρόγραμμα της Matlab που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση παρατίθεται στο **παράρτημα** και έδωσε το παρακάτω διάγραμμα SMP για τους 1000 γύρους που μελετούμε το σύστημα.



Είναι προφανές από το αποτέλεσμα πως το σύστημα έχει καταρρεύσει σε μηδενικές προσφορές για τους τρεις παραγωγούς. Αυτό συνέβη διότι οι προσφορές είχαν σαφώς πτωτική τάση και λόγω της προσπάθειας οι παραγωγοί να ακολουθήσουν την τάση της SMP έθεταν στον ISO ολοένα και χαμηλότερες προσφορές. Το γεγονός ότι δεν υπήρχε ένας παραγωγός να συγκρατήσει την αγορά σε ένα επίπεδο είναι καταστροφικό για την συνολική έκβαση του παιγνίου.

Όσον αφορά τη συμπεριφορά του αλγορίθμου θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας δύο στοιχεία πριν αποφανθούμε περί της επιτυχίας ή αποτυχίας του. Το πρώτο είναι πως μια αγορά όπως αυτή που σχεδιάσαμε είναι μη ρεαλιστική καθώς ακόμα και σε πραγματικές απελευθερωμένες αγορές ενέργειας όπως αυτές που συναντάμε σε πολιτείες της Αμερικής, πάντα υπάρχει ένας παραγωγός ο οποίος καταθέτει σταθερές προσφορές είτε λόγω αδυναμίας του να διαφοροποιήσει τις τιμές του, είτε διότι επιτελεί κοινωνικό ρόλο προσφέροντας μεγάλες ποσότητες (που ένας ιδιώτης δεν μπορεί να καλύψει) ενέργειας σε τιμές οι οποίες είναι σίγουρα προσιτές προς τους καταναλωτές.

Το δεύτερο στοιχείο που θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας είναι πως ο αλγόριθμος πρόβλεψης έχει δημιουργηθεί για να δώσει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα απέναντι σε άλλες μορφές τιμολόγησης. Επομένως η χρησιμοποίησή του μπορεί όντως να δημιουργεί πρόβλημα στην τελική έκβαση της αγοράς, όμως κάτι τέτοιο δεν τον καθιστά αποτυχημένο ή ακατάλληλο. Το πρόβλημα της υπερβολικής προσαρμοστικότητας που μας οδηγεί στην παρακολούθηση της τιμής ισορροπίας της αγοράς και στην κατάθεση πιο συμφερούσων προσφορών μπορεί να λυθεί σε μια πραγματική αγορά με την επιβολή ενός κατώτατου πλαφόν το οποίο θα διασφαλίζει πως ο παραγωγός δεν θα καταθέσει προσφορές που θα είναι ζημιογόνες. Φυσικά αν υιοθετούσαμε κάτι τέτοιο σε ένα σύστημα όπως το παρόν, τότε θα είχαμε τελικά και τους τρεις παραγωγούς να καταθέτουν προσφορές στο κατώτατο επιτρεπτό όριο και έτσι κάθε ενδιαφέρον σχετικά με την κίνηση της αγοράς θα σταματούσε.

Υποθέτουμε τώρα ότι η σύνθεση των παραγωγών μεταβάλλεται ξανά. Έχουμε λοιπόν δύο παραγωγούς που θέτουν στον διαχειριστή του συστήματος προσφορές με σταθερή τιμή και ένα παίκτη που χρησιμοποιεί τον μαθησιακό αλγόριθμο που προτείνεται στην προσπάθειά του να μεγιστοποιήσει τα κέρδη του. Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση αυτού του συστήματος πρέπει να επισημάνουμε πως ως λογική λειτουργία ανταποκρίνεται πολύ περισσότερο από αυτό που περιγράψαμε προηγουμένως σε μια πραγματική αγορά ενέργειας. Είτε θεωρήσουμε τους δύο όμοιους παραγωγούς ως ανταγωνιστές που καταθέτουν διαφορετικές τιμές, είτε τους θεωρήσουμε ως έναν μεγάλο παραγωγό με διπλάσια παραγωγική ικανότητα από ότι πριν, μπορούμε να το κατατάξουμε ως υπαρκτό ή αν μη τι άλλο ρεαλιστικό σύστημα. Για αυτό το λόγο έχει ιδιαίτερη σημασία το αποτέλεσμα που θα βγάλουμε από την συγκεκριμένη προσομοίωση.

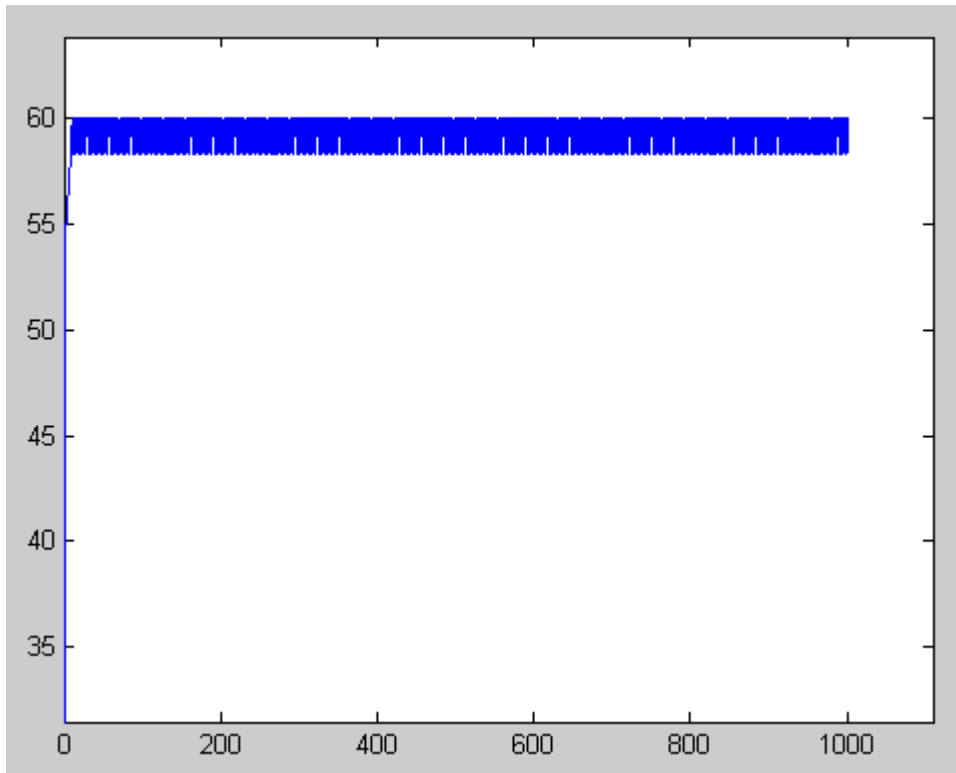
Ξεκινάμε με τη θεώρηση ότι το σύστημα έχει δύο παραγωγούς με σταθερές αλλά διαφορετικές προσφορές. Καθώς δεν έχει ιδιαίτερη σημασία ποιος από τους δύο παραγωγούς έχει χαμηλότερη τιμή ή πόση ακριβώς διαφορά έχουν οι δύο προσφορές (εφόσον πάντα κυμαίνονται σε λογικά πλαίσια) υποθέτουμε ότι ο τρίτος παραγωγός καταθέτει προσφορά για 50 €/ MWh, ενώ ο δεύτερος παραγωγός 60 €/ MWh. Οι αρχικές τιμές είναι:

$$P_{1,2,3}^1 = 55$$

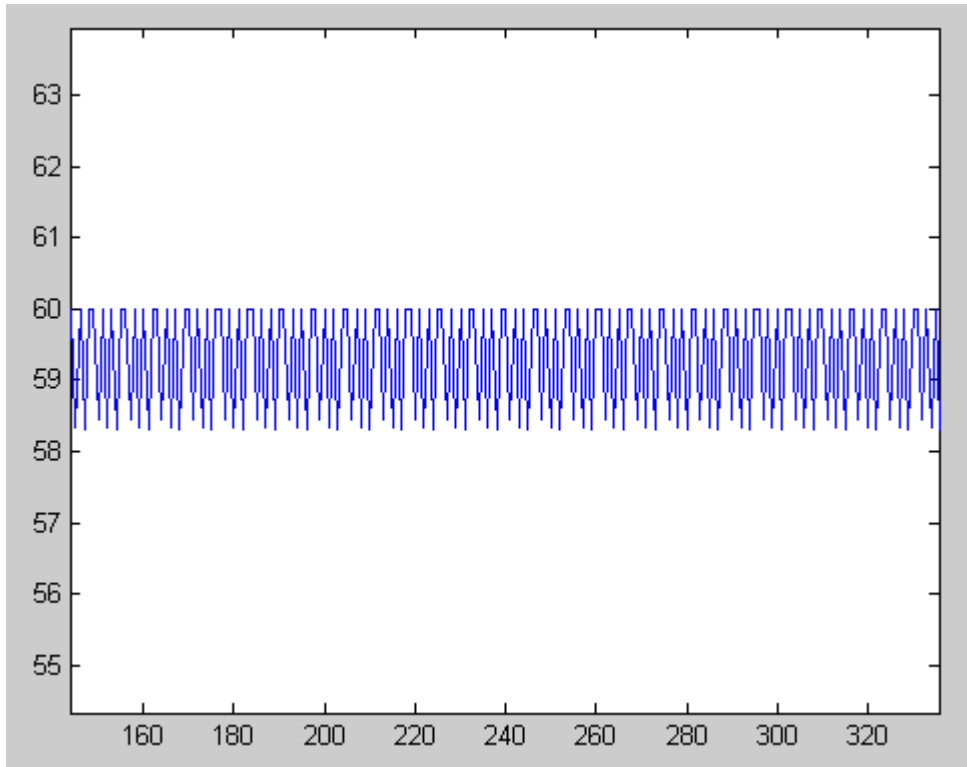
$$P_i^2 = 60 \quad \forall i \in [1, 1000]$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1, 1000]$$

Το διάγραμμα της μεταβολής της τιμής ισορροπίας είναι αυτό που παρουσιάζεται παρακάτω.



Παρατηρούμε πως η τιμή ισορροπίας κινείται σε υψηλά όρια, με μέγιστη την τιμή του τρίτου παραγωγού δηλαδή τα 60 €/ MWh. Αυτό το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο εφόσον η ζήτηση παραμένει σταθερή στις 180 MWh και επομένως κάθε φορά που ο παραγωγός με την μεταβλητή τιμή ξεπεράσει την τιμή του τρίτου παραγωγού, αυτομάτως αυτός έχει χαμηλότερη τιμή και έτσι καλύπτει τις εναπομένουσες 80 MWh. Η συμπεριφορά της SMP χαρακτηρίζεται από ταλάντωση με περίοδο 8 γύρων, όπως άλλωστε φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί:



Για να ολοκληρώσουμε την ανάλυση θα πρέπει να δημιουργήσουμε έναν πίνακα όπου και θα φαίνεται με ακρίβεια τα αποτελέσματα των τριών παικτών σχετικά με τα κέρδη που παρουσίασαν αλλά και με τη ζήτηση που κλήθηκαν να ικανοποιήσουν

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	46000	34000	100000
Κέρδη	837980000	661412500	153000000

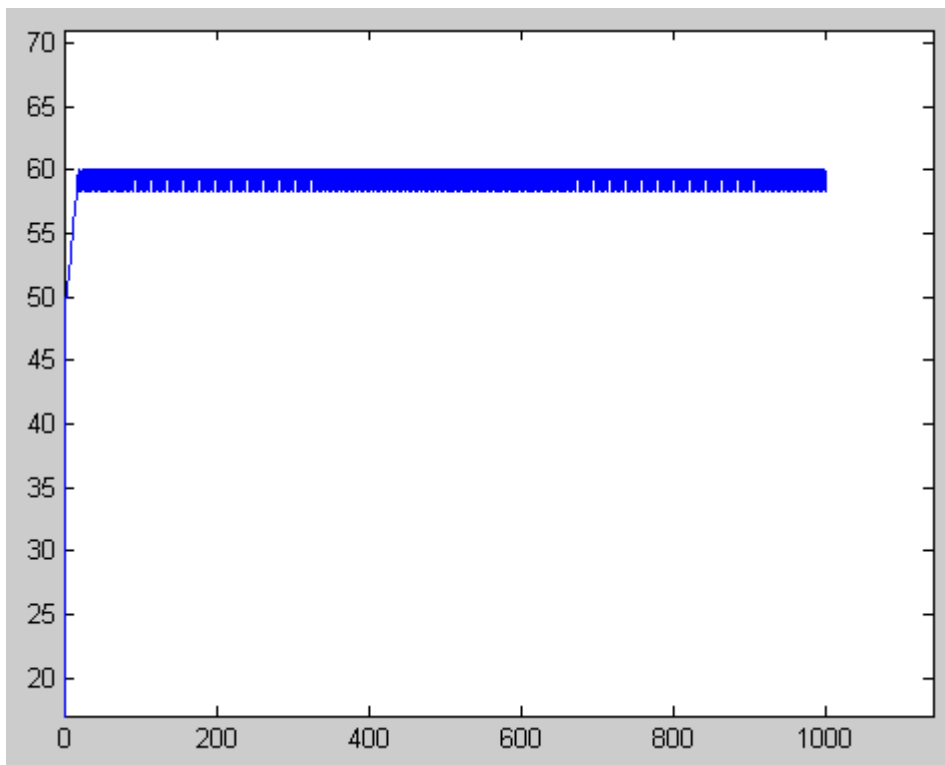
Το πρώτο συμπέρασμα που εξάγουμε είναι πως ο πρώτος παραγωγός είναι αυτός που παρουσιάζει τα μεγαλύτερα κέρδη. Σε σχέση με τον δεύτερο παραγωγό (αυτόν με την ακριβότερη τιμή) ο λόγος των κερδών είναι περίπου 1,25, δηλαδή ο παραγωγός που προσαρμόζει την τιμή του πετυχαίνει κέρδη αυξημένα κατά 25%. Σε σχέση με τον τρίτο παραγωγό ο λόγος των κερδών είναι 5,47 εις βάρος του τρίτου. Έτσι οδηγούμαστε στο δεύτερο πολύ σημαντικό συμπέρασμα το οποίο δεν είναι άλλο από το ότι μεταξύ των δύο παραγωγών με τις σταθερές τιμές κερδισμένος βγαίνει αυτός που έχει τη μεγαλύτερη τιμή.

Από πλευράς ζήτησης ήταν αναμενόμενο πως η κίνηση της τιμής της αγοράς θα εξασφάλιζε στον τρίτο παραγωγό την πλήρη διάθεση των προϊόντων του σε όλους τους γύρους. Μεταξύ των άλλων δύο παρατηρούμε πως ο παίκτης με τη μεταβλητή τιμή πώλησης υπερισχύει με λόγο 1,35. Παρόλα αυτά οι 34.000 MWh του 2^{ου} παραγωγού του διασφαλίζουν πως τα κέρδη που θα σημειώσει θα είναι ανώτερα από αυτά του 3^{ου} παραγωγού.

Πρέπει να σημειωθεί πως σε περιπτώσεις που ο δεύτερος παραγωγός καταθέσει την ίδια προσφορά με τον πρώτο παραγωγό, τότε ακολουθούμε την πολιτική που είχαμε επισημάνει πως θα ισχύσει καθ' όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού για τον τρίτο· στον δεύτερο παραγωγό αποδίδονται όλες οι εναπομένουσες MWh του συστήματος ως αντιστάθμισμα στην έλλειψη προσαρμοστικότητας.

Αν αλλάξουμε τον τρόπο υπολογισμού των εσόδων και πλέον χρησιμοποιηθεί από τον ISO αντί για την τιμή προσφοράς η τιμή SMP, τότε έχουμε αξιοσημείωτη διαφορά με τον τρίτο παραγωγό να εκμεταλλεύονται την υπεροχή τους στο μερίδιο αγοράς και να παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα κέρδη ενώ ακολουθούν ο πρώτος και ο δεύτερος παραγωγός. Για λόγους πληρότητας να αναφέρουμε πως ο λόγος των κερδών τρίτου προς πρώτο παραγωγό υπολογίζεται ίσος με 1,28. Κάτι τέτοιο δεν σημαίνει αποτυχία της μεθόδου, αλλά είναι αποτέλεσμα της λογικής του συγκεκριμένου τρόπου τιμολόγησης, που δεν είναι άλλη από το να αυξήσει το πλεόνασμα του παραγωγού και εν προκειμένου να βελτιώσει τα κέρδη του παραγωγού με τη χαμηλότερη τιμή πώλησης.

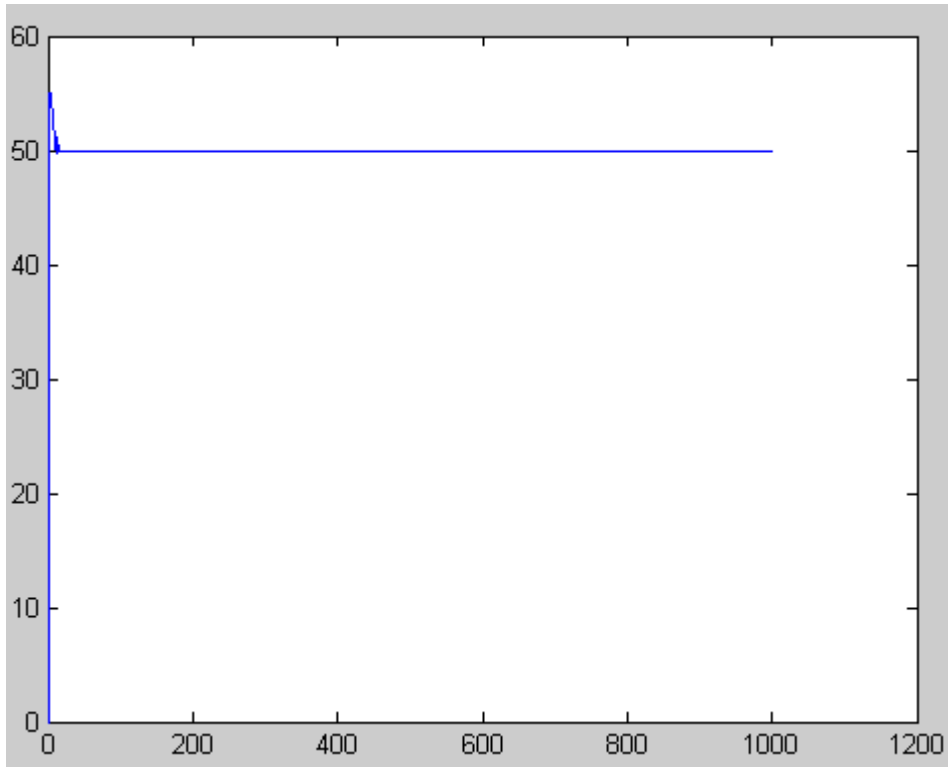
Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τι συμβαίνει αν ο παραγωγός με τη μεταβλητή τιμή καταθέσει πολύ χαμηλή αρχική τιμή. Θεωρούμε λοιπόν ότι η πρώτη τιμή είναι 30 €/ MWh. Μια τέτοια τιμή για ένα σύστημα χωρίς κυμαινόμενη ζήτηση θα οδηγούσε υπό διαφορετικές συνθήκες σε κατάρρευση και μηδενικές προσφορές. Εδώ όμως λόγω της ύπαρξης δύο παραγωγών με σταθερές τιμές τελικά θα οδηγηθούμε στην ίδια μορφή με προηγουμένως, αλλά με ελαφρώς λιγότερα κέρδη για τον πρώτο παραγωγό.



Τέλος θα σημειωθεί πως στα συστήματα με δύο παραγωγούς να καταθέτουν σταθερές προσφορές δεν παίζει ρόλο αν δίνεται η δυνατότητα να μεταβληθεί η ζήτηση αφού η κίνηση της τιμής ισορροπίας της αγοράς βρίσκεται μόνιμα εντός των δύο ορίων που είχαμε θέσει και στις προηγούμενες περιπτώσεις.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε συστήματα στα οποία έχουμε και πάλι δύο παραγωγούς με μεταβλητές προσφορές. Όμως εδώ θα μελετήσουμε την έκβαση της αγοράς όταν η μέθοδος καθορισμού των νέων τιμών έχει διαφορετικούς συντελεστές για τους δύο παραγωγούς. Αυτός είναι ένας τρόπος να εξακριβώσουμε τι θα συμβεί αν οι δύο παίκτες διακατέχονται από άλλη φιλοσοφία και κινούνται είτε πιο επιθετικά είτε πιο συντηρητικά.

Δεχόμαστε λοιπόν ότι ο ένας από τους δύο αναπροσαρμόζει την τιμή του με άνοδο κατά 5%, ενώ ο άλλος έχει τη συνηθισμένη συμπεριφορά που μελετήσαμε μέχρι τώρα με $\pm 2\%$. Το πρόγραμμα προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε μας δίνει το παρακάτω διάγραμμα:



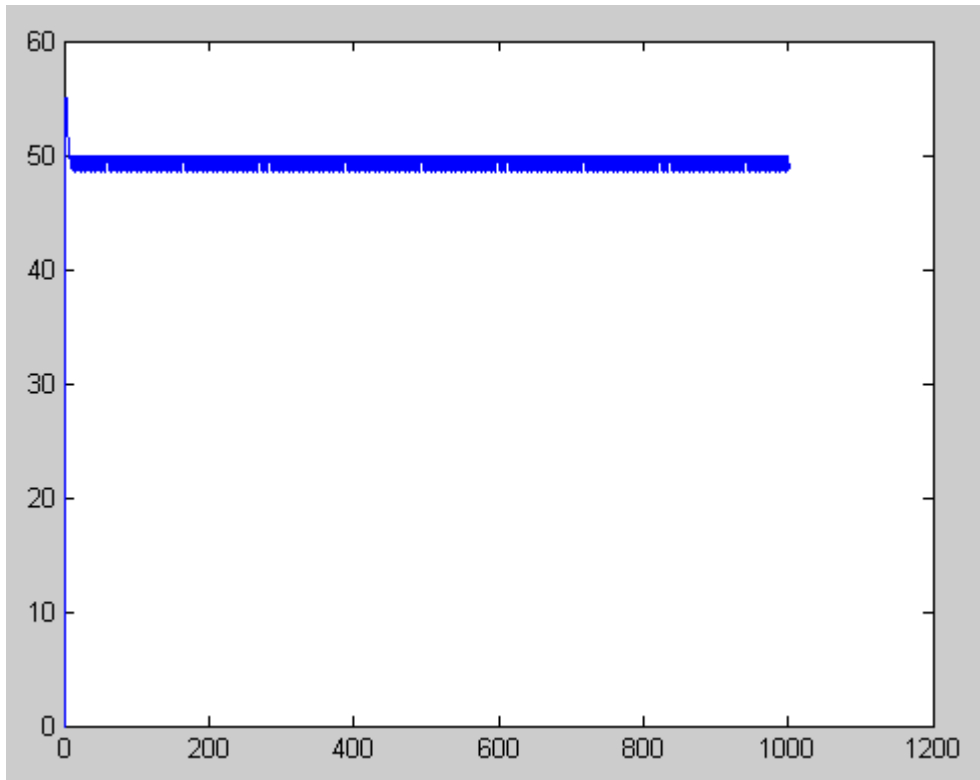
Είναι σαφές πως οδηγούμαστε σε μια αρκετά απλή περίπτωση συστήματος με ισορροπία στα 50 €/ MWh. Στο Παράδειγμα I που είχαμε μελετήσει μια αντίστοιχη περίπτωση είδαμε ότι μετά από λίγους γύρους οι δύο παραγωγοί με τη μεταβλητή τιμή κατέληγαν να καταθέτουν την ίδια προσφορά. Έτσι στην πράξη είτε θα είχαν προσφορά που θα βρισκόταν κάτω από τα 50 €/ MWh είτε πάνω από αυτά. Εδώ όμως ο κάθε παραγωγός έχει δική του τιμή και επομένως στην πράξη οδηγούμαστε να καταθέτουν ο ένας προσφορά κάτω από την τιμή του τρίτου παραγωγού και ο άλλος πάνω από αυτή. Δηλαδή ο ένας λαμβάνει τις 100 MWh ενώ ο άλλος μηδενικό μερίδιο της αγοράς. Οι προσφορές αυτές εναλλάσσονται και έτσι παίρνουμε τα στοιχεία που παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	50010	49850	80140
Κέρδη	28726000	26042000	753547500

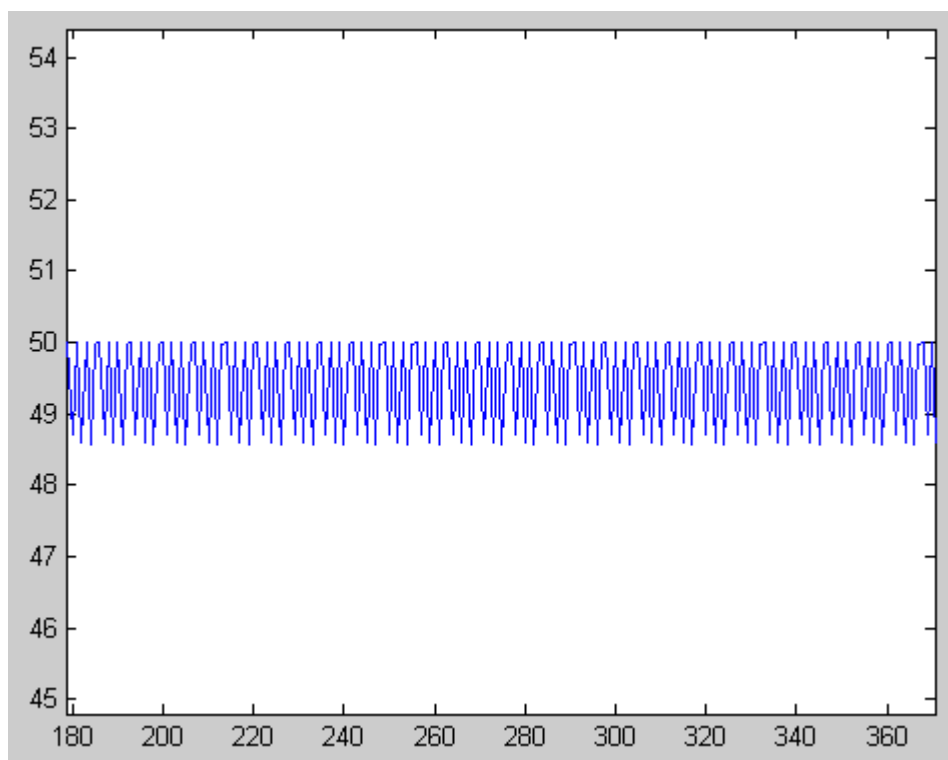
Οι μικρές διαφορές στη ζήτηση και στα κέρδη των δύο πρώτων παραγωγών είναι οφείλονται στις αρχικές συνθήκες και όχι στην μορφή που επιλέξαμε να δώσουμε στον αλγόριθμο. Είναι προφανές πως συγκριτικά με τους άλλους δύο παίκτες ο τρίτος υπερिशύει ολοκληρωτικά. Η ζήτηση παρουσιάζεται αυξημένη κατά 60% έναντι των άλλων δύο και το αποτέλεσμα αυτού είναι πως τα κέρδη του τρίτου παραγωγού είναι 26 ολόκληρες φορές μεγαλύτερα.

Πρόκειται λοιπόν για παταγώδη αποτυχία του προτεινόμενου αλγορίθμου καθώς οι δύο παίκτες να μην προσαρμόζονται στην αγορά αλλά λόγω του ανταγωνισμού που δημιουργείται μεταξύ τους δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στη συμπεριφορά του παραγωγού σταθερής τιμής.

Αν υποθέσουμε ότι ο παραγωγός 1 είναι πιο παρορμητικός σε σχέση με τον δεύτερο και επομένως επιλέγει και στον επαναπροσδιορισμό της τιμής προς τα κάτω να θέτει ως ποσοστό μεταβολής το 5%, τότε αλλάζει και το διάγραμμα των SMP της αγοράς.



Μια κοντινότερη ματιά στο διάγραμμα μας δίνει το παρακάτω διάγραμμα:

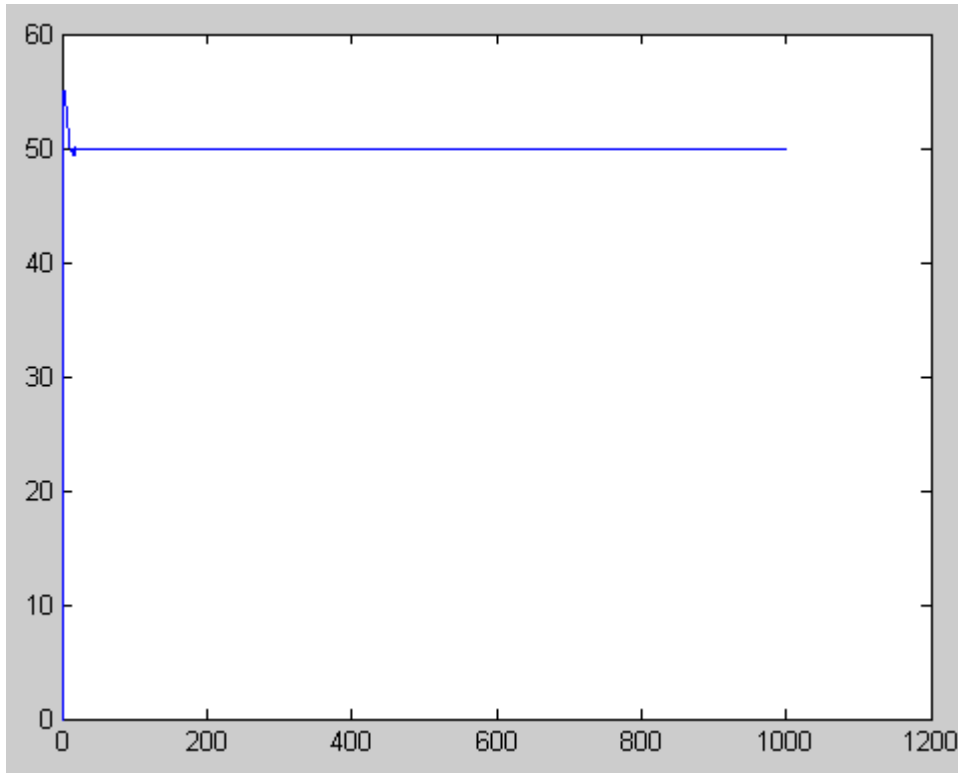


Αυτό που στην πράξη συνέβη είναι πως η μεταβολή κατά 5% της τιμής του πρώτου παραγωγού μας οδήγησε στον επόμενο γύρο να έχουμε τον δεύτερο παραγωγό με τιμή και αυτός κάτω από τα 50 €/ MWh και επομένως η ίδια η αγορά οδηγείται σε ισορροπία κάτω από αυτό το όριο και σε μια περιοδική κίνηση. Το αποτέλεσμα είναι να μεταβάλλονται επίσης τα κέρδη αλλά και τα μερίδια της αγοράς:

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	99900	45440	34660
Κέρδη	1903100	384130000	323724000

Συγκρίνοντας τώρα τα νούμερα που μόλις παρουσιάστηκαν βλέπουμε πως το ποσοστό της αγοράς μοιράστηκε εκ νέου με τον πρώτο παραγωγό να έχει πλέον την ηγεμονία. Όμως η υπεροχή αυτή δεν ακολουθείται από τα αντίστοιχα κέρδη αφού η σχετικά χαμηλή τιμή του δεν άφησε περιθώρια για επικράτηση στα συνολικά κέρδη. Όμως όσον αφορά τον δεύτερο παραγωγό η αύξηση του μεριδίου αγοράς οδήγησε σε σημαντική αύξηση των κερδών και τελικά στο να παρουσιάσει τα μεγαλύτερα κέρδη από τους τρεις.

Αν υποθέσουμε πως έχουμε το ίδιο αρχικό σύστημα όμως αυτή τη φορά αντί να έχουμε έναν παραγωγό παρορμητικό, έχουμε τον δεύτερο παραγωγό ο οποίος είναι επιφυλακτικός. Προσκολλάται λοιπόν στην προηγούμενη τιμή και η προσαρμογή που γίνεται μέσω του αλγόριθμου είναι σχετικά μικρή, μόλις στο 1%. Το αποτέλεσμα αυτού φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Φαίνεται πως έχουμε την ίδια ακριβώς μορφή με αυτή που συναντήσαμε παραπάνω και μάλιστα ούτε το αποτέλεσμα σε επίπεδο κερδών και ζήτησης διαφοροποιείται. Οδηγούμαστε λοιπόν και πάλι στο συμπέρασμα πως καλύτερη λειτουργία στη συγκεκριμένη αγορά έχει ο παίκτης που δεν προβαίνει στην ακραία επιλογή του ποσοστού προσαρμογής της τιμής του.

Συνολικά κρίνοντας τη συμπεριφορά του αλγορίθμου στην παρούσα περίπτωση έχουμε να επισημάνουμε πως για πρώτη φορά βρεθήκαμε ενώπιων συστήματος στο οποίο οι τιμές που καταθέτουν οι παίκτες μας δεν τους οδηγούν σε κέρδη και επομένως έχουμε αποτυχία του αλγορίθμου. Όταν λοιπόν έχουμε παραγωγούς υπερβολικά παρορμητικούς ή υπερβολικά επιφυλακτικούς, τότε η προσαρμοστικότητα της τιμής τους δεν είναι η επιθυμητή και συμπαρασύρουν και τον άλλο παραγωγό με μεταβλητή προσφορά. Αντιθέτως παρότι και ο άλλος παραγωγός ακολουθεί την τάση που θέτει ο πρώτος, καταφέρνει να σημειώνει μεγαλύτερα κέρδη.

Στις άλλες δύο μορφές του συστήματος που είδαμε στην παρούσα ενότητα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στο σύστημα με δύο παραγωγούς σταθερής τιμής. Εκεί τα κέρδη του παραγωγού με τη μεταβλητή τιμή είναι πολύ σημαντικά και έτσι είναι αυτονόητο πως η χρήση του προτεινόμενου μαθησιακού αλγορίθμου κρίνεται απόλυτα επιτυχημένη.

Τέλος για να συνοψίσουμε πλήρως τα όσα παρουσιάστηκαν στην παρούσα περίπτωση θα πρέπει να αναφερθεί η κατάρρευση του συστήματος όταν έχουμε τρεις παραγωγούς με μεταβλητή τιμή. Όμως αυτή η περίπτωση (η απουσία παίκτη με σταθερή τιμή) δεν είναι ρεαλιστική και επομένως δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα.

4.6 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ VI (Διαφοροποίηση Αλγορίθμου)

Σε αυτή την ενότητα προσομοιώσεων, θα μελετηθούν περιπτώσεις στις οποίες ο χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος δεν είναι ίδιος με αυτόν που παρουσιάστηκε στο θεωρητικό τμήμα. Η διαφοροποίηση που θα εξετάσουμε θα είναι στους όρους που λαμβάνουμε υπόψη μας για να καθορίσουμε τη νέα τιμή προς κατάθεση του παίκτη. Υπενθυμίζεται ότι η αρχική μας σκέψη ήταν πως για να έχουμε καλή προσαρμογή στην τάση που χαρακτηρίζει την κίνηση της τιμής ισορροπίας της αγοράς θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι τελευταίες τιμές του συστήματος και μάλιστα με συντελεστές ανάλογα με την εγγύτητα τους με τον παρόν γύρο.

Υποθέτουμε ότι μεταβάλλουμε τη μέθοδο καθορισμού της επόμενης τιμής του παραγωγού και πλέον χρησιμοποιούμε τα παρακάτω:

$$P_i^1 = (0,5 + a) * SMP_{i-2} + 0,3 * SMP_{i-3} + 0,2 * SMP_{i-4}$$

$$P_i^2 = (0,5 + b) * SMP_{i-2} + 0,3 * SMP_{i-3} + 0,2 * SMP_{i-4}$$

Ο πρώτος όρος περιλαμβάνει πλέον την τιμή του γύρου $i-2$, δηλαδή του προτελευταίου γύρου, και όχι αυτή του τελευταίου. Αντίστοιχα ο δεύτερος όρος έχει την τιμή του $i-3$ και ο τρίτος όρος περιέχει την SMP που βρήκαμε στον γύρο $i-4$. Οι συντελεστές τους έχουν μείνει ίδιοι με αυτούς που είχαμε περιγράψει στην εισαγωγή. Η τιμή για τον τρίτο παραγωγό δεν παρουσιάστηκε εφόσον για ακόμα μια φορά θεωρούμε ότι δεν έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει την τιμή του.

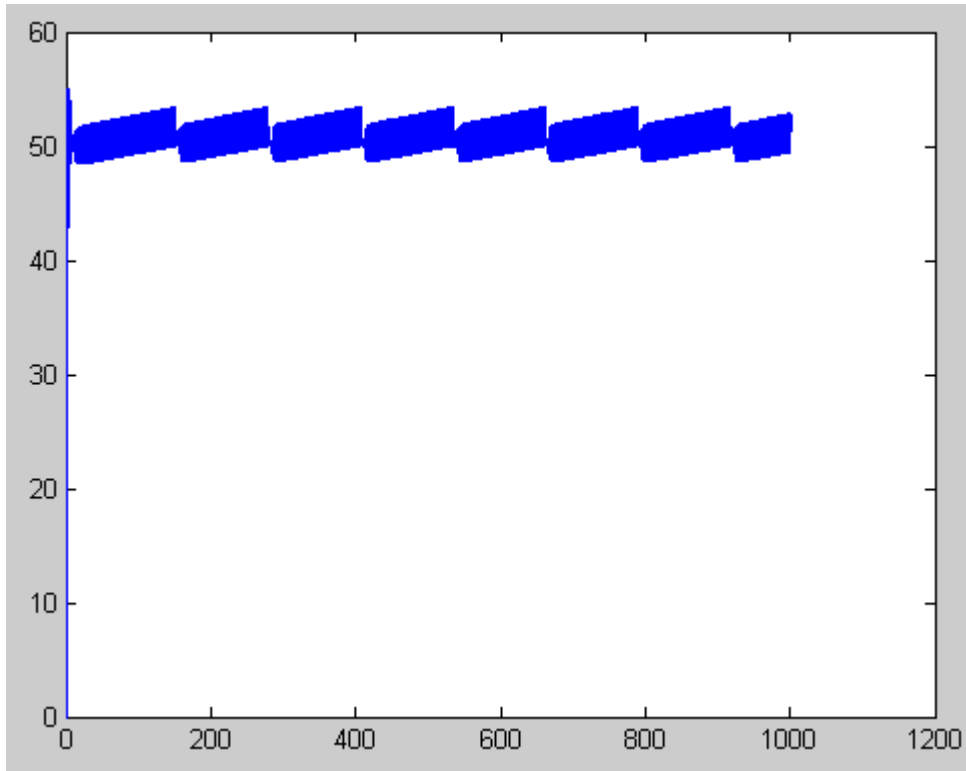
Για να μπορέσουμε να έχουμε μια ακριβή εικόνα της συμπεριφοράς της αγοράς θα χρησιμοποιήσουμε τις αρχικές τιμές που έχουμε τοποθετήσει στα περισσότερα συστήματα:

$$P_{1,2,3}^1 = 55$$

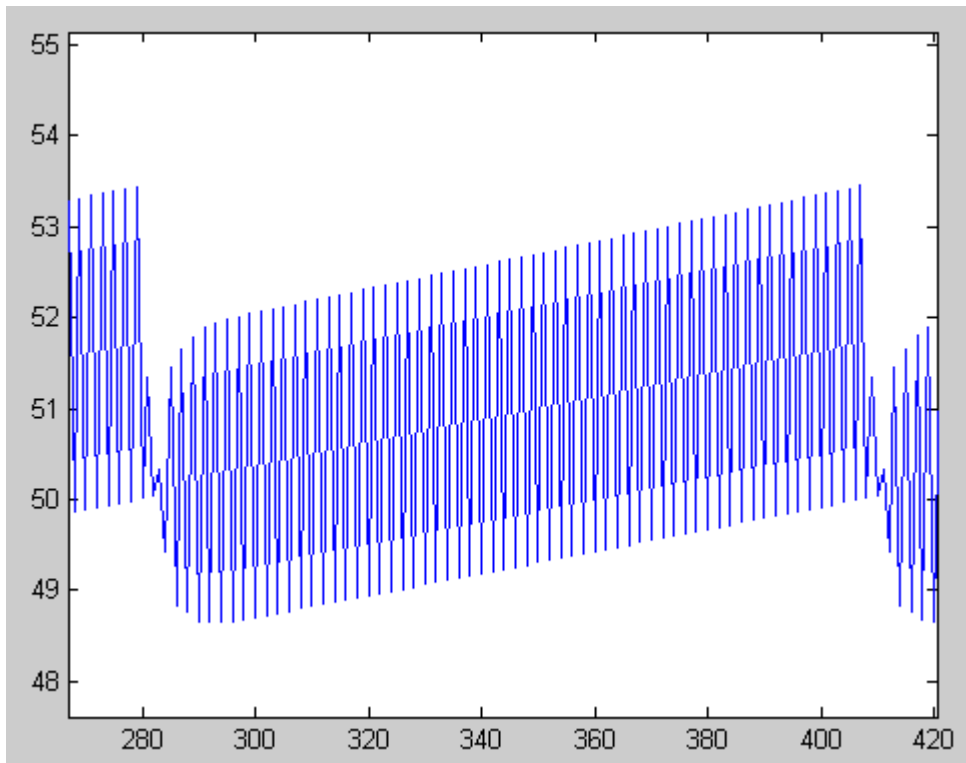
$$P_{1,2,3}^2 = 60$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1, 1000]$$

Η προσομοίωση του συστήματος από το πρόγραμμα Matlab μας δίνει το παρακάτω διάγραμμα:



Βλέπουμε ότι η αγορά χαρακτηρίζεται από μια τάση ανόδου που διακόπτεται από μια αναπροσαρμογή προς τα κάτω, περίπου κάθε 130 γύρους. Φυσικά κάθε ένα από τα τμήματα του διαγράμματος ενέχει και μια επιπλέον ταλάντωση, όπως άλλωστε είναι εμφανές στο αναλυτικότερο διάγραμμα που ακολουθεί και είναι μεγέθυνση του προηγούμενου:



Για να μπορέσει να εκτιμηθεί καλύτερα η έκβαση του συστήματος θα δημιουργηθεί ένας πίνακας που θα περιλαμβάνει τα αποτελέσματα των συνολικών κερδών και τη συνολική ζήτηση.

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	64460	64060	51480
Κέρδη	341730000	336390000	77705500

Αυτό που πρέπει να σχολιαστεί αρχικά είναι η μεταβολή των κερδών σε σχέση με τα αντίστοιχα κέρδη της περίπτωσης I. Παρατηρούμε ότι τα κέρδη του πρώτου παραγωγού αυξήθηκαν ελάχιστα ενώ αυτά του δεύτερου είχαν μια ανεπαισθητη μείωση. Τέλος τα κέρδη του τρίτου παραγωγού αυξήθηκαν και αυτά. Για να μπορέσουμε λοιπόν να κάνουμε μια σωστή αποτίμηση της έκβασης της προσομοίωσης θα πρέπει να συγκρίνουμε τους λόγους των κερδών των παικτών.

Οι λόγοι και των δύο παικτών με τη μεταβλητή τιμή προς αυτόν με τη σταθερή τιμή πώλησης παρουσιάζουν μια μικρή αλλά υπαρκτή πτώση. Κάτι τέτοιο πρακτικά σημαίνει πως τα παρουσιαζόμενα κέρδη σχετικά μειωμένα. Σε αυτό το αποτέλεσμα οδηγούμαστε αφού το αριθμητικό κριτήριο του καθαρού κέρδους είναι πολύ σχετικό λόγω της διακύμανσης που ενδεχομένως να λάβει η τιμή σε μια πραγματική απελευθερωμένη αγορά ενέργειας. Επομένως αυτό που μας ενδιαφέρει είναι πρακτικά το «πόσο μεγαλύτερα κέρδη έχει ένας παραγωγός μεταβλητής τιμής από έναν σταθερής». Βλέπουμε λοιπόν ότι από 4,57 ο λόγος του πρώτου παραγωγού προς τον τρίτο, τώρα είναι 4,39, παρουσίασε δηλαδή μια μείωση της τάξης του 20%. Με τον ίδιο τρόπο βλέπω ότι για τον δεύτερο παραγωγό η διαφορά αγγίζει το 22%. Τέλος για να ολοκληρώσουμε τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων πρέπει να επισημάνουμε ότι οι δύο πρώτοι παραγωγοί απώλεσαν και τμήμα από το μερίδιο αγοράς που είχαν εξασφαλίσει, τμήμα το οποίο φυσικά καρπώθηκε ο τρίτος παραγωγός.

Ας υποθέσουμε ότι ο τρόπος καθορισμού της νέας τιμής αλλάζει εκ νέου και πλέον οι όροι που συμβάλλουν στην νέα τιμή είναι πιο παρελθοντικοί από ότι προηγουμένως. Έτσι τώρα χρησιμοποιούμε τις δύο παρακάτω συναρτήσεις:

$$P_i^1 = (0,5 + a) * SMP_{i-3} + 0,3 * SMP_{i-4} + 0,2 * SMP_{i-5}$$

$$P_i^2 = (0,5 + b) * SMP_{i-3} + 0,3 * SMP_{i-4} + 0,2 * SMP_{i-5}$$

Ο πρώτος όρος είναι η τιμή ισορροπίας του γύρου i-3 αντί για αυτή του τελευταίου γύρου, ενώ και οι δύο επόμενοι όροι λαμβάνουν πλέον υπόψη τα αποτελέσματα των γύρων i-4 και i-5 αντί για αυτά των i-3 και i-4 αντίστοιχα. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως απομακρυνόμαστε ακόμη περισσότερο από τις τελευταίες καταστάσεις του συστήματος και ενδεχομένως θα είναι πιο δύσκολο να παρακολουθήσουμε την τάση που δημιουργείται στην αγορά.

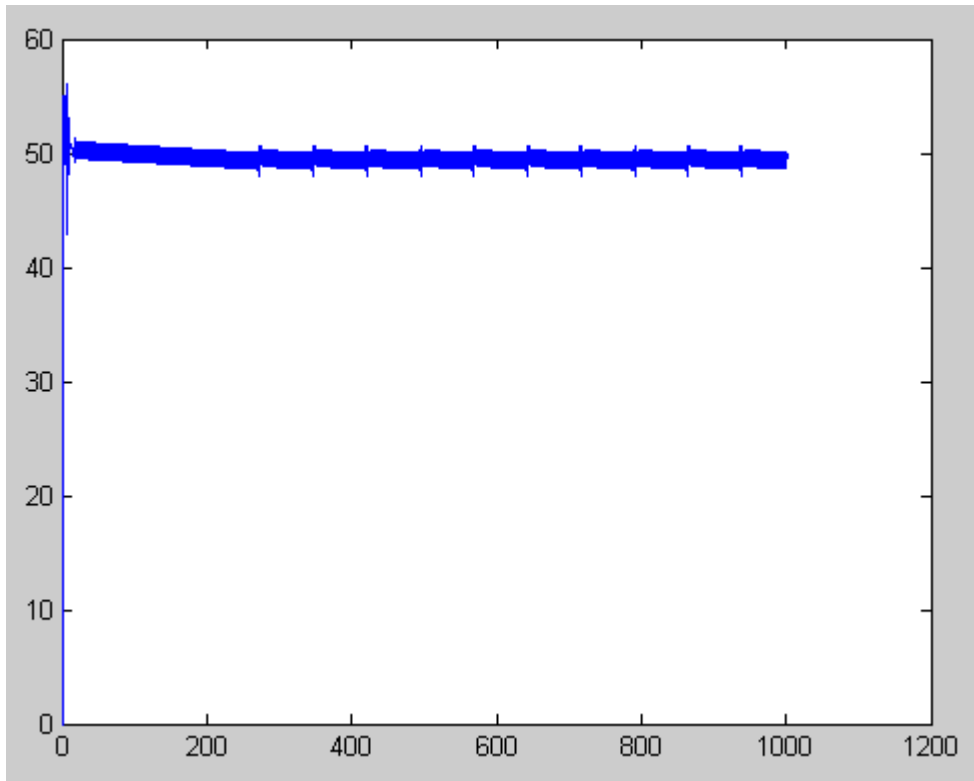
Με δεδομένο ότι ο τρίτος παραγωγός διατηρεί και πάλι σταθερή την τιμή πώλησης υιοθετούμε τις παρακάτω αρχικές συνθήκες:

$$P_{1,2,3}^1 = 55$$

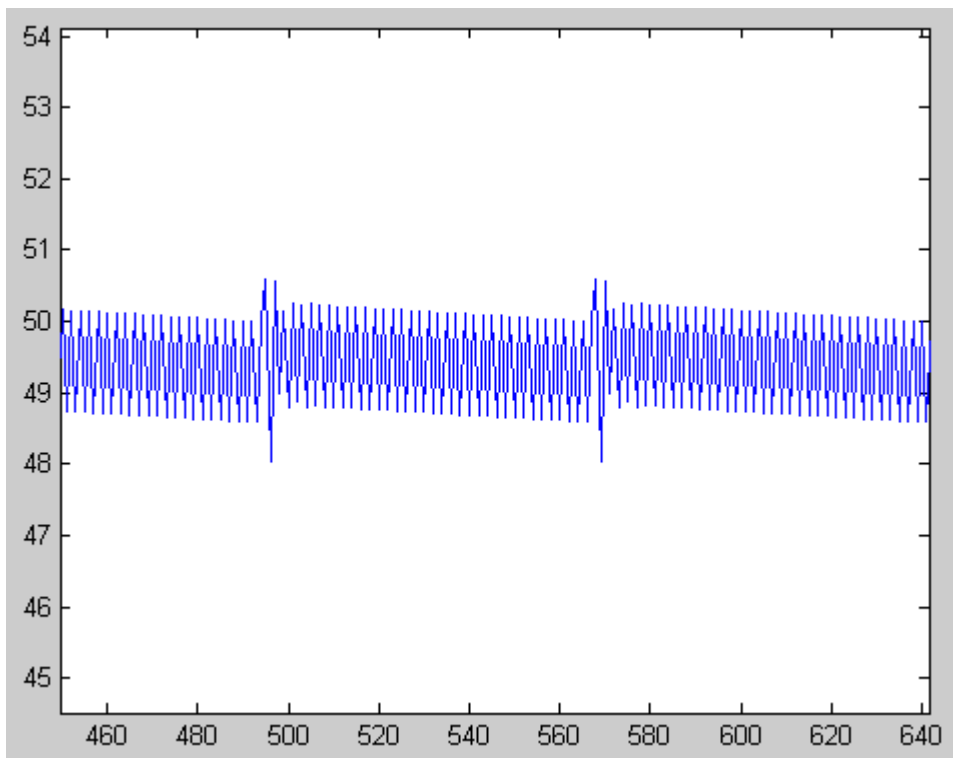
$$P_{1,2,3}^2 = 55$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1,1000]$$

Με βάση τα όσα προείπαμε παίρνουμε το διάγραμμα που ακολουθεί για την κίνηση της SMP:



Με μεγέθυνση του παραπάνω διαγράμματος παρατηρώ πως για ακόμα μια φορά έχω μια διπλή ταλάντωση που οφείλεται αφενός στην πτωτική τάση της τιμής ισορροπίας της αγοράς και αφετέρου στην διακύμανση των δύο παραγωγών γύρω από την τιμή των 50 €/ MWh.



Δημιουργώ έναν πίνακα για να συγκεντρώσω τα αθροιστικά στοιχεία των κερδών και της ζήτησης στους 1000 γύρους του παιχνίδιου:

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	65000	65000	50000
Κέρδη	331310000	331310000	74750000

Τα συνολικά κέρδη και των τριών παικτών παρουσίασαν μείωση αφού σε σχέση με προηγουμένως η αγορά κινείται σε χαμηλότερα επίπεδα. Η ζήτηση βελτιώθηκε για τους δύο πρώτους παραγωγούς οι οποίοι και ανέκτησαν ένα μικρό μερίδιο από αυτή που σημείωσε προηγουμένως ο τρίτος παίκτης.

Αποτέλεσμα του συγκεκριμένου τρόπου καθορισμού της νέας τιμής είναι μικρή αύξηση του λόγου των κερδών των παραγωγών με τη μεταβλητή τιμή προς τον παραγωγό σταθερής προσφοράς. Παρά την αύξηση όμως και πάλι δεν καταφέρνουμε να φτάσουμε στα επίπεδα που είχαμε παρατηρήσει όταν για να δημιουργήσουμε τις νέες τιμές μας είχαμε χρησιμοποιήσει τα αποτελέσματα των πιο πρόσφατων γύρων του παιχνίδιου.

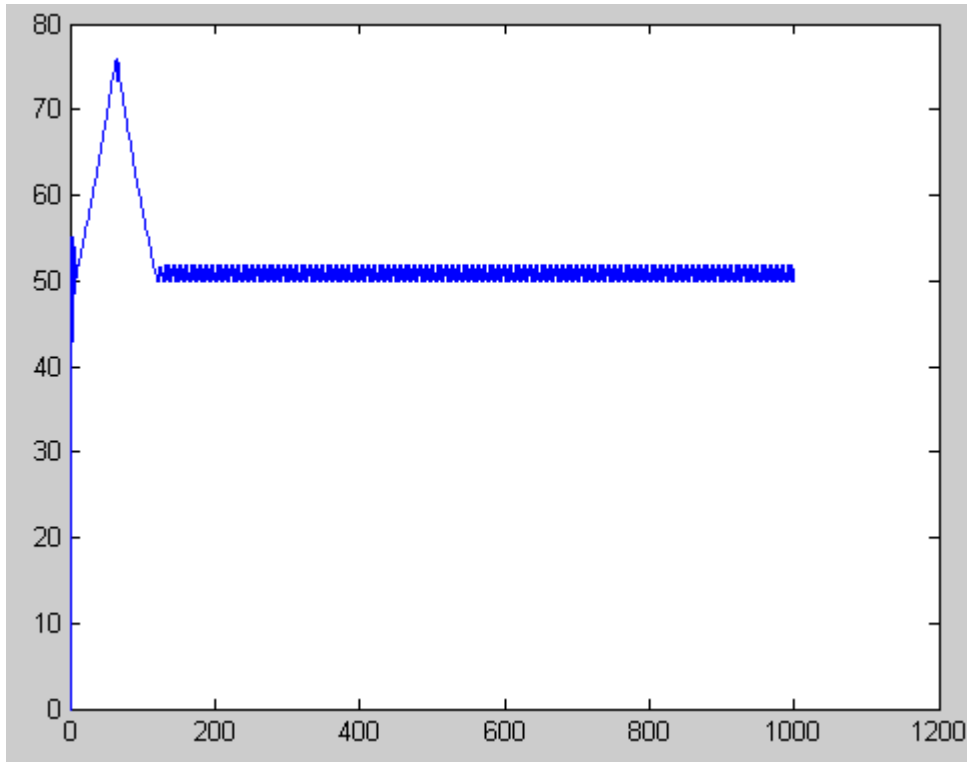
Πριν ολοκληρώσουμε την περίπτωση VI θα πρέπει να εξετάσουμε τη συμπεριφορά του συστήματος όταν αυτό πάρει έναν πιο ρεαλιστικό χαρακτήρα και πλέον ζήτηση δύναται να μεταβληθεί ανάλογα με την τιμή ισορροπίας που σημείωσε η αγορά ως αποτέλεσμα της αμέσως προηγούμενης διπλής δημοπρασίας. Επιστρέφουμε λοιπόν στην πρώτη διαφοροποίηση του μαθησιακού αλγορίθμου και ταυτόχρονα ορίζουμε τα όρια ίδια με αυτά που έχουμε θέσει από την περίπτωση III, δηλαδή στα 50 και 75 €/ MWh. Με τις αρχικές τιμές που ακολουθούν και τον αντίστοιχο κώδικα σε Matlab παίρνουμε το παρακάτω διάγραμμα:

$$P_{1,2,3}^1 = 55$$

$$P_{1,2,3}^2 = 60$$

$$P_i^3 = 50$$

$$\forall i \in [1, 1000]$$



Αυτό που παρατηρούμε είναι πως μετά την πρώτη αστάθεια του συστήματος που μας οδήγησε τελικά στα 75 €/ MWh, επιστρέψαμε σε ταλάντωση λίγο πάνω από την τιμή του τρίτου παραγωγού.

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	95200	94860	99420
Κέρδη	307100000	303030000	155922500

Η ζήτηση που παίρνουμε από την προσομοίωση παρουσιάζεται σημαντικά αυξημένη, σχεδόν διπλάσια για τους δύο πρώτους παραγωγούς και περίπου σταθερή για τον τρίτο.. Αυτό που μας ενδιαφέρει κυρίως είναι το σύνολο των κερδών τα οποία είναι σαφώς μειωμένα σε σχέση με ότι είχαμε δει στην περίπτωση III. Μάλιστα τα νέα κέρδη είναι 25% χαμηλότερα για τους δύο πρώτους παραγωγούς, ενώ ο τρίτος παραγωγός διατηρεί το σχεδόν το σύνολο των απολαβών του. Έχουμε δηλαδή μια πολύ σημαντική πτώση του λόγου των κερδών λόγω της μέτριας προσαρμογής στις ανάγκες του συστήματος.

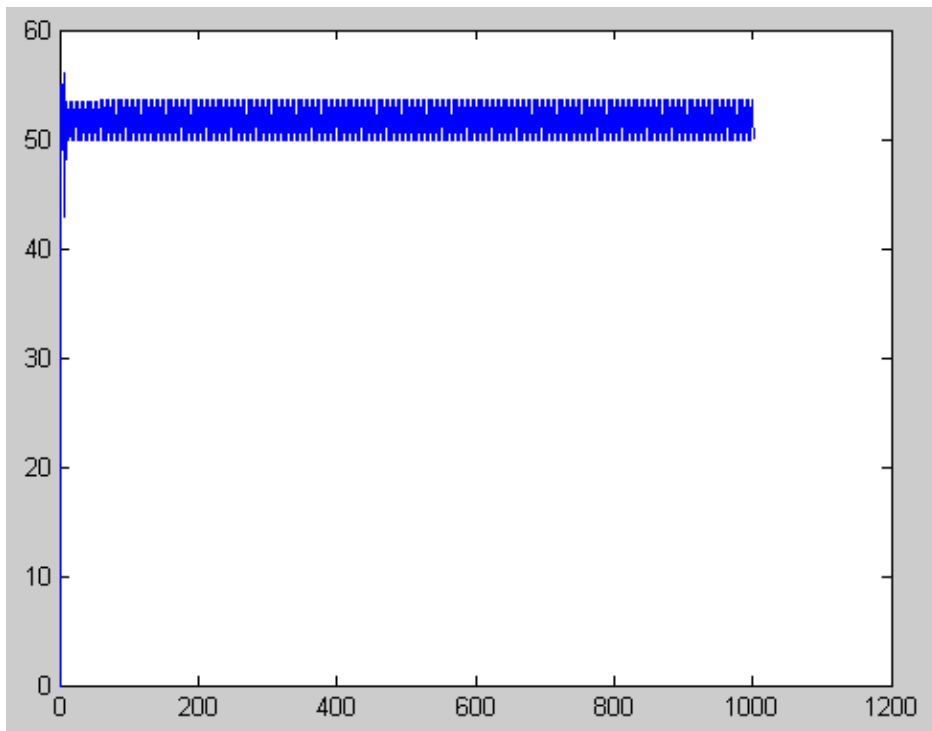
Για να γίνει πλήρως κατανοητό το κόστος που συνεπάγεται η χρησιμοποίηση παρελθοντικών τιμών για τον καθορισμό της επόμενης τιμής ενός παραγωγού με μεταβλητή προσφορά, θα εξετάσουμε και το δεύτερο παράδειγμα της παρούσας περίπτωσης όταν το σύστημα έχει μεταβλητή ζήτηση. Οι αρχικές τιμές είναι οι παρακάτω:

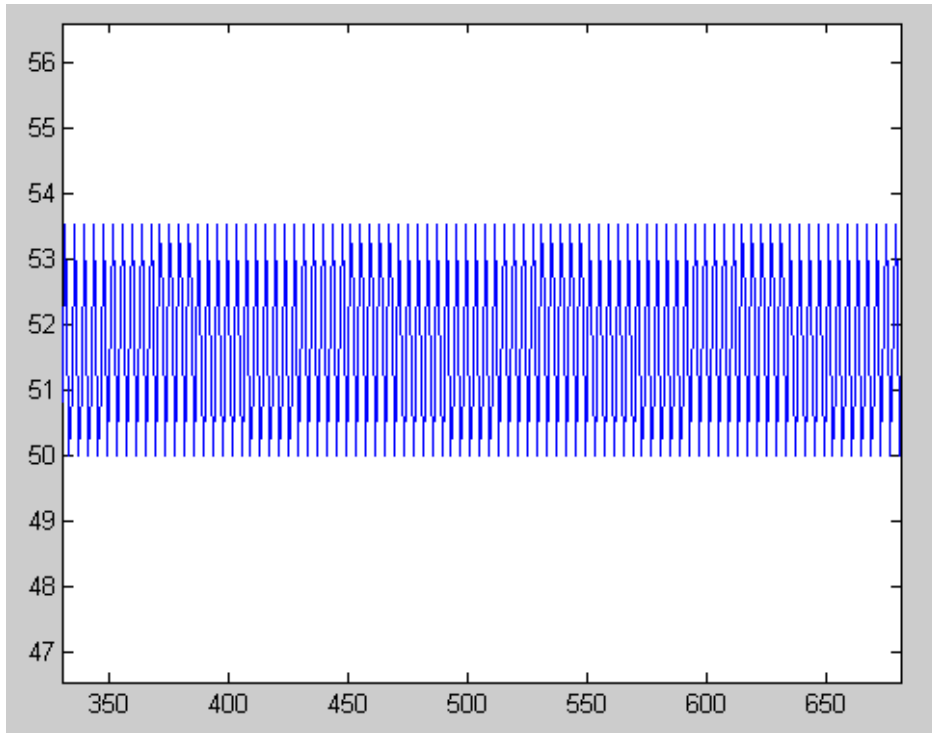
$$P_{1,2,3}^1 = 55$$

$$P_{1,2,3}^2 = 55$$

$$P_i^3 = 50 \quad \forall i \in [1,1000]$$

Με τις δεδομένες αρχικές τιμές παίρνουμε το διάγραμμα κίνησης της SMP που ακολουθεί και τη μεγέθυνσή του:





Φαίνεται πως έχω ταλάντωση του συστήματος σταθερά άνω των 50 €/ MWh με μόνη εξαίρεση την αρχή του συστήματος. Δημιουργώ τον παρακάτω πίνακα για μια καλύτερη εποπτική εικόνα της έκβασης της αγοράς.

	1 ^{ος} παραγωγός	2 ^{ος} παραγωγός	3 ^{ος} παραγωγός
Ζήτηση	99350	99350	99600
Κέρδη	329910000	329910000	155567000

Για ακόμα μια φορά διαπιστώνουμε πως η αλλαγή στον μαθησιακό αλγόριθμο επέφερε μείωση των συνολικών κερδών των δύο πρώτων παραγωγών. Ταυτόχρονα η συνολική ζήτηση αυξήθηκε σχεδόν στο διπλάσιο από ότι βλέπαμε προηγουμένως και το αποτέλεσμα είναι πως πέραν των λιγότερων κερδών, έχει συρρικνωθεί πολύ και το περιθώριο κέρδους ανά MWh παραγωγής.

Συνολικά αυτό που μπορούμε να πούμε είναι πως η επιτυχία του προτεινόμενου αλγορίθμου μειώνεται όταν αντί για τις τελευταίες τιμές χρησιμοποιούμε παλαιότερες. Τα κέρδη και ο λόγος των κερδών είναι μειωμένα και ως εκ τούτου καθίσταται πασιφανές πως εάν υπάρχει η δυνατότητα επιλογής, πρέπει να προτιμηθεί η χρήση πρόσφατων τιμών SMP. Εάν όμως περιορισμοί ή αδυναμίες του ISO να μας προμηθεύσει με τα τελευταία αποτελέσματα των τιμών ισορροπίας υφίστανται, τότε η υιοθέτηση της μεθόδου καθορισμού της νέας τιμής που προτείνεται στην παρούσα εργασία εξασφαλίζει αυξημένα κέρδη έναντι ενός παραγωγού με σταθερή τιμή πώλησης.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ

Κλείνοντας την παρούσα εργασία θα πρέπει να γίνει μια γενική αποτίμηση των αποτελεσμάτων που λάβαμε από τις προσομοιώσεις και θα πρέπει να παρουσιαστεί η συσχέτιση με τις πραγματικές αγορές, πράγμα το οποίο θα αναδείξει και νέα θέματα προς μελέτη και επιπλέον διερεύνηση.

Έχει αναφερθεί από τις πρώτες ενότητες ότι η δομή των συστημάτων που μελετήθηκαν είναι σχετικά απλή χωρίς όμως να χάνονται τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά που κινούν την αγορά οδηγώντας τα αποτελέσματα σε αχρηστία. Στην προσπάθειά μας να εξετάσουμε όσο το δυνατόν πληρέστερα πιθανά υπαρκτά συστήματα ξεκινήσαμε από τις πλέον απλές και γενικές περιπτώσεις και με την είσοδο νέων κανόνων οριοθετούσαμε κάθε φορά τις ιδιάζουσες συνθήκες που επικρατούσαν και πάνω στις οποίες θα έπρεπε να επιδείξει προσαρμοστικότητα ο μαθησιακός αλγόριθμος που προτάθηκε.

Το κυριότερο στοιχείο ήταν η ύπαρξη στο σύστημα ενός παραγωγού με σταθερή τιμή κόστους και δύο παραγωγών με τιμή που υπολογιζόταν σε κάθε γύρο με βάση τον αλγόριθμο που περιγράφηκε εκτενώς στο θεωρητικό μέρος. Η επιτυχία της μεθόδου μας ήταν ολοκληρωτική σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν. Τα κέρδη που σημείωνε κάθε ένας από τους παραγωγούς που μετέβαλε την τιμή του ήταν μεγαλύτερα σε σχέση με αυτά του παραγωγού σταθερής τιμής. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως σε μια πραγματική αγορά ένας επιχειρηματικός όμιλος που θα υιοθετούσε την πρότασή μας θα εξασφάλιζε κέρδη σαφώς αυξημένα σε σχέση με αυτά ενός παραγωγού σταθερής τιμής. Η επιτυχία αυτή οφείλεται στην ικανότητα προσαρμογής στην τάση που διακατέχει μια αγορά και επομένως στην κατάθεση προσφορών που διασφαλίζουν την αυξημένη κερδοφορία του παίκτη.

Οι ποσότητες ενέργειας που αντιστοιχίζονταν από τον ISO στους τρεις παραγωγούς είναι ακόμα ένας δείκτης που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Η διασφάλιση ενός σεβαστού μεριδίου αγοράς είναι το μέσο με το οποίο θα εξασφαλιστούν τα αντίστοιχα έσοδα. Αυτό δεν σημαίνει πως στόχος είναι η επικράτηση με την επίτευξη του μεγαλύτερου ποσοστού της αγοράς καθώς τα κέρδη έρχονται ως αποτέλεσμα της ποσότητας ενέργειας που πωλείται με την αντίστοιχη τιμή. Για αυτό το λόγο είδαμε ότι σε προσομοιώσεις οι παίκτες με τη μεταβλητή τιμή σημείωναν μεγαλύτερα κέρδη παρ' ότι τους είχε αποδοθεί μικρότερο μερίδιο αγοράς.

Αφότου εξετάσαμε τις γενικότερες των περιπτώσεων έγινε προσπάθεια να δομηθούν αγορές οι οποίες θα διακατέχονται από χαρακτηριστικά τα οποία θα προσέδιδαν μια ρεαλιστικότητα στην λειτουργία τους και επομένως θα ήταν πιο κοντά στις πραγματικές. Πρώτο και πλέον σημαντικό βήμα προς αυτό το σκοπό ήταν η αυξομείωση της ζήτησης υπό σταθερή ποσότητα ανάλογα με το επίπεδο τιμών. Επίσης αλλαγές στις αρχικές συνθήκες επηρεάζουν μια πραγματική οικονομία και επομένως δεν θα μπορούσαν να παραληφθούν ούτε εδώ. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις το ποσοστό του κέρδους κάθε παίκτη που υιοθέτησε τον αλγόριθμο πρόβλεψης ήταν πάνω από 100% σε σχέση με τα κέρδη που σημείωνε ο τρίτος παίκτης.

Είναι φυσικά αυτονόητο ότι και πάλι παρά τις όποιες προσπάθειες κάναμε να εξορθολογήσουμε την λειτουργία της αγοράς δεν οδηγηθήκαμε σε πιθανά ρεαλιστικά αποτελέσματα. Όμως η ύπαρξη τόσων στοιχείων τα οποία συνηγορούσαν στην ανωτερότητα του τρόπου καθορισμού νέων τιμών αρκούν για να θεωρήσουμε ότι στην περίπτωση που θέλαμε εφαρμογή σε ένα κανονικό σύστημα επιλογής παραγωγών για την αγορά ενέργειας η μέθοδος συνυπολογισμού των προηγούμενων καταστάσεων του συστήματος είναι εξαιρετικά σημαντική.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί πως κατά την εισαγωγή επιπλέον κανόνων για τον υπολογισμό των νέων τιμών με σκοπό την προσομοίωση της δράσης παραγωγών είτε υπερβολικά επιθετικών είτε πολύ επιφυλακτικών, είδαμε πως και στις δύο περιπτώσεις τα τελικά κέρδη παρουσιάστηκαν μειωμένα.

Στα θετικά αποτελέσματα της μεθόδου θα πρέπει να καταγραφούν και τα ρεαλιστικά επίπεδα τιμών στα οποία κινήθηκαν οι αγορές με εξαίρεση τις περιπτώσεις στις οποίες είχαμε κατάρρευση. Οι αρχικές τιμές, που όπως έχει επισημανθεί και στο θεωρητικό μέρος είχαν ρεαλιστική βάση σύμφωνα και με άλλες εργασίες, οδήγησαν τελικά τις αγορές που εξετάσαμε σε ταλαντώσεις γύρω από τιμές που έχουν εξαχθεί ως αποτελέσματα και σε άλλες μελέτες ([16], [17]). Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί διαφαίνεται μια σύνδεση των αποτελεσμάτων και επομένως και μια επιβεβαίωση της ορθότητάς τους.

Τέλος πρέπει επισημάνουμε ότι πολλά από τα ερωτήματα που παραμένουν ανοικτά σε αρκετές εργασίες και αφορούν το τι συμβαίνει όταν έχουμε ομοιόμορφη τιμολόγηση ή αν διατηρείται η ευστάθεια ανεξαρτήτως των αρχικών τιμών, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας έχουν απαντηθεί. Φυσικά υπάρχουν θέματα από την λίστα του Domowitz, σχετικά με διαφοροποιημένες συνθήκες της διπλής δημοπρασίας [27], τα οποία δεν έχουν καλυφθεί πλήρως και εναπόκειται σε επόμενες μελέτες να διευκρινιστούν.

Συνολικά λοιπόν αξιολογούμε την χρήση του μαθησιακού αλγορίθμου που προτάθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία ως απόλυτα επιτυχημένη σε όλες τις περιπτώσεις αναπαράστασης ρεαλιστικών συστημάτων. Τα κέρδη που πετύχαμε ήταν σημαντικά αυξημένα κάτι το οποίο πιστοποιεί με τον καλύτερο τρόπο την άριστη προσαρμοστικότητα στην τάση και στις ανάγκες της αγοράς.

Οι αποφάσεις της Ε.Ε. σχετικά με την απελευθέρωση των αγορών ενέργειας στις χώρες μέλη είναι σχετικά πρόσφατες και με δεδομένο ότι και στην χώρα μας δεν έχουμε ένα σύστημα το οποίο λειτουργεί πλήρως απελευθερωμένο, μας στερεί τα αριθμητικά δεδομένα τα οποία θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε για σύγκριση με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Από την άλλη πλευρά οι ιδιαιτερότητες που απαντώνται σε διάφορα συστήματα δεν μας επιτρέπουν να λάβουμε υπόψη μας τα όσα δεδομένα υπάρχουν από την λειτουργία άλλων ελεύθερων συστημάτων (π.χ. σε πολιτείες των Η.Π.Α.) ή ακόμα και αν τα χρησιμοποιούσαμε δε θα μας παρείχαν μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι είδαμε να συμβαίνει στις προσομοιώσεις. Είναι λοιπόν προφανές πως η λειτουργία ενός απελευθερωμένου συστήματος στο Ελλαδικό χώρο θα μας εξασφάλιζε πληρότητα στην μέθοδό μας αφού γεγονότα και συνθήκες τα οποία παραβλέψαμε ή αδυνατήσαμε να προβλέψουμε θα εμφανιστούν και θα επιδράσουν ουσιαστικά πάνω στα αποτελέσματα της αγοράς.

Όπως έχει επισημανθεί από την εισαγωγή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε σε μαθησιακό αλγόριθμο που λάμβανε υπόψη τις προηγούμενες καταστάσεις του συστήματος καθώς και τα κέρδη του παραγωγού. Η όλη διαδικασία επανακαθορισμού των τιμών, της αυξομείωσης της ζήτησης καθώς και της αντιστοίχισης των ποσοτήτων της ηλεκτρικής ενέργειας με τους παραγωγούς προσδιορίζονταν με απόλυτα ντετερμινιστικό τρόπο από τις παρελθούσες τιμές. Φυσικά κάτι τέτοιο δεν δύναται να περιγράψει πλήρως μια πραγματική αγορά όπου ενέχει η αβεβαιότητα των κινήσεων των ανταγωνιστών αλλά και οι διακυμάνσεις στο συνολικό οικονομικό σύστημα. Επομένως μετά την επιτυχή εφαρμογή του μαθησιακού αλγορίθμου στο σύνολο των απλών συστημάτων, μπορούμε να διευρύνουμε την εφαρμογή του και να κρίνουμε εκ νέου την αποτελεσματικότητά του σε δίκτυα τα οποία χαρακτηρίζονται από ένα ποσοστό αβεβαιότητας. Η είσοδος στοχαστικών διαδικασιών στον τρόπο λειτουργίας του συστήματος και στην δράση του ISO (που μέχρι τώρα θεωρήθηκε αντικειμενική και ακριβής) θα οδηγήσει ένα βήμα παραπέρα τη μελέτη της λειτουργίας του αλγορίθμου και θα δοκιμάσει την αποτελεσματικότητά του σε ένα νέο είδος συστημάτων.

Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί ότι η μέχρι τώρα σύνθεση των συστημάτων ήταν τέτοια που οι ενέργειες των παικτών που ακολουθούσαν την προτεινόμενη μέθοδο επηρέαζαν ουσιαστικά την έκβαση του κάθε γύρου. Κάτι τέτοιο είναι αναγκαίο κακό όταν θέλουμε να δομήσουμε μια αγορά η οποία θα χαρακτηρίζεται από μικρό αριθμό παικτών προς χάριν απλοποίησης των διαδικασιών και της μελέτης. Επομένως μια επέκταση της παρούσας εργασίας πρέπει να είναι η τοποθέτηση ενός παίκτη που χρησιμοποιεί τον συγκεκριμένο μαθησιακό αλγόριθμο σε ένα μεγάλο δίκτυο στο οποίο αλληλεπιδρούν πολλοί παίκτες και έτσι η τάση της αγοράς είναι το αποτέλεσμα της συνισταμένης κίνησης όλων αυτών. Ακριβώς σε τέτοιου είδους παίγνια αναμένεται να επιβραβευτεί ακόμα περισσότερο η προσαρμοστικότητα που διακατέχει τον προτεινόμενο μέθοδο που δημιουργήσαμε στην παρούσα εργασία.

Κλείνοντας πρέπει να σημειωθεί ότι η σωστή λειτουργία του αλγορίθμου που σχεδιάστηκε για μια απελευθερωμένη αγορά ενέργειας επιβεβαιώθηκε από τις πλείστες προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν. Έτσι μετά την επιτυχή περάτωση των απλών συστημάτων ανοίγει ο δρόμος για περεταίρω μελέτη σε δίκτυα που θα σχεδιαστούν πιο περίπλοκα και πιο ρεαλιστικά. Τελικός σκοπός δεν είναι άλλος από την εφαρμογή της μεθόδου που προτάθηκε από παίκτες οι οποίοι θα δραστηριοποιηθούν σε μια εγχώρια απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό να καταγράψουν τα μέγιστα δυνατά κέρδη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παρόν παράρτημα παρουσιάζεται ο κώδικας σε γλώσσα Matlab που χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργηθούν τα συστήματα και οι προσομοιώσεις που χρειάστηκαν ώστε να τεκμηριώσουν την λειτουργία του μαθησιακού αλγορίθμου που προτάθηκε. Αποτελεί την πλέον γενική μορφή και για αυτό συμπεριλαμβάνει και την δυνατότητα η αγορά να έχει μεταβλητή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από τους παραγωγούς.

```
J1(1)=0;
J2(1)=0;
J3(1)=0;
D=180000;
p1=55;
p2=60;
p3=50;

timi1(2)=p1;
timi2(2)=p2;
timi3(2)=p3;

for i = 2:1001
    price=[p1 p2 p3];
    A = sort(price);
    q(1)=0;
    q(2)=0;
    q(3)=0;

    if D <100000
        SMP(i)=A(i);
        if p3<=p1 if p3<=p2
            q3(i)=D;
        else
            if p1<p2
                q1(i)=D;
            else
                q2(i)=D;
            end
        end
    end
    if p1==p2
        q1(i)=D/2;
        q2(i)=D/2;
    end
    an(i)=1;
end

if D>=100000 if D<=200000

    q(1)=0;
    q(2)=0;
    q(3)=0;
    SMP(i)=A(2);
    for k=1:3
        if A(1)==price(k)
            q(k)=100000;
```

```

        end
        if A(2)==price(k)
            q(k)=D-100000;
        end
        if A(3)==price(k)
            q(k)=0;
        end
    end
    an(i)=2;

    q1(i)=q(1);
    q2(i)=q(2);
    q3(i)=q(3);
    if p1==p2
        if p1<p3
            q1(i)=D/2;
            q2(i)=D/2;
            q3(i)=0;
        else
            p1>p3
            q3(i)=100000;
            q1(i)=(D-100000)/2;
            q2(i)=(D-100000)/2;
        end
    end
    if p1==p3
        if p1<p2
            q3(i)=100000;
            q1(i)=D-100000;
            q2(i)=0;
        else
            q2(i)=100000;
            q3(i)=D-100000;
            q1(i)=0;
        end
    end
    if p2==p3
        if p1<p2
            q1(i)=100000;
            q2(i)=0;
            q3(i)=D-100000;
        else
            q3(i)=100000;
            q1(i)=0;
            q2(i)=D-100000;
        end
    end
end
end
end

if D>200000
    an(i)=3;
    SMP(i)=A(3);
    for k=1:3
        if A(1)==price(k)
            q(k)=100000;
        end
        if A(2)==price(k)
            q(k)=100000;
        end
        if A(3)==price(k)

```

```

        q(k)=D-200000;
    end
end
q1(i)=q(1);
q2(i)=q(2);
q3(i)=q(3);
if p1==p2
    if p1>p3
        q3(i)=100000;
        q1(i)=(D-100000)/2;
        q2(i)=(D-100000)/2;
    else
        q1(i)=100000;
        q2(i)=100000;
        q3(i)=D-200000;
    end
end
if p1==p3
    if p1>p2
        q2(i)=100000;
        q3(i)=100000;
        q1(i)=D-200000;
    else
        q3(i)=100000;
        q1(i)=100000;
        q2(i)=D-200000;
    end
end
if p2==p3
    if p1>p3
        q2(i)=100000;
        q3(i)=100000;
        q1(i)=D-200000;
    else
        q3(i)=100000;
        q1(i)=100000;
        q2(i)=D-200000;
    end
end
end
end

```

```

zitisi(i)=D;
x1=q(1);
x2=q(2);
x3=q(3);
F1=7000+8.40*x1+0.0004*x1^2;
F2=7000+8.40*x2+0.0004*x2^2;
F3=7000+8.40*x3+0.0004*x3^2;

```

```

J=q(1)*p1-F1;
J1(i)=J;
J=q(2)*p2-F2;
J2(i)=J;
J=q(3)*p3-F3;
J3(i)=J;
if J1(i)<0
    J1(i)=-3500;
end

```

```

if J2(i)<0
    J2(i)=-3500;
end
if J3(i)<0
    J3(i)=-3500;
end

if J1(i)>J1(i-1)
    c=0.02;
else
    c=-0.02;
end
if J2(i)>J2(i-1)
    d=0.02;
else
    d=-0.02;
end
    if J3(i)>J3(i-1)
        e=0.02;
    else
        e=-0.02;
    end

if i>=4
    p1=(0.5+c)*SMP(i)+0.3*SMP(i-1)+0.2*SMP(i-2);
    p2=(0.5+d)*SMP(i)+0.3*SMP(i-1)+0.2*SMP(i-2);
    p3=(0.5+e)*SMP(i)+0.3*SMP(i-1)+0.2*SMP(i-2);
else
    p1=timi1(2);
    p2=timi2(2);
    p3=timi3(2);
end

timi1(i+1)=p1;
timi2(i+1)=p2;
timi3(i+1)=p3;
if SMP(i)<=50
    D=D+20000;
end
if SMP(i)>=75
    D=D-10000;
end

end

plot (SMP)

sum1=0;
q1ol=0;
for i=2:1001
    q1ol=q1ol+q1(i);
    sum1=sum1+J1(i);
end
sum1
q1ol

```



```
q2o1=0;
sum2=0;
for i=2:1001
    q2o1=q2o1+q2(i);
    sum2=sum2+J2(i);
end
sum2
q2o1
```

```
q3o1=0;
sum3=0;
for i=2:1001
    q3o1=q3o1+q3(i);
    sum3=sum3+J3(i);
end
sum3
q3o1
```

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Junjie Sun and Leigh Tesfatsion, "An Agent-Based Computational Laboratory for Wholesale Power Market Design", IEEE Proceedings, Power and Energy Society General Meeting, Tampa, Florida, June 2007.
- [2] Ν. Λιώνης, "Ρύθμιση αγοράς, ανταγωνισμός και ποιότητα στις τηλεπικοινωνίες", Πανεπιστήμιο Αθηνών, Νοέμβριος 2005.
- [3] Κων/νος Βενετσάνος, "Αξιολόγηση επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε συνθήκες αβεβαιότητας: Η περίπτωση της αιολικής ενέργειας", Αθήνα, 2002.
- [4] Παρίσση Ειρήνη, "Απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας στην Ε.Ε. «Μελέτη περίπτωσης: Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στη Μεγάλη Βρετανία και την Ισπανία»", Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2009.
- [5] Ferrero, R.W., Rivera, J.F. and Shahidehpour, S.M. "Application of Games with Incomplete Information for Pricing Electricity in Deregulated Power Pools" IEEE Transactions on Power Systems, Vol 13, No 1, Aug 1998, pp 184-189.
- [6] C.C. Skoulidas, C.D. Vournas, G.P. Papavassilopoulos, "An Adaptive Game for Electricity Markets", Nat.Conf.Ktisivios, Santorini, Greece, June 2001.
- [7] F. J. Nogales, J. Contreras, A. J. Conejo and R. Espínola, "Forecasting next-day prices by time series models," IEEE Trans. Power Syst., vol. 17, pp. 342-348, May 2002.
- [8] G. Li, C.-C. Liu, C. Mattson, J. Lawarrée, "Day-Ahead electricity price forecasting in a grid environment", IEEE Trans. Power Syst., vol. 22, pp. 266-274, Feb. 2007.
- [9] J. Contreras, R. Espínola, F. J. Nogales and A. J. Conejo, "ARIMA models to predict next-day electricity prices", IEEE Trans. Power Syst., vol. 18, pp. 1014-1020, Aug. 2003.
- [10] S. Deng, "Pricing electricity derivatives under alternative stochastic spot price models", proceedings of the 33rd Hawaii international conference on system sciences, vol. 4, Jan. 2000.
- [11] H. Zareipour, C. A. Cañizares, K. Bhattacharya, J. Thomson, "Application of public-domain market information to forecast Ontario's wholesale electricity prices", IEEE Trans. Power Syst., vol. 21, pp. 1707-1717, Nov. 2006.
- [12] M. Shahidehpour, H. Yamin, and Z. Li, Market Operations in Electric Power Systems: Forecasting, Scheduling, and Risk Management. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Wiley- Interscience, 2002.
- [13] N. Amjady, "Day-ahead price forecasting of electricity markets by a new fuzzy neural network," IEEE Trans. Power Syst., vol. 21, no. 2, pp. 887-896, May 2006.
- [14] Y. Y. Hong and C. Y. Hsiao, "Locational marginal price forecasting in deregulated electricity markets using artificial intelligence," IEE Proceedings-Generation Transmission and Distribution, vol. 149, no. 5, pp. 621-626, Sept. 2002.
- [15] Nanpeng Yu, Chen-Ching Liu, and Leigh Tesfatsion, "Modeling of Suppliers' Learning Behaviors in an Electricity Market Environment", International Journal of Engineering Intelligent Systems, Vol. 15, No. 2, 2007, pp. 115-121.
- [16] James Nicolaisen, Valentin Petrov, and Leigh Tesfatsion, "Market Power and Efficiency in a Computational Electricity Market with Discriminatory Double-Auction Pricing", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 5, No. 5, October 2001, pp. 504-523.
- [17] Hongyan Li, Junjie Sun, and Leigh Tesfatsion, "Dynamic LMP Response Under Alternative Price-Cap and Price-Sensitive Demand Scenarios", IEEE Proceedings, Power and Energy Society General Meeting, Pittsburgh, July 20-24, 2008.
- [18] M. Olsson and L. Söder, "Modeling real-time balancing power market prices using combined SARIMA and Markov processes," IEEE Trans. Power Syst, vol. 23, pp. 443-450, May 2008.
- [19] J. Weiss, "Market Power Issues in the Restructuring of the Electricity Industry: An Experimental Investigation," Working Paper, Harvard Business School, 1999.

- [20] C.C. Skoulidas, C.D. Vournas, G.P. Papavassilopoulos, “Adaptive Game Modeling of Deregulated Power Markets”, *Power Review Letters*, Sept. 2002, pp. 42-45.
- [21] J. Bower and D. Bunn, “Experimental Analysis of the Efficiency of Uniform-Price Versus Discriminatory Price Auctions in the England and Wales Electricity Market,” *J. Econ. Dyn. Contr.* 25/3-4, pp. 561-592, 2001.
- [22] Π.Α.Ε., ΚΑΠΕ, “5η ΕΘΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 2010 (ΑΡΘΡΟ 3 ΟΔΗΓΙΑΣ 2001/77/ΕΚ)”, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2009.
- [23] D. Friedman, “The Double Auction Institution: A Survey,” pp. 3-25 in D. Friedman and J. Rust (eds.), *The Double Auction: Institutions, Theories*, Volume XIV, Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Reading, MA: Addison-Wesley, 1993.
- [24] G. B. Sheblé, *Computational Auction Mechanisms for Restructured Power Industry Operation*, Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [25] P. Klemperer, “Auction Theory: A Guide to the Literature,” pp. 3-62 in P. Klemperer (ed.), *The Economic Theory of Auctions*, Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2000.
- [26] C. Camerer and T.-H. Ho, “Experience-Weighted Attraction Learning in Normal Form Games,” *Econometrica* 67, pp. 827-874, 1999.
- [27] I. Domowitz, “Automating the Continuous Double Auction in Practice: Automated Trade Execution Systems in Financial Markets,” pp. 27-60 in D. Friedman and J. Rust (eds.), *op. cit.*