

ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΑ ΠΑΙΓΝΙΑ ΣΕ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΕΣ ΑΓΟΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗΣ.

Χ.Σκουλίδας, Κ.Βουρνάς, Γ. Παπαβασιλόπουλος

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχ/κών & Μηχ/κών Η/Υ
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Πολυτεχνειούπολη, 15773 Ζωγράφου
Τηλ: 210-7721445, Fax: 210-7723557, E-mail: yorgos@netmode.ntua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα μοντέλο προσομοίωσης δύο διασυνδεδεμένων αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, με και χωρίς περιορισμό στη δυναμικότητα διασύνδεσης, προκειμένου να εξετασθεί η συμπεριφορά της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας με διαφορετικούς συνδυασμούς μεθόδων τιμολόγησης (*Uniform Pricing* και *Pay-As-Bid*). Το μοντέλο προσομοιώνει τη λειτουργία των δύο αγορών ως ένα στοχαστικό προσαρμοστικό παίγνιο Nash όπου οι παίκτες χρησιμοποιούν έναν μαθησιακό αλγόριθμο για να μεγιστοποιήσουν το κέρδος τους και να αντισταθμίσουν την έλλειψη πληροφορίας. Από την προσομοίωση προκύπτει πως όταν και τα δύο διασυνδεδεμένα συστήματα εφαρμόζουν τη μέθοδο *Uniform Pricing* και οι αγορές είναι ολιγοπώλια οι τιμές επηρεάζονται περισσότερο, και μάλιστα πτωτικά, σε σχέση με τις τιμές που θα προέκυπταν αν τα συστήματα δεν τελούσαν υπό διασύνδεση. Αντίθετα όταν εφαρμόζεται η μέθοδος *Pay-As-Bid* η επίδραση είναι μεγαλύτερη και αυξητική όταν οι αγορές τείνουν στον τέλει ανταγωνισμό, ενώ όταν έχουμε διαφορετική μέθοδο τιμολόγησης στα δύο συστήματα οι τιμές συγκλίνουν στην ενδιάμεση περιοχή. Τέλος, η εισαγωγή περιορισμού στη δυναμικότητα διασύνδεσης τείνει να αυξήσει τις τιμές σε όλες τις περιπτώσεις.

Λέξεις Κλειδιά: Απελευθέρωση Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας, Θεωρία Παιγνίων, Προσαρμοστικά Παιγνια, Διασύνδεση Αγορών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας που συντελέστηκε σε πολλές χώρες του κόσμου κατά την τελευταία δεκαετία, καθώς και η τάση και προοπτική για ενοποίηση των εθνικών αγορών σε ευρύτερες περιφερειακές αγορές, καθιστούν ολοένα και περισσότερο αναγκαία και επίκαιρη τη μελέτη και ανάλυση τέτοιων αγορών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για μελέτη παρουσιάζουν θέματα που σχετίζονται με τη συνολική συμπεριφορά των αγορών αυτών και των μεγεθών που τις χαρακτηρίζουν, με τη μεμονωμένη συμπεριφορά των συμμετεχόντων σε αυτές, τη διερεύνηση των μηχανισμών διαμόρφωσης των τιμών και την εξεύρεση κατάλληλου ρυθμιστικού πλαισίου [1-3]. Η πολυπλοκότητα των θεμάτων αυτών, ωστόσο, αυξάνεται αν εξετάσει κανείς το θέμα της διασύνδεσης ή της ενοποίησης μεμονωμένων αγορών ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν κάτω από διαφορετικές συνθήκες και κανόνες. Υπάρχουν φυσικά πολλοί τρόποι για να προσεγγίσει κανείς ένα τόσο ευρύ και πολύπλοκο αντικείμενο, ένας εκ των οποίων είναι και η προσέγγιση από τη σκοπιά της θεωρίας παιγνίων. Έχουν γίνει μέχρι στιγμής αρκετές αξιολογικές και ενδιαφέρουσες προσεγγίσεις του θέματος με τη χρήση της θεωρίας παιγνίων [4-6] και η παρούσα εργασία έρχεται να προσθέσει την προσέγγιση με στοχαστικά προσαρμοστικά παίγνια με χρήση μαθησιακών αλγορίθμων για τη μελέτη διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών συστημάτων που λειτουργούν υπό καθεστώς απελευθέρωσης. Κύριο αντικείμενο της μελέτης αποτελεί η διαμόρφωση της τιμής για διαφορετική μέθοδο τιμολόγησης της παραγωγής.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε προσομοιώνει μια απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελούμενη από δύο ανεξάρτητα ηλεκτρικά συστήματα διασυνδεδεμένα μεταξύ τους όπου στο καθένα από αυτά η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας διαμορφώνεται ξεχωριστά μέσω μιας διαδικασίας υποχρεωτικής υποβολής προσφορών (auction) από τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας στον αντίστοιχο Διαχειριστή του κάθε συστήματος. Καθώς όμως τα συστήματα είναι διασυνδεδεμένα μεταξύ τους οι παραγωγοί του ενός έχουν τη δυνατότητα να υποβάλλουν προσφορές και στο γειτονικό λειτουργώντας ως εισαγωγείς, επιμερίζοντας με όποιο τρόπο νομίζουν την παραγωγική τους δυναμικότητα στα δύο συστήματα μέσω των αντιστοιχών προσφορών. Επιπλέον, ως προς τη δυναμικότητα της διασύνδεσης μεταξύ των δύο συστημάτων, εξετάζονται συγκριτικά η περίπτωση της θεωρητικά απεριόριστης δυναμικότητας και η περίπτωση της διασύνδεσης που υπόκειται σε περιορισμό.

2.1. Παίγνιο σε ένα σύστημα

Περιγράφοντας τη λειτουργία των δύο συστημάτων ξεχωριστά [7,8], για λόγους καλύτερης κατανόησης, μπορούμε να πούμε ότι το κάθε ένα από αυτά αποτελείται: α) έναν Ανεξάρτητο Διαχειριστή στον οποίο υποβάλλονται οι προσφορές και ο οποίος αγοράζει ποσότητες από τους παραγωγούς με στόχο την κάλυψη της ζήτησης D του συστήματος, και β) από i παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας (παίκτες) ο καθένας εκ των οποίων έχει ένα εύρος δυναμικότητας παραγωγής $[Q_{i \min}, Q_{i \max}]$ και συνάρτηση οριακού κόστους της ακόλουθης μορφής :

$$MC_i(Q) = a_i + b_i Q \quad \text{όπου } a_i, b_i > 0, \text{ οι συντελεστές κόστους.} \quad (1)$$

Οι παραγωγοί υποβάλλουν συναρτήσεις προσφοράς (τιμής-ποσότητας) στο Διαχειριστή, ίδιας μορφής με τη συνάρτηση του οριακού τους κόστους

$$P_i(Q) = A_i + B_i Q \quad \text{όπου } A_i, B_i > 0, \text{ οι συντελεστές προσφοράς.} \quad (2)$$

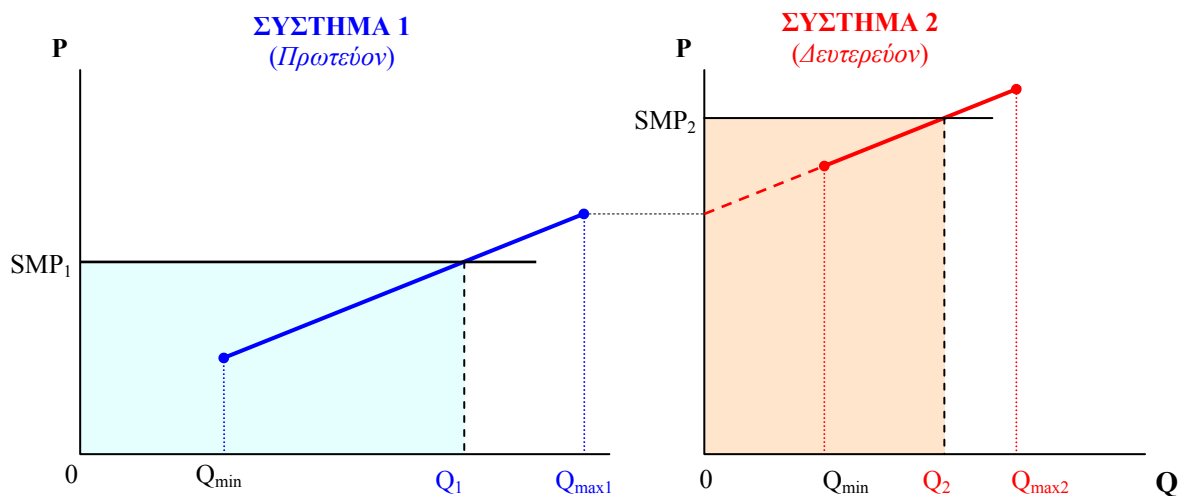
διαφοροποιώντας ελεύθερα και κατά το δοκούν τους συντελεστές της. Ο Διαχειριστής του Συστήματος ορίζει ένα ανώτατο όριο τιμής προσφοράς (*Price Cap*) αρκούντως μεγαλύτερο της τιμής που θα ισορροπούσε το σύστημα αν όλοι οι παραγωγοί είχαν υποβάλλει ως προσφορές το οριακό τους κόστος. Οι παραγωγοί υποβάλλουν προσφορές για το σύνολο της δυναμικότητάς τους με τρόπο τέτοιο ώστε για καμιά προσφερόμενη ποσότητα η τιμή να μην υπερβαίνει το ανώτατο όριο τιμής προσφοράς. Εξετάζονται δύο μέθοδοι πληρωμής των παραγωγών από το Διαχειριστή: α) *Uniform Pricing* όπου οι παραγωγοί πληρώνονται στην Οριακή Τιμή του Συστήματος το σύνολο της παραγόμενης ποσότητας και β) *Pay-As-Bid* όπου οι παραγωγοί πληρώνονται για την ποσότητα που παράγουν ότι ακριβώς έχουν υποβάλλει ως συνάρτηση προσφοράς. Το σύνολο της δυναμικότητας των παικτών που είναι εγκατεστημένοι σε ένα σύστημα υπερκαλύπτει τη ζήτηση του συστήματος αυτού.

Ο κάθε παραγωγός γνωρίζει μόνο το δικό του κόστος παραγωγής, τις προηγούμενες προσφορές του και τα αντίστοιχα αποτελέσματα που αυτές είχαν. Στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα παίγνιο Nash όπου οι παίκτες δεν γνωρίζουν τα κόστη, τις επιλογές και τα αποτελέσματα των αντιπάλων τους [9] και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούν ένα στοχαστικό προσαρμοστικό αλγόριθμο εκμάθησης (*adaptive learning algorithm*) για να αντισταθμίσουν αυτή την έλλειψη πληροφορίας και παράλληλα να μεγιστοποιήσουν το κέρδος τους [10,11]. Συγκεκριμένα, κάθε παραγωγός προσαρμόζει την προσφορά του, μεταβάλλοντας τους συντελεστές της συνάρτησης προσφοράς του κατά ένα μικρό μέγεθος (*step*) με τυχαία επιλογής της δράσης (αύξηση, μείωση, σταθεροποίηση) από ένα στοχαστικό προφίλ συμπεριφοράς που αντιστοιχεί σε αυτόν. Το προφίλ αυτό αναμορφώνεται βαθμιαία και συνεχώς εκτιμώντας την επίπτωση της τε-

λευταίας μεταβολής της συνάρτησης προσφοράς του παραγωγού στο εισόδημά του, επιβραβεύοντας ή «τιμωρώντας» την αντίστοιχη δράση. Το παίγνιο αποτελείται από n συνεχόμενους γύρους προσφορών και εκκαθαρίσεων στους οποίους συμμετέχουν όλοι οι παραγωγοί ακόμη και αν δεν καταφέρνουν να πάρουν μερίδιο αγοράς για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η διαφορετικότητα των παικτών δύναται να αφορά, πέραν της δυναμικότητας και του κόστους παραγωγής τους, στην ταχύτητα (*adaptivity*) αλλά και στην ένταση (*reactivity*) με την οποία προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους.

2.2. Παίγνιο σε δύο διασυνδεδεμένα συστήματα

Στην περίπτωση που τα δύο συστήματα βρίσκονται σε διασύνδεση και κάθε παραγωγός δύναται να υποβάλλει προσφορά και στο γειτονικό σύστημα, για ένα τμήμα της παραγωγής του ή και για το σύνολο αυτής αν το κρίνει σκόπιμο, θεωρούμε ότι η συνάρτηση προσφοράς του παραγωγού είναι ενιαία και απλά το ένα τμήμα της υποβάλλεται στο γειτονικό σύστημα (*δευτερεύον*) ανάλογα με το ποιο σύστημα θεωρείται για τον παραγωγό πρωτεύον τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή και ανεξάρτητα από το που βρίσκεται εγκατεστημένος. Ο τόπος εγκατάστασης του παραγωγού επηρεάζει μόνο το ότι ο συγκεκριμένος παραγωγός θα ξεκινήσει το παίγνιο θεωρώντας ως πρωτεύον σύστημα αυτό στο οποίο είναι εγκατεστημένος. Ο καθορισμός του πρωτεύοντος συστήματος έχει σημασία για το παραγωγό και για το παίγνιο με την έννοια ότι στο πρωτεύον σύστημα υποβάλλεται πάντα η προσφορά για το χαμηλό, από πλευράς κόστους, τμήμα της δυναμικότητάς του. Ένας παραγωγός κατά τη διάρκεια του παιγνίου μπορεί να αλλάξει πολλές φορές πρωτεύον σύστημα ανάλογα με την εξέλιξη του παιγνίου.



Σχήμα 1. Απεικόνιση προσφοράς παραγωγού σε δύο συστήματα και αντιστοίχων πωλούμενων ποσοτήτων και εσόδων με Uniform Pricing τιμολόγηση.

Για τον κάθε παραγωγό ο μαθησιακός αλγόριθμος λειτουργεί θεωρώντας ως ενιαία την προσφορά του αλλά και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτή και στα δύο συστήματα. Η μεταβλητή απόφασης που επηρεάζει την κατανομή της προσφερόμενης δυναμικότητας στα δύο συστήματα δεν εντάσσεται ωστόσο στην ίδια προσαρμοστική μαθησιακή διαδικασία αλλά λειτουργεί ανεξάρτητα και εξετάζει την αποδοτικότητα των πωλήσεων του συγκρίνοντας το βραχυχρόνιο μέσο κέρδος ανά μονάδα ενέργειας που πούλησε στο κάθε σύστημα. Όταν λοιπόν η αποδοτικότητα των πωλήσεων στο ένα σύστημα γίνει ελκυστικότερη από την αντίστοιχη του άλλου κατά ένα συγκεκριμένο μέγεθος (*Tolerance*) τότε ο παραγωγός αυξάνει την προσφερόμενη ποσότητα στο ελκυστικότερο σύστημα κατά ένα μικρό ποσοστό.

Είναι προφανές ότι στην περίπτωση υποβολής προσφοράς και στα δύο συστήματα ο παραγωγός πρέπει να προσφέρει τουλάχιστον το τεχνικό του ελάχιστο και στα δύο συστήματα. Αυτό σημαίνει ότι ο παραγωγός τροποποιεί κάθε φορά την προσφορά του ως προς την αναλογία της προσφερόμενης ισχύος στα δύο συστήματα έχοντας ένα εύρος μεταβολής που ορίζεται από τη διαφορά της δυναμικότητάς και του διπλασίου του τεχνικού του ελαχίστου. Στην περίπτωση που ο παραγωγός βρεθεί να πωλεί στο λιγότερο ελκυστικό σύστημα μόνο το τεχνικό του ελάχιστο, δεν μεταφέρει την ποσότητα αυτή στο άλλο σύστημα, ασχέτως πόσο πιο ελκυστικό αυτό έχει γίνει, παρά μόνο στην περίπτωση που δεν καταφέρει να την πωλήσει. Τότε μόνο μπορεί να βρεθεί να πουλά μόνο στο ένα σύστημα. Για να ξαναπροσφέρει στο *δευτερεύον* πλέον γι' αυτόν σύστημα, πρέπει να μην μπορέσει να πουλήσει στο *πρωτεύον* Σύστημα τόση ποσότητα όσο είναι το τεχνικό του ελάχιστο και επιπλέον το δευτερεύον Σύστημα να είναι τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή ελκυστικότερο.

Η δυναμικότητα της διασύνδεσης των δύο συστημάτων όταν είναι θεωρητικώς άπειρη δεν επηρεάζει την επίλυση και ως εκ τούτου οι συναλλαγές πραγματοποιούνται κανονικά. Όταν όμως έχουμε περιορισμένη δυναμικότητα διασύνδεσης τότε ενδέχεται να παρατηρηθεί το φαινόμενο της συμφόρησης. Η συμφόρηση παρατηρείται όταν μετά την επίλυση η αλγεβρική τιμή του συνόλου των ποσοτήτων που πρέπει να μεταφερθεί προς τη μία κατεύθυνση και του συνόλου των ποσοτήτων που πρέπει να μεταφερθεί προς την αντίθετη κατεύθυνση υπερβαίνει τη δυναμικότητα της διασύνδεσης. Σε αυτή την περίπτωση μεταφέρονται μόνο οι ποσότητες που δύναται να διέλθουν μέσω της διασύνδεσης με βάση την οικονομικότητά τους. Η υπόλοιπη ποσότητα καλύπτεται από εγχώρια αλλά ακριβότερη παραγωγή με αποτέλεσμα να αυξάνεται τελικώς η οριακή τιμή του συστήματος αυτού.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

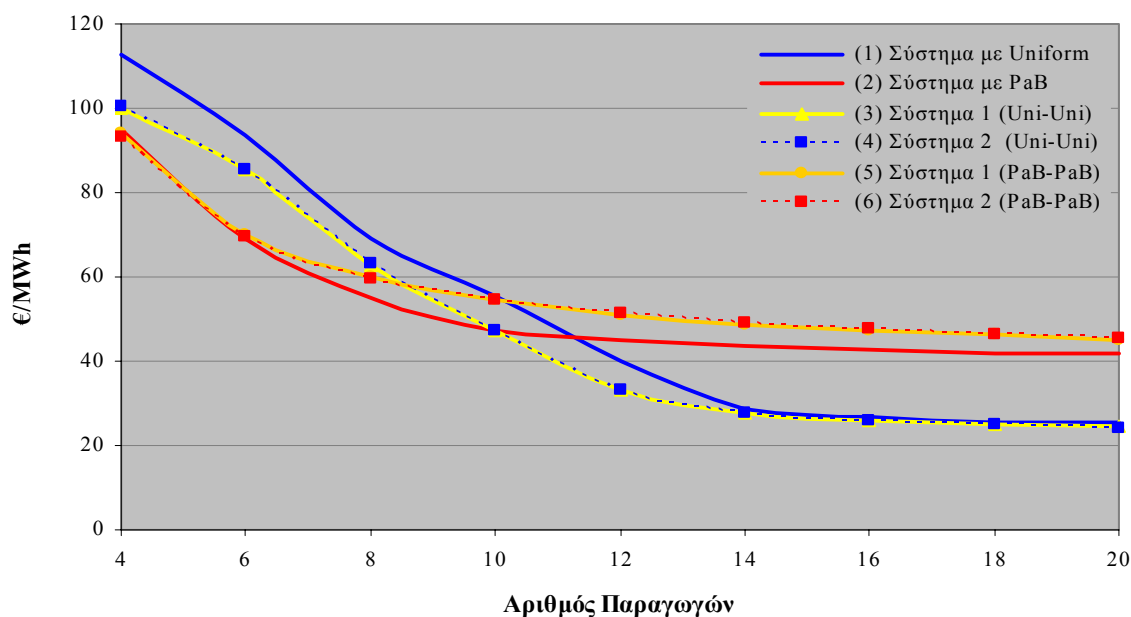
Στο πλαίσιο της παρούσης εργασίας μελετήθηκε η συμπεριφορά δύο διασυνδεδεμένων συστημάτων για όλους τους συνδυασμούς μεθόδων τιμολόγησης και για διαφορετικό πλήθος παραγωγών κάθε φορά. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι περιπτώσεις που οι Διαχειριστές των δύο συστημάτων χρησιμοποιούν την ίδια μέθοδο τιμολόγησης (είτε Uniform Pricing είτε Pay-As-Bid) καθώς και η περίπτωση που εφαρμόζουν διαφορετική. Για λόγους άμεσης συγκρισιμότητας θεωρήσαμε ότι τα δύο συστήματα έχουν πάντα τον ίδιο αριθμό παραγωγών τα χαρακτηριστικά των οποίων (τεχνολογία παραγωγής, κόστος, δυναμικότητα, προσαρμοστικότητα) είναι παραπλήσια και ότι η ζήτηση του ενός συστήματος είναι ίση με τη ζήτηση του άλλου και επιπλέον ανελαστική. Για όλους τους συνδυασμούς ανωτέρω διενεργήθηκαν παίγνια με 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 και 20 παραγωγούς στο κάθε σύστημα.

Για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων των παιγνίων σε δύο ηλεκτρικά συστήματα διενεργήθηκαν αντίστοιχα παίγνια και σε ένα μόνο ηλεκτρικό σύστημα υπό τις ίδιες συνθήκες και χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτά. Ωστόσο η σύγκριση των παιγνίων σε ένα και σε δύο συστήματα, ιδιαίτερα για μεγέθη όπως η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας έχει περισσότερο ποιοτικό παρά ποσοτικό χαρακτήρα. Τέλος, αναφορικά με τη δυναμικότητα διασύνδεσης όλα τα παίγνια που αφορούσαν σε δύο συστήματα διεξήχθησαν α) με απεριόριστη δυναμικότητα διασύνδεσης και β) με δυναμικότητα διασύνδεσης ίση με το 30% της εγκατεστημένης ισχύος του ενός συστήματος. Το κάθε παίγνιο αποτελείται από 500.000 γύρους υποβολής προσφορών-εκκαθάρισης και διενεργείται επαναλαμβανόμενα 100 φορές, ενώ ως αποτέλεσμα του παιγνίου λαμβάνεται η μέση τιμή των αποτελεσμάτων που προκύπτουν κατά τις 100 επαναλήψεις του. Ως εκ τούτου έγιναν συνολικά 3,6 δις εκκαθαρίσεις της αγοράς σε 7.200 επαναλήψεις 72 διαφορετικών παιγνίων. Για τη μοντελοποίηση της αγοράς και τη διεξαγωγή των παιγνίων αναπτύχθηκε ειδικό λογισμικό σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Fortran. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται πίνακας με τα συνοπτικά αποτελέσματα των παιγνίων που αφορούν στην τιμή σύγκλισης της αγοράς καθώς και οι τιμές της αγοράς αν οι παραγωγοί είχαν υποβάλλει ως προσφορά το οριακό τους κόστος.

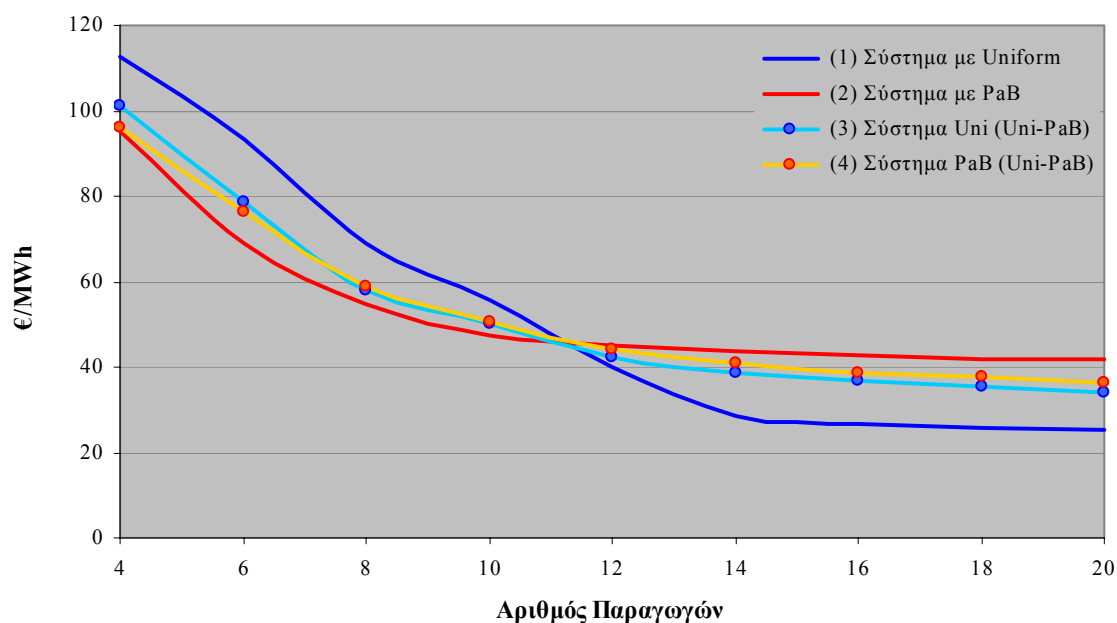
Παραγωγοί	1 ΣΥΣΤΗΜΑ		2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (Unconstrained)						2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (Constrained)					
	Uni	PaB	Uni-Uni		PaB-PaB		Uni-PaB		Uni-Uni		PaB-PaB		Uni-PaB	
			Σ 1	Σ 2	Σ 1	Σ 2	Σ 1	Σ 2	Σ 1	Σ 2	Σ 1	Σ 2	Σ 1	Σ 2
4	112.8	95.0	99.9	100.7	93.9	93.3	101.2	96.1	103.2	103.8	94.3	93.9	103.9	95.6
6	93.5	69.0	85.3	85.4	69.9	69.4	78.8	76.5	87.5	86.7	69.9	69.2	82.1	74.5
8	69.0	54.9	62.9	63.0	59.9	59.7	58.0	59.1	64.3	64.4	58.6	58.4	60.6	57.9
10	55.6	47.4	47.2	47.2	54.6	54.7	50.2	50.6	49.2	49.2	52.7	52.8	51.5	49.7
12	40.0	45.1	33.2	33.2	50.8	51.4	42.4	44.0	34.8	34.8	49.3	49.7	41.7	44.2
14	28.6	43.8	27.7	27.8	48.9	49.2	38.8	40.7	27.8	27.9	47.5	47.8	36.2	41.4
16	26.7	42.7	26.1	26.0	47.3	47.5	36.9	38.8	26.2	26.1	46.1	46.2	34.3	39.6
18	25.6	41.7	25.0	25.0	46.2	46.4	35.4	37.7	25.1	25.1	45.0	45.1	32.9	38.6
20	25.4	41.6	24.3	24.2	45.2	45.4	33.8	36.4	24.6	24.5	44.2	44.3	31.7	37.6
Ορ.Κόστος	22.0	20.5	19.7	18.4	22.0	18.4	22.0	19.7	19.7	18.4	22.0	18.4	22.0	19.7

Σχήμα 2. Πίνακας αποτελεσμάτων των παιγνίων για την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα και σε δύο ηλεκτρικά συστήματα καθώς και σε αντίστοιχες προσφορές οριακού κόστους.

Αυτό που προκύπτει καταρχήν για την περίπτωση της απεριόριστης δυναμικότητας διασύνδεσης και όταν τα δύο συστήματα εφαρμόζουν την ίδια μέθοδο τιμολόγησης (Σχήμα 3) είναι πως οι τιμές και των δύο συστημάτων συγκλίνουν πάντα στην ίδια τιμή (καμπύλες 3-4 και 5-6). Στην περίπτωση της τιμολόγησης *Uniform Pricing* η τιμή σε δύο διασυνδεδεμένα συστήματα (καμπύλες 3-4) σε σύγκριση με την τιμή που προκύπτει σε απομονωμένο σύστημα (καμπύλη 1) ξεκινά από χαμηλότερα επίπεδα και συγκλίνει τελικώς στο ίδιο επίπεδο καθώς η αγορά κινείται από το ολιγοπώλιο προς τον τέλει ανταγωνισμό. Αντίθετα για την περίπτωση της τιμολόγησης *Pay-As-Bid* η τιμή ξεκινά από το ίδιο επίπεδο και συγκλίνει σε υψηλότερο (καμπύλες 2 και 5-6) καθώς η αγορά μεταβαίνει από το ολιγοπώλιο στον τέλει ανταγωνισμό. Στην περίπτωση των δύο συστημάτων με διαφορετική μέθοδο τιμολόγησης (Σχήμα 4) τα δύο συστήματα δε συγκλίνουν στις ίδιες τιμές για ίδιο αριθμό παραγωγών. Επιπλέον οι έντονες διαφορές των αποτελεσμάτων λόγω διαφορετικής μεθόδου τιμολόγησης που παρατηρούνται σε απομονωμένα συστήματα (καμπύλες 1-2) αμβλύνονται και τείνουν να συμπέσουν σε ενδιάμεσα επίπεδα τιμών (καμπύλες 3-4).



Σχήμα 3. Η σχέση τιμής και αριθμού παραγωγών σε παίγνια ενός και δύο συστημάτων με κοινή μέθοδο τιμολόγησης και απεριόριστη δυναμικότητα διασύνδεσης.



Σχήμα 4. Η σχέση τιμής και αριθμού παραγωγών σε παίγνια ενός και δύο συστημάτων με διαφορετική μέθοδο τιμολόγησης και απεριόριστη δυναμικότητα διασύνδεσης .

Τέλος, από τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα αντίστοιχα παίγνια με υφιστάμενο τον περιορισμό της δυναμικότητας διασύνδεσης φαίνεται πως ο περιορισμός της δυναμικότητας έχει αυξητική επίδραση στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και στα δύο συστήματα και ανεξάρτητα από το σύστημα τιμολόγησης που εφαρμόζεται Αυτό προφανώς εξηγείται από το γεγονός ότι ο περιορισμός παρεμποδίζει τη συμμετοχή περισσότερων παραγωγών η οποία θα είχε σαν αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση της τιμής.

4. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Ilic, M., Galiana, F., Fink, L., "Power System Restructuring", Kluwer AP, 1998.
2. Schweppe, F.C., Caramanis M.C., Tabors R.D., Bohn R.E., "Spot Pricing of Electricity", Kluwer AP, 1988.
3. Fink, L.H., Vournas C.D. (editors), "Bulk Power Systems Dynamics and Control IV – Restructuring", Symposium Proceedings, Santorini, Greece, Aug. 1998.
4. Torre S., Contreras J., Conejo A.J., "Finding Multiperiod Nash Equilibria in Pool-Based Electricity Markets", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 19, No 1, February 2004, pp 643-651.
5. Xiaomin Bai, Shahidehpour S.M, Ramesh, V.C, Erkeng Yu, "Transactions Analysis by Nash Game Method", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No 3, Aug. 1997, pp 1046- 1052.
6. Ferrero R.W., Rivera J.F., 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.
7. Skoulidas, C.C., Vournas, C.D., Papavassilopoulos, G.P., "An Adaptive Game for Pay-as-Bid and Uniform Pricing Power Pools Comparison", MED POWER 2002 IEE Conference, Athens, Nov.2002.
8. Skoulidas, C.C., Vournas, C.D, Papavassilopoulos, G.P., "Adaptive Game Modelling of Deregulated Power Markets", PES Letters, IEEE Power Engineering Review, Sept. 2002.
9. Basar, T. and Olsder G.J., "Dynamic Noncooperative Game Theory", Academic Press New York, New York 1982.
10. Lakshmivarahan, S., "Learning Algorithms: Theory and Applications", Springer Verlag, New York, New York, 1981.
11. Papavassilopoulos G.P., "Learning Algorithms for Repeated Bimatrix Games with Incomplete Information", JOTA, Vol. 62, No. 3, September 1989, pp. 467-488.