

Η ΖΗΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Μιχαήλ Α. Πολέμη*

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάλυση των μακροοικονομικών επιπτώσεων των στρατηγικών ενεργειακής πολιτικής σε συνδυασμό με την ανάγκη για αξιόπιστη πρόβλεψη της ζήτησης ενέργειας δεδομένης της αβεβαιότητας για πιθανές ελλείψεις ενεργειακών μορφών (ορυκτά καύσιμα) ή περιβαλλοντικών προβλημάτων (φαινόμενο θερμοκηπίου, μόλυνση της ατμόσφαιρας), αποτελούν τους κινητήριους μοχλούς πίσω από την εντυπωσιακή ανάπτυξη, ιδίως μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση (1973), των εμπειρικών μοντέλων αναπαράστασης του ενεργειακού συστήματος. Όλες οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις των υποδειγμάτων ενέργειας, αναγνωρίζουν τους πολλαπλούς ρόλους της ενέργειας στα πλαίσια ενός μακροοικονομικού ή μικροοικονομικού (διαρθρωτικού) συστήματος και έχουν σαν βασικό στόχο, την αναπαράσταση της ενέργειας σαν έναν συντελεστή παραγωγής, ένα τελικό προϊόν, ένα σύνολο βιομηχανικών κλάδων και ένα σύνολο αγορών στις οποίες ο καθορισμός του σημείου ισορροπίας είναι συνάρτηση του αναλώσιμου χαρακτήρα της ενέργειας¹.

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται οι κυριότεροι προσδιοριστικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη βιομηχανική ζήτηση ενέργειας στην Ελλάδα. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται σύγχρονες οικονομετρικές μέθοδοι και ανάλυση συνολοκλήρωσης προκειμένου να εκτιμηθούν οι βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες ελαστικότητες ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εμπειρικής ανάλυσης, προκύπτει ότι η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του βιομηχανικού τομέα επηρεάζεται θετικά από τις μεταβολές της βιομηχανικής παραγωγής με τις αντίστοιχες ελαστικότητες στη μακροχρόνια και βραχυχρόνια περίοδο να κυμαίνονται σε επίπεδα χαμηλότερα της μονάδας (ανελαστική ζήτηση). Οι ίδιες ελαστικότητες τιμής εμφανίζονται αρνητικές με το μέγεθος τους να υπολείπεται της μονάδας (ανελαστική ζήτηση) και να διαμορφώνεται σε υψηλότερα επίπεδα στη μακροχρόνια σε σχέση με τη βραχυχρόνια περίοδο. Τέλος, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζει σχέση υποκαταστασιμότητας με τα λοιπά πετρελαιοειδή (πετρέλαιο εσωτερικής και εξωτερικής καύσης) τόσο στη μακροχρόνια όσο και τη βραχυχρόνια περίοδο, ενώ ο αριθμός των βιομηχανικών καταναλωτών μέσης τάσης, επηρεάζει θετικά τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μόνο στη μακροχρόνια περίοδο. Η δομή που ακολουθείται στην ανάλυση έχει ως εξής: Αρχικά, γίνεται μια εκτεταμένη ανα-

* Προϊστάμενος Δ' Τμήματος Οικονομικής Τεκμηρίωσης Επιτροπής Ανταγωνισμού, Λέκτωρ υ.δ., Τμήμα Οικονομικής Επιστήμης Πανεπιστημίου Πειραιώς. Οι απόψεις στη συγκεκριμένη μελέτη βαρύνουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και όχι την Επιτροπή Ανταγωνισμού ή το Πανεπιστήμιο Πειραιώς.

1. ΜΑΝΤΖΟΣ Λ., Σχεδίαση και Κατασκευή Ενεργειακού Μοντέλου Προσομοίωσης της Ισορροπίας των Ενεργειακών Αγορών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1997 (Διδακτορική Διατριβή).

φορά στις υπάρχουσες εμπειρικές προσεγγίσεις εκτίμησης της ενέργειας. Στη συνέχεια, η ανάλυση εστιάζεται στο «χτίσιμο» του οικονομετρικού υποδείγματος εκτίμησης της ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα. Αφού έχει περιγραφεί ο θεωρητικός κορμός του υποδείγματος, παρουσιάζονται τα βασικά ευρήματα της εμπειρικής ανάλυσης. Η ανάλυση ολοκληρώνεται με μια επισκόπηση συμπερασμάτων, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμα εργαλεία διαμόρφωσης ενεργειακής πολιτικής.

II. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Τα εμπειρικά υποδείγματα ενέργειας ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες (βλ. Διάγραμμα 1). Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα υποδείγματα γενικής ισορροπίας (CGE), τα οποία με τη σειρά τους διαχωρίζονται σε δυναμικά (DGE) και στατικά (SGE). Τα στατικά υποδείγματα γενικής ισορροπίας, εξετάζουν την κατάσταση της οικονομίας σε μια χρονική περίοδο πριν τη μεταβολή ενός συγκεκριμένου προσδιοριστικού παράγοντα ενέργειας (π.χ. επιβολή φόρου άνθρακα) και τη συγκρίνουν με την κατάσταση που θα προκύψει από τη μεταβολή αυτή². Από την άλλη μεριά, τα δυναμικά υποδείγματα γενικής ισορροπίας, ενσωματώνουν τη διάσταση της διαχρονικής (intertemporal) μεταβολής των προσδιοριστικών παραγόντων ενέργειας³. Τα υποδείγματα γενικής ισορροπίας, περιλαμβάνουν μια σειρά από υποθέσεις (σταθερές οικονομίες κλίμακας, ύπαρξη τέλει ανταγωνισμού σε όλους τους τομείς της παραγωγικής δραστηριότητας της οικονομίας, πλήρης απασχόληση των παραγωγικών συντελεστών), οι οποίες λειτουργούν αρκετά περιοριστικά. Τα υποδείγματα γενικής ισορροπίας⁴, ακολουθούν την «top-down» προσέγγιση και το κυριότερο χαρακτηριστικό που τα αντιδιαστέλλει από τα υποδείγματα μερικής ισορροπίας, είναι η ικανότητα τους να ενσωματώνουν την επίδραση της ενεργειακής πολιτικής στο διεθνές εμπόριο και την οικονομία υιοθετώντας την υπόθεση περί τέλεια ανταγωνιστικών αγορών⁵.

Το βασικό πρόβλημα των υποδειγμάτων γενικής ισορροπίας είναι η έλλειψη της δυνατότητας ανάλυσης της κάθε αγοράς σε βάθος με αποτέλεσμα οι επιπτώσεις πολιτικής που συνδέουν τη μία αγορά προϊόντος με την άλλη να μην μπορούν να διερευνηθούν. Είναι σημαντικό να τονιστεί επίσης, ότι ενώ η προσέγγιση γενικής ισορροπίας δείχνει να είναι μεθοδολογικά πιο ελκυστική και επιτρέπει έναν πλήρη προσδιορισμό τόσο των επιδράσεων εισοδήματος όσο και της αποτελεσματικότητας, οι περιορισμοί που υπάρχουν και

2. Η μεθοδολογία αυτή ονομάζεται συγκριτική στατική, η οποία βρίσκει σημαντικές εφαρμογές στην οικονομική επιστήμη και ιδιαίτερα στη μακροοικονομική ανάλυση.

3. PEMPETZOGLOU M. & KARAGIANNI S., A General Equilibrium Model for Assessing the Economic Effects of Carbon Taxation in Greece, University of Macedonia, 2003, Discussion paper.

4. Μερικά αντιπροσωπευτικά υποδείγματα γενικής ισορροπίας είναι τα GTAR-E, GREEN, EPPA, GEM-E3, G-CUBED, SGM, GTEM, MERGE, PACE, WAGE, κ.λπ.

5. DAGOUMAS A., PAPAGIANNIS S. & DOKOPOULOS P.S., An Economic Assessment of the Kyoto Protocol Application [2006] 34 *Energy Policy*, σελ. 26-39.

οι απαιτήσεις της σε πόρους την κάνουν ένα συμπλήρωμα και όχι υποκατάστατο της προσέγγισης μερικής ισορροπίας⁶.

Στη δεύτερη κατηγορία, εντάσσονται τα υποδείγματα μερικής ισορροπίας (PEM), τα οποία δεν είναι τόσο πολύπλοκα όπως τα υποδείγματα γενικής ισορροπίας και δεν περιλαμβάνουν αυστηρές υποθέσεις και περιορισμούς, με αποτέλεσμα να είναι περισσότερο ρεαλιστικά. Στα υποδείγματα αυτά αίρεται η υπόθεση της πλήρους απασχόλησης των συντελεστών παραγωγής και η υπόθεση της άριστης από οικονομικής άποψης συμπεριφοράς των νοικοκυριών και των επιχειρήσεων, δηλαδή τα νοικοκυριά δεν ενεργούν αναγκαστικά με γνώμονα τη μεγιστοποίηση της ευημερίας τους και οι επιχειρήσεις δε δρουν με γνώμονα τη μεγιστοποίηση του κέρδους τους.

Τα υποδείγματα που ανήκουν στην ομάδα αυτή, συνθέτουν την κύρια κατηγορία υποδειγμάτων ενέργειας-περιβάλλοντος και περιλαμβάνουν μεγάλο μεγέθους μοντέλα που αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν από τις υπηρεσίες των ΗΠΑ⁷. Το κύριο χαρακτηριστικό των υποδειγμάτων αυτών είναι η λεπτομερής και αναλυτική διαμόρφωση της συμπεριφοράς ζήτησης και της προσφοράς των παραγόντων της ενέργειας, με τη χρήση ξεχωριστών υπομοντέλων στα πλαίσια ενός κεντρικού μοντέλου ρύθμισης της αγοράς. Ο υπολογισμός του σημείου ισορροπίας για τις ποσότητες και τις τιμές πραγματοποιείται με τη χρήση μιας συνολικής επαναληπτικής διαδικασίας.

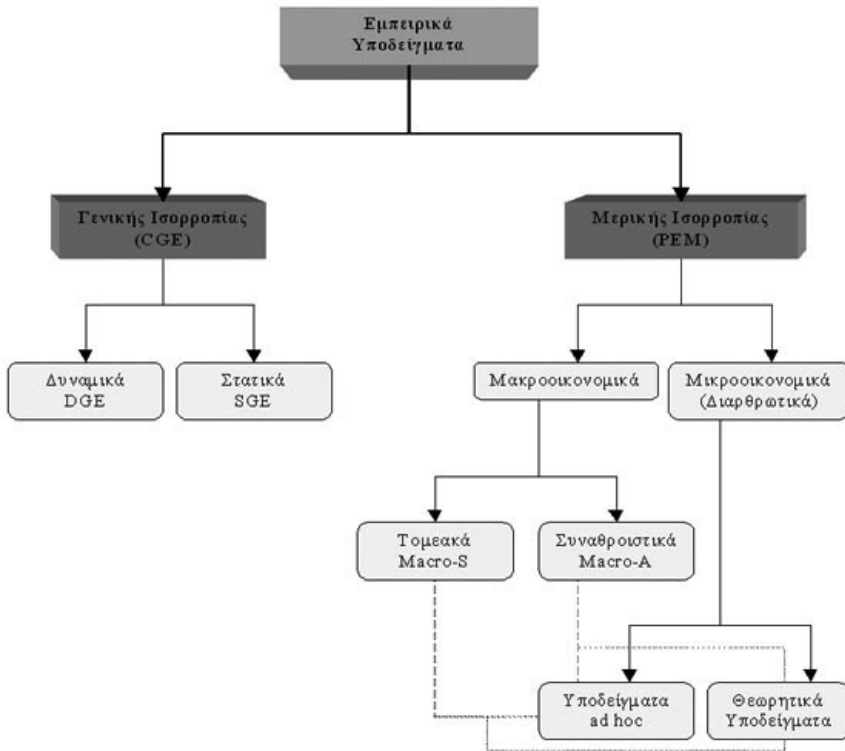
Τα υποδείγματα αυτά, διαχωρίζονται σε δύο επιμέρους ομάδες, στα μακροοικονομικά και στα μικροοικονομικά (διαρθρωτικά) υποδείγματα ενέργειας. Τα μακροοικονομικά υποδείγματα, διακρίνονται σε δύο επιμέρους ομάδες, στα τομεακά (Macro-S) και στα συναθροιστικά (Macro-A) υποδείγματα. Πιο συγκεκριμένα, τα συναθροιστικά μακροοικονομικά υποδείγματα, εστιάζονται στην εξέταση των μεταβολών των παραγόντων που επιδρούν στη ζήτηση και την προσφορά ενέργειας σε συνολικό επίπεδο σε αντίθεση με τα τομεακά υποδείγματα, τα οποία εξετάζουν την επίδραση των οικονομικών μεταβλητών (τιμές, εισόδημα, επενδύσεις, κ.ο.κ.) στην ενέργεια σε διάφορους τομείς της οικονομίας (βιομηχανία, νοικοκυριά, αγροτικός τομέας). Στα τομεακά / κλαδικά υποδείγματα, αναλύεται η παραγωγή ανά βιομηχανία. Αυτή η κλαδική κατανομή των βιομηχανιών προϋποθέτει ένα σημαντικό κόστος, σε όρους ανάγκης ύπαρξης δεδομένων, χρόνου για την επεξεργασία τους καθώς και αξιοπιστίας. Τα κλαδικά υποδείγματα εμφανίστηκαν για να απαντήσουν σε διάφορα ενδιαφέροντα ζητήματα που σχετίζονται με τις επιπτώσεις πάνω σε συγκεκριμένες βιομηχανίες, ενώ τα συναθροιστικά υποδείγματα απαντούν σε ζητήματα που αφορούν στο σύνολο της οικονομίας (για παράδειγμα αν αυξηθούν οι ενεργειακοί φόροι, πως θα μεταβληθεί ο δείκτης τιμών καταναλωτή).

Τα υποδείγματα της συγκεκριμένης κατηγορίας, ακολουθούν την «bottom-up» προσέγγιση επειδή αναπαριστούν κλάδους του ενεργειακού τομέα (οικιακός, μεταφορικός, εμπορικός, βιομηχανικός, κ.ο.κ.) χρησιμοποιώντας μη-αθροιστικά δεδομένα (disaggregated data). Το κυριότερο τους μειονέκτημα, έγκειται στο γεγονός ότι ανα-

6. IOBE, Εξελίξεις και Προβλέψεις της Ιδιωτικής Κατανάλωσης στην Ελλάδα, *Οικονομικά Θέματα* 10, 2002.

7. ΜΑΝΤΖΟΣ Λ., Σχεδίαση και Κατασκευή Ενεργειακού Μοντέλου Προσομοίωσης της Ισορροπίας των Ενεργειακών Αγορών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1997 (Διδακτορική Διατριβή).

παριστούν μόνο το ενεργειακό σύστημα και δεν λαμβάνουν υπόψη τυχόν επιδράσεις (linkages) του ενεργειακού τομέα με τους υπόλοιπους τομείς/κλάδους της οικονομίας⁸.



Διάγραμμα 1: Σχηματική Απεικόνιση Υποδειγμάτων Ενέργειας

Στην κατηγορία των μικροοικονομικών υποδειγμάτων, εντάσσονται τα ad-hoc υποδείγματα, ζήτησης ενέργειας τα οποία δεν διαθέτουν θεωρητική υποστήριξη, αλλά είναι κατάλληλα για την κατασκευή σεναρίων πολιτικής και τη διατύπωση προβλέψεων και τα υποδείγματα συμπεριφοράς του καταναλωτή (άκαμπτα και εύκαμπτα), τα οποία διαθέτουν ισχυρό θεωρητικό υπόβαθρο και βασίζονται κυρίως στη χρήση της δυϊκότητας στη θεωρία της ζήτησης⁹.

Στο σημείο αυτό αξίζει να τονιστεί ότι ένας βασικός περιορισμός πολλών υποδειγμάτων μερικής ισορροπίας είναι η έλλειψη οικονομικής δομής. Οι ελαστικότητες που χρησιμο-

8. DAGOUMAS A., PAPAGIANNIS S. & DOKOPOULOS P.S., An Economic Assessment of the Kyoto Protocol Application [2006] 34 *Energy Policy*, σελ. 26-39.

9. Ενδεικτικά και όχι περιοριστικά αναφέρονται το γραμμικό σύστημα δαπανών και οι παραλλαγές αυτού, τα υποδείγματα τύπου Rotterdam, τα Translog υποδείγματα και τέλος το Σχεδόν Ιδανικό Σύστημα Ζήτησης (AIDS) καθώς και οι παραλλαγές αυτών.

ποιούνται σε αρκετές περιπτώσεις δεν μπορούν να συνδεθούν απόλυτα με τις προτιμήσεις των καταναλωτών, διότι προέρχονται από οικονομετρική εκτίμηση μεμονωμένων συναρτήσεων που έχουν *ad hoc* προσδιοριστεί. Το γεγονός αυτό μειώνει τη χρησιμότητα των αποτελεσμάτων και μπορεί να δημιουργήσει ανακολουθίες στο θεωρητικό υπόβαθρο των υποδειγμάτων. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χρήση της οικονομικής θεωρίας στα πλαίσια των οικονομετρικών αναλύσεων καθώς επίσης και με τη θεωρητική δομή του υποδείγματος στο σύνολο του.

III. Η ΖΗΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

Η ζήτηση ενέργειας στο βιομηχανικό τομέα, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως οι τιμές των ενεργειακών καυσίμων (ηλεκτρική ενέργεια, πετρελαιοειδή, φυσικό αέριο), που χρησιμοποιούνται ως εισροές στην παραγωγική διαδικασία, το ύψος της βιομηχανικής παραγωγής, τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του μηχανολογικού εξοπλισμού, τη θερμοκρασία, κ.ο.κ. Λόγω της αντικειμενικής δυσκολίας ποσοτικοποίησης όλων εκείνων των επιμέρους προσδιοριστικών παραγόντων ζήτησης βιομηχανικής ενέργειας, τα περισσότερα ενεργειακά υποδείγματα που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία είναι στοχευμένα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να δίνουν έμφαση στις δομικές αλλαγές της χρήσης ενέργειας στη βιομηχανία (χρήση νέων τεχνολογιών και διαδικασιών παραγωγής, αποκεντρωμένη μετατροπή ενεργειακών μορφών, μεταβολές στις ενεργειακές εντάσεις, κ.ο.κ).

Με βάση την προηγηθείσα ανάλυση, ο στόχος κατασκευής και εκτίμησης ενός υποδείγματος ζήτησης ενέργειας της βιομηχανίας είναι να αναπαραστήσει ταυτόχρονα:

α) Την ανάμιξη των διαφορετικών βιομηχανικών δραστηριοτήτων (π.χ. διαφορετικές ενεργειακές εντάσεις για τις διαδικασίες που αφορούν τη χρήση σκραπ και την ανακύκλωση προϊόντων και για αυτές που αφορούν τη βασική επεξεργασία προϊόντων).

β) Την ανάμιξη των τεχνολογιών και των χρησιμοποιούμενων καυσίμων συμπεριλαμβανομένων και της χρήσης των ιδιοπαραγόμενων παραπροϊόντων (καυσίμων) και των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.

γ) Το βαθμό ιδιοπαραγωγής ενεργειακών μορφών (συμπαγωγή ατμού/ηλεκτρισμού, παραγωγή ατμού από καυστήρες, ανάκτηση θερμότητας, κ.λπ).

δ) Την αποκλειστική και προκύπτουσα από τεχνολογικά χαρακτηριστικά αναπαράσταση των δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας.

ε) Την ικανοποίηση περιορισμών μέσω απορρυπαντικών τεχνολογιών δικαιωμάτων εκπομπής ρύπων και δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας.

στ') Την ανελαστική συμπεριφορά όσον αφορά την εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος λόγω του υπάρχοντος εγκατεστημένου εξοπλισμού και της τεχνολογικής προόδου.

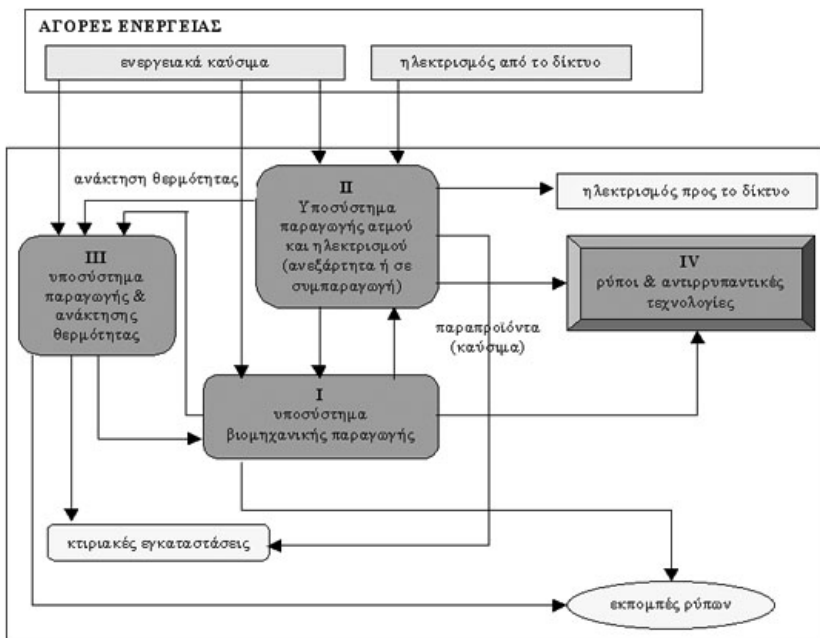
Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η συμπεριφορά της βιομηχανίας, καθορίζεται στα πλαίσια της ελαχιστοποίησης του συνολικού ενεργειακού και περιβαλλοντικού κόστους. Ειδικότερα, σύμφωνα με το Διάγραμμα 2, το οποίο αναπαριστά τη δομή ενός μακροχρό-

νιου τεχνολογικού υποδείγματος δομής ενέργειας, η ζήτηση ενέργειας στον κλάδο της βιομηχανίας χρησιμοποιείται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε:

α) Να αποτελεί εισροή στο υποσύστημα που αφορά τη βιομηχανική παραγωγή (υποσύστημα I).

β) Να παράγει ενεργειακά προϊόντα (ατμός ή και ηλεκτρισμός), τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο υποσύστημα που αφορά τη βιομηχανική παραγωγή (υποσύστημα I).

γ) Να παράγει θερμότητα (υποσύστημα III), η οποία με τη σειρά της θα χρησιμοποιηθεί στις κτιριακές εγκαταστάσεις και στο υποσύστημα που αφορά τη βιομηχανική παραγωγή (υποσύστημα I).



Διάγραμμα 2: Σχηματική Αναπαράσταση του Ενεργειακού Υποδείγματος Βιομηχανικής Ζήτησης Ενέργειας (Πηγή: Λ. Μάντζος, Σχεδίαση και Κατασκευή Ενεργειακού Μοντέλου Προσομοίωσης της Ισορροπίας των Ενεργειακών Αγορών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1997, Διδακτορική Διατριβή).

Α. Δεδομένα - Έλεγχοι Στασιμότητας

Τα στατιστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ζήτησης ενέργειας από τη βιομηχανία καλύπτουν την περίοδο 1978-2003. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (ELEC) είναι εκφρασμένη σε κιλοβατώρες (KWH), ενώ η κατανάλωση πετρελαιοειδών (OIL) σε μετρικούς τόνους αντίστοιχα (MT). Τα στοιχεία των δύο παραπάνω

μεταβλητών είναι διαθέσιμα από το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA). Ο δείκτης βιομηχανικής παραγωγής (DBP), ο οποίος έχει ως έτος βάσης το 1980, έχει προσαρμοστεί αναλογικά την τετραετία 2000-2003 και είναι διαθέσιμος από την Ε.Σ.Υ.Ε (Διεύθυνση Βιομηχανίας και Εξωτερικού Εμπορίου: Τμήμα Δεικτών Παραγωγής). Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας (RPELEC) και του πετρελαίου (RPOIL), είναι διαθέσιμες από το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (Energy Prices and Taxes) και έχουν στη συνέχεια αποπληθωριστεί με βάση το δείκτη τιμών χονδρικής (1995=100) του εγχώριου δευτερογενή τομέα (WPI), ο οποίος είναι διαθέσιμος από την Ε.Σ.Υ.Ε. Τέλος, ο αριθμός των βιομηχανικών πελατών (CONS) ηλεκτρικής ενέργειας μέσης τάσης, είναι διαθέσιμος από τη ΔΕΗ (Διεύθυνση Εμπορίας Επιλεγόντων Πελατών).

Στις σχέσεις (1) και (2), παρουσιάζεται η εξειδίκευση των δύο υποδειγμάτων βιομηχανικής ζήτησης ενέργειας (πετρελαίου και ηλεκτρικής ενέργειας), ενώ τα πρόσημα υποδηλώνουν τη σχέση (θετική ή αρνητική) που αναμένεται να έχουν οι εν λόγω μεταβλητές.

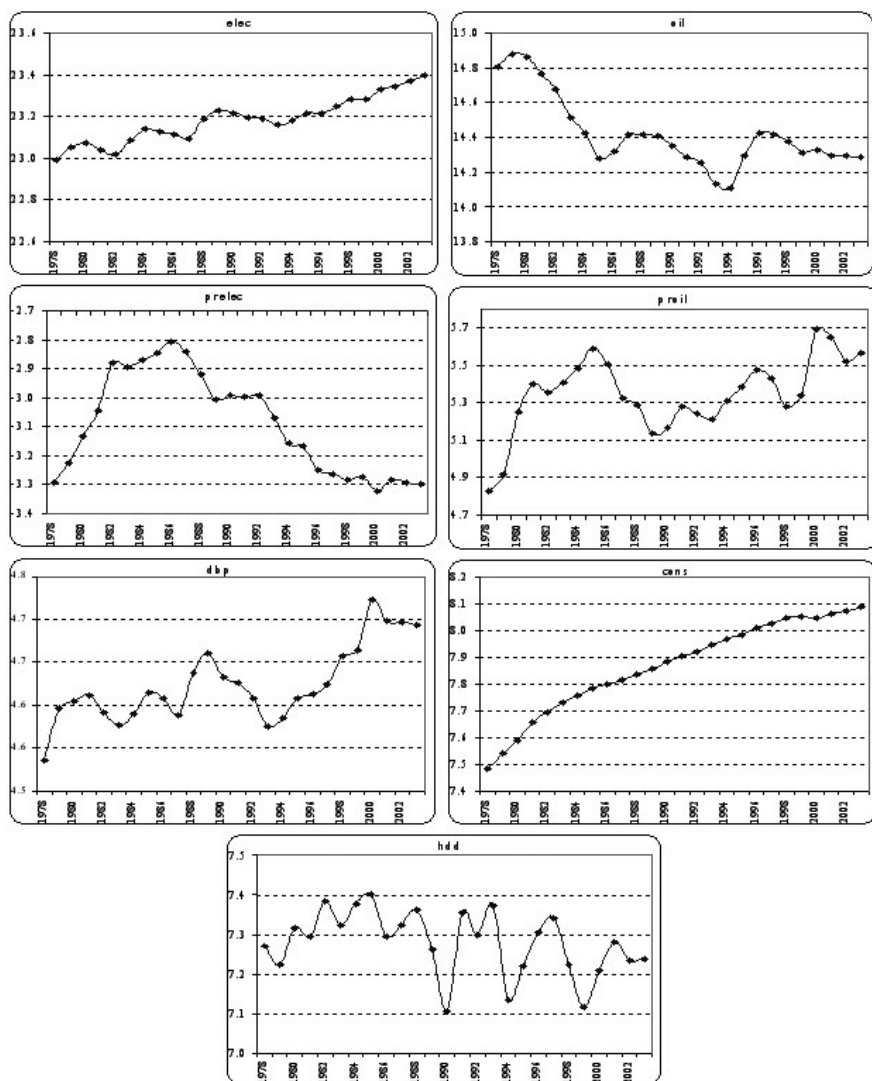
$$OIL = f(DBP^+, RPOIL^-, RPELEC^+, HDD^?) \quad (1)$$

$$ELEC = f(DBP^+, RPELEC^-, RPOIL^+, CONS^+, HDD^+) \quad (2)$$

Τονίζεται ότι λόγω έλλειψης μιας ολοκληρωμένης χρονολογικής σειράς για την κατανάλωση φυσικού αερίου αφού το εν λόγω καύσιμο έκανε την εμφάνιση του στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας τα τελευταία έτη (1997), το δείγμα όπως και στην περίπτωση του οικιακού τομέα, «διορθώθηκε» με την εισαγωγή γραμμικής τάσης (ψευδο-τάση) από το έτος 1997 και έπειτα. Η επίδραση του φυσικού αερίου στη βιομηχανική ζήτηση ενέργειας λήφθηκε υπόψη και μέσω της διχοτομικής μεταβλητής (GAS), η οποία λαμβάνει την τιμή μηδέν για τα έτη 1970-1996 και τιμή ίση με τη μονάδα την υπόλοιπη περίοδο του δείγματος (1997-2003).

Όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα, όλες σχεδόν οι μεταβλητές του υποδείγματος- που παρουσιάζονται σε λογαριθμική μορφή- δεν φαίνεται να είναι στάσιμες στα επίπεδα (levels). Η μεταβλητή, η οποία εμφανίζει μια διαχρονική σταθερότητα αναφέρεται στον αριθμό των ημερών θέρμανσης (HDD). Ειδικότερα, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για βιομηχανική χρήση (ELEC), παρουσιάζει αυξητική πορεία καθ' όλη τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου (1978-2003). Αντίθετα, η κατανάλωση πετρελαιοειδών (OIL), η οποία περιλαμβάνει τη συνολική κατανάλωση πετρελαίου εσωτερικής και εξωτερικής καύσης, ακολουθεί -με μικρά διαστήματα ανόδου- μια συνεχή κάμψη. Υποχώρηση εμφανίζουν και οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας (PRELEC) για βιομηχανική χρήση. Σε αντιδιαστολή, η (σταθμισμένη) τιμή των πετρελαιοειδών στη βιομηχανία (OIL), ακολουθεί σε γενικές γραμμές μια αυξητική πορεία με εξαίρεση την τετραετία 1986-1989 στη διάρκεια της οποίας η τιμή του πετρελαίου μειώθηκε αισθητά κατά 6,8%, λόγω της σημαντικής πτώσης στις διεθνείς τιμές του πετρελαίου (1986). Μικρές διακυμάνσεις παρουσιάζει ο δείκτης βιομηχανικής παραγωγής (DBP), ο οποίος σε γενικές γραμμές ακολουθεί ανοδική τάση, ενώ ο αριθμός των πελατών (CONS) ηλεκτρικής ενέργειας μέσης τάσης (βιομηχανικοί καταναλωτές) χαρακτηρίζεται από μια συνεχή άνοδο, απόρροια του

αυξημένου μεγέθους των βιομηχανικών κλάδων στην οικονομική δραστηριότητα της ελληνικής οικονομίας.



Διάγραμμα 3: Διαγραμματική Απεικόνιση των Μεταβλητών του Βιομηχανικού Τομέα
(Πηγή: Επεξεργασία στοιχείων IEA, Energy Balances in OECD Countries και Energy Prices and Taxes, και Ε.Σ.Υ.Ε.)

Για να ελεγχθεί η στασιμότητα των παραπάνω χρονολογικών σειρών, χρησιμοποιήθηκαν όπως και στις προηγούμενες ενότητες οι (επαυξημένοι) έλεγχοι Dickey-Fuller περί

ύπαρξης μοναδιαίων ριζών, οι έλεγχοι των Phillips-Perron καθώς και ο έλεγχος KPSS (Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin). Τα αποτελέσματα από την εξέταση της ύπαρξης μοναδιαίων ριζών στα επίπεδα και τις πρώτες διαφορές των μεταβλητών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Από την εξέταση του σχετικού πίνακα, μπορεί να υποστηριχθεί ότι δεν μπορεί να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση (ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας) για τα επίπεδα (levels) των μεταβλητών, με αποτέλεσμα όλες οι χρονολογικές σειρές εκτός από τη μεταβλητή των αριθμών ημερών θέρμανσης (HDD) να μην είναι στάσιμες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ελέγχων Dickey-Fuller, η μεταβλητή που αφορά τον αριθμό των βιομηχανικών πελατών (CONS) εμφανίζεται στάσιμη ως προς τα επίπεδα. Από τη συνδυασμένη όμως χρήση των υπόλοιπων στατιστικών, καθώς και τη γραφική απεικόνιση, προκύπτει ότι η συγκεκριμένη μεταβλητή είναι ολοκληρωμένη πρώτου βαθμού $I(1)$.

Αντιθέτως, εάν χρησιμοποιηθούν οι πρώτες διαφορές των μεταβλητών, η υπόθεση της στασιμότητας -με βάση τους σχετικούς ελέγχους στασιμότητας- γίνεται δεκτή. Επομένως οι μεταβλητές του υποδείγματος - με εξαίρεση τον αριθμό ημερών θέρμανσης (HDD) - περιέχουν μια μοναδιαία ρίζα, δηλαδή είναι ολοκληρωμένες πρώτου βαθμού $I(1)$. Το γεγονός ότι η μεταβλητή (HDD), είναι στάσιμη στα επίπεδα και επομένως $I(0)$, δηλώνει ότι δεν μπορούν να εκτιμηθούν τυχόν μακροχρόνια αποτελέσματα που μπορεί να επιφέρει η τελευταία στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου αντίστοιχα. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη μεταβλητή μπορεί να συμπεριληφθεί στις αντίστοιχες βραχυχρόνιες συναρτήσεις ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου για βιομηχανική χρήση αντίστοιχα¹⁰.

Σε δεύτερο στάδιο και έχοντας εξασφαλίσει ότι όλες οι χρονολογικές σειρές με εξαίρεση τη μεταβλητή HDD είναι $I(1)$, εξετάζονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των (ντετερμινιστικοί όροι). Αναλυτικότερα, για τις μεταβλητές DBP, ELEC, OIL και RPELEC δεν μπορεί να απορριφθεί η ύπαρξη σταθερού όρου, αφού η στατιστική Φ_2 είναι στατιστικά σημαντική κάτω από την υπόθεση της μοναδιαίας ρίζας και ισχύει η σχέση $|t_{\mu}| < 1.64$. Σε αντιδιαστολή, από τη συνδυασμένη χρήση των στατιστικών Φ_2 και t_{μ} , προκύπτει ότι η γεννήτωρος διαδικασία (data generation process) για τη μεταβλητή RPOIL χαρακτηρίζεται από απουσία ντετερμινιστικών όρων (τάση και σταθερός όρος).

B. Οικονομετρική Ανάλυση - Αποτελέσματα

Στον Πίνακα 2, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης συνολοκλήρωσης (μέθοδος Johansen) για τις δύο εξειδικεύσεις (specifications) της ζήτησης ενέργειας, η οποία μπορεί να διαχωριστεί στην ζήτηση πετρελαίου (μαζούτ και πετρέλαιο εσωτερικής καύσης) και στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από τις βιομηχανικές μονάδες.

10. BENTZEN J. & ENGSTED T., Short and Long Run Elasticities in Energy Demand: a Cointegration Approach [1993] 15 *Energy Economics*, σελ. 9-16 και BEENSTOCK M., GOLDIN E. & NABOT D., The Demand for Electricity in Israel. [1999] 21 *Energy Economics*, σελ. 168-183.

Προτού όμως εφαρμοσθεί η συγκεκριμένη μέθοδος, πρέπει προηγουμένως να καθορισθεί ο βέλτιστος βαθμός των υστερήσεων (lag length) στα δύο αυτοπαλίνδρομα σχήματα (VAR), τα οποία εκτιμούν τη ζήτηση πετρελαίου και ηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχα. Σύμφωνα με τους σχετικούς ελέγχους προκύπτει ότι στο VAR που εκτιμά τις μακροχρόνιες ελαστικότητες της ζήτησης πετρελαίου (άνω τμήμα του πίνακα), ο άριστος αριθμός των υστερήσεων που πρέπει να ενσωματωθούν σε αυτό προκειμένου να απαλειφθεί το πρόβλημα της αυτοσυσχέτισης είναι μία (VAR = 2). Σε αντίθεση, το VAR που εκτιμά τις μακροχρόνιες ελαστικότητες της βιομηχανικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (κάτω τμήμα του πίνακα) εκτιμήθηκε με βαθμός υστερήσεων $p = 1$.

Τέλος, τονίζεται ότι τόσο στο VAR που εκτιμά τη ζήτηση πετρελαίου, όσο και στο VAR που περιλαμβάνει τους προσδιοριστικούς παράγοντες της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνονται ντετερμινιστικοί όροι (τάση και σταθερός όρος), χωρίς ωστόσο η τάση να εμφανίζεται στις βραχυχρόνιες εκτιμήσεις.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα, προκύπτει ότι και τα δύο στατιστικά κριτήρια (έλεγχος μεγίστων ιδιοτιμών και στατιστική ίχνους) που χρησιμοποιήθηκαν για την ύπαρξη διανύσματος(των) συνολοκλήρωσης στα δύο VAR, παρέχουν σαφείς ενδείξεις για την ύπαρξη συνολοκλήρωσης.

Μηδενική Υπόθεση	Εναλλακτική Υπόθεση	Ιδιοτιμή	Κριτικές τιμές 9 5% 99%	
Ζήτηση πετρελαίου: OIL = f (DBP, RPOIL, RPELEC, TREND)				
<i>Έλεγχος μεγίστων ιδιοτιμών</i>				
$r = 1$	30.74 ^b	28.14	33.24	
$r <= 1$	$r = 2$	20.20	22.00	26.81
<i>Στατιστική ίχνους</i>				
$r = 0$	$r = > 1$	62.63 ^a	53.12	60.16
$r <= 1$	$r = > 2$	31.88	34.91	41.07
Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας: ELEC = f (DBP, RPOIL, RPELEC, TREND, CONS)				
<i>Έλεγχος μεγίστων ιδιοτιμών</i>				
$r = 0$	$r = 1$	74.56 ^a	37.52	42.36
$r <= 1$	$r = 2$	19.02	31.46	36.65
<i>Στατιστική ίχνους</i>				
$r = 0$	$r = > 1$	115.73 ^a	87.31	96.58
$r <= 1$	$r = > 2$	41.18	62.99	70.05

Πίνακας 2: Έλεγχοι Συνολοκλήρωσης Johansen και Juselius ανά Μορφή Βιομηχανικής Ενέργειας r : υποδηλώνει τον αριθμό των διανυσμάτων συνολοκλήρωσης. Οι έλεγχοι συγκρίνονται με τις κριτικές τιμές των Johansen και Juselius (1992), δηλώνουν στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδα 0.01 και 0.05 αντίστοιχα. (Πηγή: Οικονομετρικοί Υπολογισμοί)

Μεταβλητές	Έλεγχος Dickey-Fuller				Έλεγχος Phillips-Perron			Έλεγχος KPSS+					
	τt	Φ3	τι	Φ2	τ	τt	τι	ημ	ημ	ημ	ητ	ητ	Βαθμός ολοκλήρωσης
Επίπεδα													
DBP	0	1.1.1 -2.40	3.05	-1.58	6.24*	-2.53	-1.88	0.83**	0.13*	0.47*	0.09	0.09	I(1)
ELEC	0	-3.52	7.21	-0.68	6.72*	-3.47*	0.24	1.26**	0.08	0.62*	0.08	0.08	I(1)
OIL	1	-3.08	5.95	-1.49	5.97*	-1.62	-1.81	0.81**	0.24**	0.44*	0.14*	0.14*	I(1)
RPELEC	0	-3.53	6.01	1.32	5.75*	-3.47	-1.28	0.71*	0.25**	0.34	0.14*	0.14*	I(1)
RPOIL	0	-2.72	4.13	-2.87	4.75	-2.75	-2.87	0.43*	0.20*	0.46*	0.08	0.08	I(1)
CONS	0	-3.42*	13.20**			-3.22	-2.92	1.33**	0.27**	0.63*	0.16*	0.16*	I(1)
HDD	0	-4.52**				-4.71**	-3.87**	0.43	0.06	0.37	0.10	0.10	I(0)
Πρώτες Διαφορές													
Δ(DBP)	0	-5.03**				-5.20**	-5.21**	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	I(0)
Δ(ELEC)	0	-6.36**				-13.11**	-12.19**	0.05	0.04	0.14	0.11	0.11	I(0)
Δ(OIL)	1	-3.63*				-3.35*	-3.16*	0.16	0.05	0.17	0.07	0.07	I(0)
Δ(RPELEC)	0	-3.75*				-3.62*	-3.03*	0.56*	0.22**	0.33	0.15	0.15	I(0)
Δ(RPOIL)	0	-3.73*				-3.63*	-3.76**	0.13	0.10	0.16	0.12	0.12	I(0)
Δ(CONS)	0	-3.62*				-3.62*	-3.01*	0.33	0.16*	0.49*	0.11	0.11	I(0)
Δ(HDD)	-	-				-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 1: Έλεγχος για την Ύπαρξη Μοναδιαίων Ριζών στις Μεταβλητές του Υποδείγματος

Οι έλεγχοι στασιμότητας που χρησιμοποιούνται προκύπτουν από την OLS εκτίμηση του αυτοπαλινδρόμου σχήματος: $\Delta Y_t = \delta + \beta Y_{t-1} + \gamma t + \sum_{i=1}^k \Delta Y_{t-i} + u_t$ (1). Με τη συμβολίζεται η t-στατιστική που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο σημαντικότητας του συντελεστή β όταν η χρονική τάση (time trend) δεν συμπεριλαμβάνεται στο υπό εκτίμηση υπόδειγμα (1), ενώ αντίστοιχα με τ_t συμβολίζεται η t-στατιστική που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο σημαντικότητας του συντελεστή β όταν η χρονική τάση συμπεριλαμβάνεται στο υπό εκτίμηση υπόδειγμα (1). Με τ , συμβολίζεται η t-στατιστική που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο σημαντικότητας του συντελεστή β στο υπό εκτίμηση υπόδειγμα (1) δεν υπάρχουν νετερομινιστικοί όροι (τάση και σταθερά). Ο αριθμός των υστερήσεων της εξαρτημένης μεταβλητής καθορίζεται χρησιμοποιώντας μια επαναληπτική διαδικασία με σκοπό την εξάλειψη της αυτοσυσχέτισης στα κατάλοιπα χρησιμοποιώντας έλεγχο (LM). Φ₃ και Φ₂ είναι οι από κοινού έλεγχοι για την ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας και γραμμικής τάσης στο υπόδειγμα (1) καθώς και μοναδιαίας ρίζας, γραμμικής τάσης και σταθερού όρου. Οι κριτικές τιμές για τους ελέγχους μοναδιαίων ριζών Phillips-Perron δίνονται στο Dickey and Fuller (1981). ημ και ητ είναι οι στατιστικές KPSS για τον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης ότι η σειρά που εξετάζεται είναι στάσιμη I(0), όταν τα κατάλοιπα εκτιμώνται από μια εξίσωση παλινδρόμησης που περιλαμβάνει μόνο το σταθερό όρο και το σταθερό όρο και τη χρονική τάση αντίστοιχα. Οι κριτικές τιμές για ημ και ητ, σε επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας 5% και 1% δίνονται στο (Kwiatkowski et al., 1992, Table 1).

(+) Η μηδενική υπόθεση στον έλεγχο KPSS -σε αντίθεση με τους υπόλοιπους ελέγχους- υποδηλώνει στασιμότητα, ενώ η αποδοχή της εναλλακτικής υπόθεσης ισοδυναμεί με ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας.

(*) δηλώνει στατιστική σημαντικότητα για $\alpha = 0,05$.

(**) δηλώνει στατιστική σημαντικότητα για $\alpha = 0,01$.

Αναλυτικότερα, στο VAR που εκτιμά τη μακροχρόνια ζήτηση πετρελαίου (άνω τμήμα πίνακα), διαπιστώνεται σύμφωνα με τον έλεγχο της μέγιστης ιδιοτιμής (maximum eigenvalue) ή ύπαρξη μιας σχέσης (ενός διανύσματος) συνολοκλήρωσης, αφού για επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha = 0.05$, απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση ($H_0: r = 0$), ενώ παράλληλα δεν γίνεται δεκτή η εναλλακτική υπόθεση ($H_1: r = 2$). Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται να επιβεβαιώνεται εάν χρησιμοποιηθεί και η στατιστική ίχνους (trace statistic), σύμφωνα με την οποία η εναλλακτική υπόθεση ($H_1: r = > 2$) δεν μπορεί να γίνει δεκτή σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha = 0.01$. Ανάλογα ευρήματα διαπιστώνονται και στην περίπτωση εκτίμησης του VAR για τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (κάτω τμήμα πίνακα). Σύμφωνα με τους δύο ελέγχους συνολοκλήρωσης, υποστηρίζεται η ύπαρξη ενός διανύσματος συνολοκλήρωσης για κάθε VAR, γεγονός που ισοδυναμεί με την ύπαρξη μακροχρόνιας στάσιμης σχέσης μεταξύ των μεταβλητών των δύο υποδειγμάτων.

Έχοντας εξασφαλίσει την ύπαρξη σχέσης συνολοκλήρωσης και στις δύο εξειδικεύσεις του βιομηχανικού προτύπου ζήτησης ενέργειας, στη συνέχεια εξετάζεται η στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών που περιλαμβάνονται στις δύο (μακροχρόνιες) σχέσεις συνολοκλήρωσης αντίστοιχα. Από τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα, στον οποίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των στατιστικών LR, προκύπτει ότι όλες οι μεταβλητές που περιλαμβάνονται στα δύο διανύσματα συνολοκλήρωσης είναι στατιστικά σημαντικές.

Μεταβλητές	<u>LR test των περιορισμών στα δύο VAR</u>	
	Πετρέλαιο	Ηλεκτρική ενέργεια
OIL	4.55 ^b	-
ELEC	-	4.71 ^b
DBP	7.42 ^a	8.05 ^a
RPOIL	6.41 ^a	6.62 ^a
RPELEC	9.01 ^a	15.41 ^a
CONS	-	6.25 ^b

Πίνακας 3: Έλεγχοι Στατιστικής Σημαντικότητας των Μεταβλητών στα δύο VAR

Η στατιστική LR ακολουθεί ασυμπτωτικά την κατανομή χ^2 με βαθμούς ελευθερίας τον αριθμό των σχέσεων (διανυσμάτων) συνολοκλήρωσης (εδώ 1 βαθμός ελευθερίας). δηλώνουν απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης σε επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας 0.01 και 0.05 αντίστοιχα.

(Πηγή: Οικονομετρικοί Υπολογισμοί)

Με βάση την προηγούμενη ανάλυση, η κανονικοποιημένη σχέση συνολοκλήρωσης για την εκτίμηση των μακροχρόνιων ελαστικοτήτων ζήτησης πετρελαίου, αναπαριστάται από την παρακάτω λογαριθμική σχέση:

$$OIL = 0.64DBP - 0.39RPOIL + 0.10RPELEC - 0.05TREND + 17.16 + Z \quad (3)$$

Με βάση τη σχέση 1 και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του Πίνακα 2, οι συντελεστές δεν αντιδιαστέλλονται με την οικονομική θεωρία και εμφανίζονται στατιστικά σημαντικοί. Η συνολική ζήτηση πετρελαίου ως προς την αξία της βιομηχανικής παραγωγής (DBP) εμφανίζεται ανελαστική με το μέγεθος της να εκτιμάται σε 0.64. Η ανελαστική ζήτηση, αποκαλύπτει ότι ο βιομηχανικός τομέας βρίσκεται σε ωριμότερο στάδιο ανάπτυξης σχετικά με άλλους τομείς (οικιακός, μεταφορικός). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σύμφωνα με μελέτη της ΠΑΕ, η εισοδηματική ελαστικότητα του τομέα της βιομηχανίας στην Ελλάδα διαμορφώνεται σε 0.52 έναντι 0.06 στην Ευρωπαϊκή Ένωση¹¹. Η ανελαστική ζήτηση, υποδηλώνει ότι μια αύξηση της βιομηχανικής παραγωγής κατά 1%, θα έχει ως αποτέλεσμα μια αύξηση της κατανάλωσης πετρελαίου μακροχρόνια κατά 0.6%. Η ίδια ελαστικότητα ως προς την τιμή του πετρελαίου είναι μικρότερη της μονάδας και αρνητική με το μέγεθος της να διαμορφώνεται σε -0.39. Επομένως, σε μία αύξηση (μείωση) της τιμής του πετρελαίου κατά 1% *ceteris paribus*, η κατανάλωση πετρελαίου από τους βιομηχανικούς κλάδους θα μειωθεί (αυξηθεί) οριακά κατά 0.39%. Το χαμηλό μέγεθος της ίδιας ελαστικότητας τιμής, σε συνδυασμό με τη θετική σταυροειδή ελαστικότητα (RPELEC) ηλεκτρικής ενέργειας (0.10), δικαιολογεί την ύπαρξη υποκατάστασης μεταξύ των δύο μορφών ενέργειας στους βιομηχανικούς κλάδους. Η εισαγωγή της γραμμικής τάσης (TREND) με σκοπό την εκτίμηση της επίδρασης του φυσικού αερίου στη ζήτηση βιομηχανικής ενέργειας φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά τη ζήτηση πετρελαίου, γεγονός που σημαίνει ότι η εισαγωγή του φυσικού αερίου θα επιφέρει μακροπρόθεσμα μείωση στη ζήτηση πετρελαίου (υποκαταστασιμότητα) και αντίστροφα. Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνονται και από παρόμοιες εμπειρικές μελέτες που αφορούν την Ελλάδα, στις οποίες η βιομηχανική ζήτηση για πετρέλαιο εμφανίζεται ανελαστική, ενώ καταγράφεται υποκαταστασιμότητα μεταξύ των μορφών του πετρελαίου (ντίζελ και μαζούτ) και της ηλεκτρικής ενέργειας¹².

Στη συνέχεια, η ανάλυση επικεντρώνεται στα αποτελέσματα των εκτιμήσεων της μακροχρόνιας συνάρτησης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (σχέση 2).

$$ELEC = 0.98DBP + 0.21RPOIL - 0.34RPELEC + 0.24CONS + 0.14TREND + 4.25 + Z \quad (4)$$

Από τις εκτιμήσεις του VAR και σύμφωνα με την (κανονικοποιημένη) σχέση συνολοκλήρωσης, προκύπτει ότι οι συντελεστές που ερμηνεύουν τις διακυμάνσεις (variability) της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στη βιομηχανία είναι στατιστικά σημαντικοί και έχουν τα αναμενόμενα από τη θεωρία πρόσημα. Πιο συγκεκριμένα, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από τους βιομηχανικούς κλάδους ως προς την αξία της βιομηχανικής παραγωγής

11. ΠΑΕ, Μακροχρόνιος Ενεργειακός Σχεδιασμός της Ελλάδος για την Περίοδο 2001-2010, Σχέδιο σε Δημόσια Διαβούλευση, 2003.

12. CHRISTOPOULOS D., The Demand for Energy in Greek Manufacturing [2000] 22 *Energy Economics*, σελ. 569-586, και CHRISTOPOULOS D.K. & TSIONS E.G. Allocative Inefficiency and the Capital-Energy Controversy [2002] 24 *Energy Economics*, σελ. 305-318, και ΠΑΕ, Μακροχρόνιος Ενεργειακός Σχεδιασμός της Ελλάδος για την Περίοδο 2001-2010, Σχέδιο σε Δημόσια Διαβούλευση, 2003, και FLOROS N. & VLACHOU A. Energy Demand and Energy-related CO2 emissions in Greek Manufacturing: Assessing the Impact of a Carbon Tax [2005] 27 *Energy Economics*, σελ. 387-413.

(DBP) εμφανίζεται οριακά ανελαστική με την αντίστοιχη ελαστικότητα να εκτιμάται σε 0.98¹³.

Η επίδραση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας (RPELEC) στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (ίδια ελαστικότητα) εκτιμήθηκε σε επίπεδο μικρότερο της μονάδας και με αρνητικό πρόσημο (-0.34), ενώ η σταυροειδής ελαστικότητα (RPOIL) είναι θετική (0.21), γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη υποκαταστασιμότητας μεταξύ των δύο εναλλακτικών μορφών βιομηχανικής ενέργειας (πετρέλαιο και ηλεκτρισμός). Η σταδιακά εντεινόμενη χρήση του φυσικού αερίου όπως εισάγεται στο εν λόγω υπόδειγμα με τη χρήση της (ψευδο)τάσης (TREND) και αναμένεται να ενταθεί τα επόμενα έτη λόγω της επικείμενης απελευθέρωσης της σχετικής αγοράς, αναμένεται να αυξήσει το βαθμό υποκατάστασης μεταξύ των εναλλακτικών ενεργειακών μορφών¹⁴.

Ο αριθμός των βιομηχανικών καταναλωτών μέσης τάσης (CONS) επηρεάζει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, αφού ο αντίστοιχος συντελεστής είναι θετικός και στατιστικά σημαντικός. Το γεγονός αυτό εναρμονίζεται με την οικονομική θεωρία, σύμφωνα με την οποία μια αύξηση (μείωση) του αριθμού των βιομηχανικών πελατών, οδηγεί μακροχρόνια σε αύξηση (μείωση) της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, τα παραπάνω αποτελέσματα, δεν διαφοροποιούνται σημαντικά εάν συγκριθούν με παρόμοιες μελέτες που εκτιμούν τη ζήτηση πετρελαίου και ηλεκτρικής ενέργειας από τη βιομηχανία.

Έχοντας εκτιμήσει τις μακροχρόνιες ελαστικότητες, σε ένα δεύτερο στάδιο εκτιμώνται τα υποδείγματα διόρθωσης σφάλματος (ECM) για τις δύο κατηγορίες ενέργειας, οι συντελεστές των οποίων αποτελούν τις βραχυχρόνιες ελαστικότητες. Με άλλα λόγια τα υποδείγματα που θα εκτιμηθούν δίνονται από τις παρακάτω δύο σχέσεις:

$$\Delta \ln(OIL_t) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_{1i} \Delta \ln(OIL_{t-i}) + \sum_{i=0}^l a_{2i} \Delta \ln(DBP_{t-i}) + \sum_{i=0}^m a_{3i} \Delta \ln(RPOIL_{t-i}) + \sum_{i=0}^n a_{4i} \Delta \ln(RPELEC_{t-i}) + \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^o a_{5i} \Delta \ln(HDD_{t-i}) + \gamma [\ln OIL_{t-1} - 0.64 \ln GDP_{t-1} + 0.39 \ln RPOIL_{t-1} - 0.10 \ln RPELEC_{t-1} + 0.05 TREND - 17.16] +$$

$$u_t \Delta \ln(ELEC_t) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_{1i} \Delta \ln(ELEC_{t-i}) + \sum_{i=0}^l a_{2i} \Delta \ln(DBP_{t-i}) + \sum_{i=0}^m a_{3i} \Delta \ln(RPOIL_{t-i}) + \sum_{i=0}^n a_{4i} \Delta \ln(CONS_{t-i}) + \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^o a_{5i} \Delta \ln(RPELEC_{t-i}) + \sum_{i=0}^p a_{6i} \Delta \ln(HDD_{t-i}) + \gamma [\ln ELEC_{t-1} - 0.98 \ln DBP_{t-1} - 0.21 \ln RPOIL_{t-1} + 0.34 \ln RPELEC_{t-1} - 0.24 \ln CONS_{t-1} - 0.14 TREND - 4.25] + u_t$$

Στις παραπάνω σχέσεις, η τάξη των υστερήσεων (lag-order) k, l, m, n, o, p επιλέχθηκε έτσι ώστε τα κατάλοιπα να είναι σφαιρικά (white noise)¹⁵. Στον Πίνακα 4, παρουσι-

13. Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει την ύπαρξη σταθερών αποδόσεων κλίμακας καθώς η σχετική ελαστικότητα εκτιμήθηκε πολύ κοντά στη μονάδα. Η εκτίμηση αυτή είναι αρκετά λογική καθώς στη μακροχρόνια περίοδο και σε υποδείγματα ζήτησης βιομηχανικής ηλεκτρικής ενέργειας, η ελαστικότητα ως προς την ακαθάριστη αξία παραγωγής διαμορφώνεται σε επίπεδα γύρω στη μονάδα.

14. Η εκτίμηση ενός υπερλογαριθμικού υποδείγματος (translog model), η οποία όμως λόγω έλλειψης στατιστικών στοιχείων (αξία κεφαλαίου, κατανάλωση ανά κύριο βιομηχανικό κλάδο) δεν στάθηκε εφικτή, θα επέτρεπε την εκτίμηση των ελαστικοτήτων υποκατάστασης μεταξύ των εισροών.

15. Η τάξη των σχετικών υστερήσεων, τέθηκε αρχικά ίση με 1 (ετήσια στοιχεία) και στη συνέχεια απαλείφοντας τις μη-στατιστικά σημαντικές παραμέτρους προέκυψαν τα υποδείγματα διόρθωσης σφάλματος που

άζονται τα αποτελέσματα από την εκτίμηση των δύο υποδειγμάτων διόρθωσης σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις (βραχυχρόνιες) εκτιμήσεις, προκύπτει ότι η ζήτηση βιομηχανικής ενέργειας δεν εμφανίζει σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με τις a-priori προσδοκίες. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με την πρώτη στήλη του παρακάτω πίνακα, στην οποία παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις του υποδείγματος ζήτησης πετρελαίου (ντίζελ και μαζούτ), συμπεραίνεται ότι η ζήτηση πετρελαίου για βιομηχανική χρήση, εμφανίζει θετική σχέση με την αξία της βιομηχανικής παραγωγής με την αντίστοιχη ελαστικότητα (ΔDBP), η οποία υπολείπεται της μακροχρόνιας ελαστικότητας (βλ. σχέση 22) να εκτιμάται σε 0.61 (ανελαστική ζήτηση). Το συγκεκριμένο μέγεθος της ελαστικότητας, δηλώνει ότι η ζήτηση για πετρέλαιο από τη βιομηχανία βραχυχρόνια, μεταβάλλεται με πιο αργό ρυθμό σε σχέση με τις αυξομειώσεις της βιομηχανικής παραγωγής.

Η ίδια ελαστικότητα της τιμής του πετρελαίου ($\Delta RPOIL$), η οποία είναι μικρότερη από την αντίστοιχη μακροχρόνια ελαστικότητα, εκτιμήθηκε σε επίπεδα χαμηλότερα της μονάδας (-0.10), ενώ η σταυροειδής ελαστικότητα ($\Delta RPELEC$) που μετρά την επίδραση των μεταβολών της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας στη ζήτηση πετρελαίου από τη βιομηχανία, είναι στατιστικά σημαντική και εκτιμάται σε 0.07 (υποκαταστασιμότητα). Ανεπηρέαστη αφήνει τη βιομηχανική ζήτηση πετρελαίου ο αριθμός των ημερών θέρμανσης (ΔHDD), ενώ θετική επίδραση στη βραχυχρόνια ζήτηση πετρελαίου σημειώνεται από τις μεταβολές της κατανάλωσης πετρελαίου της προηγούμενης περιόδου ($\Delta OIL(-1)$) με το σχετικό συντελεστή να εκτιμάται σε 0.54.

Τέλος, σύμφωνα με την τιμή του συντελεστή γ (ταχύτητα προσαρμογής), το 75% της απόκλισης από τη μακροχρόνια ισορροπία διορθώνεται στην τρέχουσα περίοδο. Κλείνοντας, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι βραχυχρόνιες εκτιμήσεις δείχνουν ικανοποιητικές στη βάση χρησιμοποίησης διαγνωστικών ελέγχων, αφού το συγκεκριμένο υπόδειγμα διόρθωσης σφάλματος, δεν παραβιάζει μερικές από τις βασικές υποθέσεις ενός οικονομετρικού υποδείγματος (ομοσκεδαστικότητα, έλλειψη αυτοσυσχέτισης).

Μεταβλητές	$\Delta(OIL)$ (1)	$\Delta(ELEC)$ (2)
C	-0.01 (-1.40)	0.005 (0.48)
$\Delta(DBP)$	0.61b (2.33)	0.81a (3.02)
$\Delta(RPOIL)$	-0.10b (2.21)	0.02c (1.71)
$\Delta(RPELEC)$	0.07b (2.63)	-0.11b (1.98)
$\Delta(CONS)$	-	0.007 (0.54)

παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Δ(HDD)	0.006 (0.32)	-0.006 (-0.11)
Δ(OIL(-1))	0.54a (3.78)	-
Δ(ELEC(-1))		0.21b (1.88)
Γ	-0.75a (-5.28)	-0.68b (2.58)
Διαγνωστικοί Έλεγχοι		
Συντελεστής προσδιορισμού (R^2)	0.72	0.58
Διορθωμένος συντελεστής προσδιορισμού (\bar{R}^2)	0.62	0.40
F- στατιστική	7.30 [0.00]	3.23 [0.02]
Durbin-Watson	2.09	1.65
Breusch-Godfrey LM Test	0.65 [0.42]	1.057 [0.32]
LM (5)	1.53 [0.25]	0.41 [0.83]
White test	0.48 [0.88]	0.46 [0.90]
J. Bera	4.15 [0.12]	1.81 [0.40]
ARCH test	0.65 [0.42]	1.99 [0.17]
LMARCH (5)	0.48 [0.78]	1.39 [0.29]

Πίνακας 4: Αποτελέσματα Υποδειγμάτων Διόρθωσης Σφαλμάτων (Βραχυχρόνιες Εξισώσεις).
 Πηγή: Οικονομετρικοί Υπολογισμοί. Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τιμές της στατιστικής t-student, δηλώνουν στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδα 0.01, 0.05 και 0.10 αντίστοιχα.
 Ο συντελεστής c αναφέρεται στον σταθερό όρο.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτίμηση της βραχυχρόνιας συνάρτησης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζονται στη δεύτερη στήλη του Πίνακα 4. Σύμφωνα με τις σχετικές εκτιμήσεις παρατηρείται ότι όλοι οι συντελεστές έχουν τα αναμενόμενα από τη θεωρία πρόσημα και διαμορφώνονται σε χαμηλότερα επίπεδα από τους αντίστοιχους μακροχρόνιους συντελεστές (σχέση 23)¹⁶. Ανελαστική εμφανίζεται η ζήτηση βιομηχανικής ηλεκτρικής ενέργειας ως προς την τιμή ($\Delta RPELEC$) με την αντίστοιχη βραχυχρόνια

16. Το αποτέλεσμα αυτό, ικανοποιεί την αρχή του LeChatelier, σύμφωνα με την οποία οι μακροχρόνιες ελαστικότητες υπερβαίνουν τις αντίστοιχες βραχυχρόνιες. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι οι καταναλωτές, προ-

ελαστικότητα να εκτιμάται σε -0.11 , γεγονός που υποδηλώνει ότι σε μια μοναδιαία αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας που προορίζεται για βιομηχανική χρήση *ceteris paribus*, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, θα μειωθεί κατά 0.11% και αντίστροφα. Ανελαστική εκτιμήθηκε και η ζήτηση βιομηχανικής ηλεκτρικής ενέργειας ως προς την αξία της βιομηχανικής παραγωγής (ΔDBP) με το μέγεθος της σχετικής ελαστικότητας να μην υπερβαίνει το 81% . Ανελαστική ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας για βιομηχανική χρήση ως προς την αξία της παραγωγής σε βραχυχρόνιο επίπεδο καταγράφεται και σε παρόμοια μελέτη¹⁷. Στη μελέτη αυτή, χρησιμοποιούνται διαστρωματικά δεδομένα (2.949 παρατηρήσεις από βιομηχανικές μονάδες) και στοιχεία χρονολογικών σειρών (1983-1996) σε μορφή panel με σκοπό να εκτιμηθεί η βιομηχανική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στη Δανία. Από τα αποτελέσματα, προκύπτει ότι η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζεται ανελαστική στις μεταβολές της ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας (scale effect) με την αντίστοιχη ελαστικότητα να εκτιμάται σε 0.6 .

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζεται σε μικρότερο βαθμό βραχυχρόνια από τις διακυμάνσεις της τιμής του πετρελαίου (ΔRPOIL) σε σχέση με τη μακροχρόνια περίοδο, αφού η αντίστοιχη σταυροειδής ελαστικότητα είναι στατιστικά σημαντική και διαμορφώνεται σε 0.02 . Οι μεταβολές των βιομηχανικών καταναλωτών (ΔCONS), αφήνουν ανεπηρέαστη τη βραχυχρόνια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ καταγράφεται μια αρνητική αλλά μη στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της ζήτησης βιομηχανικής ηλεκτρικής ενέργειας και του αριθμού των ημερών θέρμανσης (ΔHDD). Η εκτίμηση αυτή συγκλίνει με τα αποτελέσματα άλλης μελέτης, σύμφωνα με την οποία ο αριθμός των ημερών θέρμανσης δεν επηρεάζει τη ζήτηση βιομηχανικής ηλεκτρικής ενέργειας των ΗΠΑ με την αντίστοιχη ελαστικότητα να διαμορφώνεται σε -0.009 ¹⁸. Ανάλογα συμπεράσματα προκύπτουν και σε παρόμοιο άρθρο, στο οποίο εκτιμάται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της βιομηχανίας στο Ισραήλ στη βάση χρησιμοποίησης τριών διαφορετικών οικονομικών προσεγγίσεων¹⁹. Τέλος, ο συντελεστής γ , ο οποίος υποδηλώνει την ταχύτητα προσαρμογής προς τη μακροχρόνια ισορροπία, έχει το αναμενόμενο από τη θεωρία αρνητικό πρόσημο, και εκφράζει ότι το 68% της απόκλισης από τη μακροχρόνια ισορροπία «διορθώνεται» στην τρέχουσα περίοδο.

Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά όταν χρησιμοποιηθούν στατιστικά κριτήρια. Ο βαθμός προσαρμογής R^2 είναι σχετικά υψηλός, ενώ σύμφωνα με τα διαγνωστικά τεστ που εφαρμόστηκαν, το υπόδειγμα διόρθωσης σφάλματος ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαλλαγμένο από αυτοσυσχέτιση, ετεροσκεδαστικότητα και ARCH επιδράσεις.

Στο σημείο αυτό και για την καλύτερη σύγκριση και επαλήθευση (robustness) των ανωτέρω αποτελεσμάτων, ακολουθείται συμπληρωματικά εναλλακτική οικονομομετρική προ-

σαρμόζουν ταχύτερα την οικονομική τους συμπεριφορά στις μεταβολές των ερμηνευτικών μεταβλητών (τιμές, εισόδημα, αριθμός καταναλωτών, κ.ο.κ) στη μακροχρόνια σε σχέση με τη βραχυχρόνια περίοδο.

17. BJORNER T.B, TOGEBY M. & JENSEN H.H., Industrial Companies' Demand for Electricity: Evidence from a Micropanel [2001] 23 *Energy Economics*, σελ. 595-617.

18. KAMERSCHEN D. & PORTER D., The Demand for Residential, Industrial and Total Electricity, 1973-1998 [2004] 26 *Energy Economics*, σελ. 87-100.

19. BEENSTOCK M., GOLDIN E. & NABOT D. The Demand for Electricity in Israel [2999] 21 *Energy Economics*, σελ. 168-183.

σέγγιση²⁰. Αρχικά εφαρμόζονται έλεγχοι F, με σκοπό να εξακριβωθεί η στατιστική σημαντικότητα των μεταβλητών με υστέρηση εκφρασμένες σε επίπεδα (levels) όπως αυτές παρουσιάζονται στις δύο παρακάτω εξισώσεις.

$$\Delta \ln(OIL_t) = a_0 + \sum_{i=1}^p a_{1i} \Delta \ln(OIL_{t-i}) + \sum_{i=1}^p a_{2i} \Delta \ln(DBP_{t-i}) + \sum_{i=1}^p a_{3i} \Delta \ln(RPOIL_{t-i}) + \sum_{i=1}^p a_{4i} \Delta \ln(RPELEC_{t-i}) \quad (7)$$

$$+ \sum_{i=1}^p a_{5i} \Delta \ln(HDD_{t-i}) + b_1 \ln(OIL_{t-1}) + b_2 \ln(DBP_{t-1}) + b_3 \ln(RPOIL_{t-1}) + b_4 \ln(RPELEC_{t-1}) + b_5 \ln(HDD_{t-1}).$$

$$\Delta \ln(ELEC_t) = \sum_{i=1}^p a_{1i} \Delta \ln(ELEC_{t-i}) + \sum_{i=1}^p a_{2i} \Delta \ln(DBP_{t-i}) + \sum_{i=1}^p a_{3i} \Delta \ln(RPOIL_{t-i}) + \sum_{i=1}^p a_{4i} \Delta \ln(RPELEC_{t-i}) + (8)$$

$$+ \sum_{i=1}^p a_{5i} \Delta \ln(HDD_{t-i}) + \sum_{i=1}^p a_{6i} \Delta \ln(CONS_{t-i}) + b_1 \ln(ELEC_{t-1}) + b_2 \ln(DBP_{t-1}) + b_3 \ln(RPOIL_{t-1}) +$$

$$b_4 \ln(RPELEC_{t-1}) + b_5 \ln(HDD) + b_6 \ln(CONS) + u_t$$

Προκειμένου να επιλεγθεί ο ικανός αριθμός των υστερήσεων (p) που εξασφαλίζει σφαιρικότητα των καταλοίπων και δεν οδηγεί σε υπερ-παραμετροποίηση, οι παραπάνω σχέσεις, εκτιμήθηκαν διαδοχικά χρησιμοποιώντας διαφορετικούς βαθμούς υστερήσεων (p = 1,2,3). Στις εξισώσεις αυτές προστέθηκαν και εξωγενείς μεταβλητές, όπως είναι οι δύο ψευδομεταβλητές D1986 και D1997 καθώς και η γραμμική τάση (time trend) με σκοπό την καλύτερη εξειδίκευση τους. Τα ευρήματα όμως για την εισαγωγή των δύο διχοτομικών μεταβλητών δεν ήταν ικανοποιητικά από στατιστικής πλευράς. Από τα αποτελέσματα των σχετικών παλινδρομήσεων και χρησιμοποιώντας τόσο τα πληροφοριακά στατιστικά κριτήρια (Akaike Information Criterion και Schwarz Bayesian Criterion), όσο και τους LM ελέγχους για την ύπαρξη αυτοσυσχέτισης στα κατάλοιπα, προκύπτει ότι ο βαθμός ή η τάση των υστερήσεων (lag order) που εξασφαλίζει την απουσία αυτοσυσχέτισης αντιστοιχεί σε p = 1.

Αναφορικά με την εξίσωση 26, προκύπτει ότι για αριθμό ανεξάρτητων μεταβλητών (k = 4), η εκτιμημένη τιμή της στατιστικής F = 6.18 σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας α = 0,01, υπερβαίνει το άνω όριο του εύρους των κριτικών τιμών (3.74-5.06). Συνεπώς, η μηδενική υπόθεση (H₀: b₁ = b₂ = b₃ = b₄ = b₅ = 0) δεν μπορεί να γίνει δεκτή, γεγονός που εξασφαλίζει την ύπαρξη (μακροχρόνιας) σχέσης συνολοκλήρωσης μεταξύ του επιπέδου της ζήτησης πετρελαίου και των ανεξάρτητων μεταβλητών (αξία βιομηχανικής παραγωγής, τιμές, θερμοκρασία). Σε αντιδιαστολή, αναφορικά με την εξίσωση 27, προκύπτει ότι για αριθμό ανεξάρτητων μεταβλητών (k = 5), η εκτιμημένη τιμή της στατιστικής F = 1.21 σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας α = 0,05, είναι χαμηλότερη από το κάτω όριο του εύρους των κριτικών τιμών (2.62-3.79). Με βάση τα παραπάνω ευρήματα, συμπεραίνεται ότι η μηδενική υπόθεση (H₀: b₁ = b₂ = b₃ = b₄ = b₅ = b₆ = 0) δεν μπορεί να απορριφθεί, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η ύπαρξη σχέσης συνολοκλήρωσης (long-run) μεταξύ του επιπέδου της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τη βιομηχανία και των ανεξάρτητων μεταβλητών (εισόδημα, τιμές, θερμοκρασία, καταναλωτές).

20. PESARAN H.M., SHIN Y. & SMITH J.R., Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships [2001] 26(3) *Journal of Applied Econometrics*, σελ. 289-326.

Έχοντας εξασφαλίσει την ύπαρξη συνολοκλήρωσης για τη ζήτηση πετρελαίου από τη βιομηχανία, εκτιμάται η παρακάτω μακροχρόνια (λογαριθμική) σχέση:

$$OIL_t = 1.17 + 1.76DBP_t - 0.42RPOIL_t + 0.28RPELEC_t + 0.27HDD_t - 0.03TREND_t + \hat{u}_t \quad (9)$$

(3.56) (0.61) (0.10) (0.13) (0.26) (0.003)

όπου με t συμβολίζεται ο διαταρακτικός όρος (equilibrium correction term) και οι τιμές στις παρενθέσεις αφορούν στα τυπικά σφάλματα των μεταβλητών. Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, οι συντελεστές της μακροχρόνιας σχέσης ζήτησης πετρελαίου εκτός από τη σταυροειδή ελαστικότητα έχουν τα αναμενόμενα από τη θεωρία πρόσημα και εμφανίζονται στατιστικά σημαντικοί σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.01$. Η ζήτηση πετρελαίου ως προς την αξία της βιομηχανικής παραγωγής εμφανίζεται ελαστική με την αντίστοιχη ελαστικότητα να εκτιμάται σε 1.76.

Η ίδια ελαστικότητα ως προς την τιμή είναι μικρότερη της μονάδας, στατιστικά σημαντική και αρνητική (ανελαστική ζήτηση), ενώ η σταυροειδής ελαστικότητα, εκτιμήθηκε σε 0.28, γεγονός που δικαιολογεί την ύπαρξη υποκαταστασιμότητας μεταξύ των δύο μορφών οικιακής ενέργειας (πετρέλαιο και ηλεκτρισμός). Τέλος, καταγράφεται μια μικρή αλλά μη-στατιστικά σημαντική επίδραση των ημερών θέρμανσης (HDD) στη βιομηχανική ζήτηση ενέργειας μακροχρόνια (0.27). Τέλος, η επίδραση του φυσικού αερίου μέσω της ενσωμάτωσης της γραμμικής τάσης (TREND) στη δομή της βιομηχανικής ζήτησης είναι αρνητική, γεγονός που αποκαλύπτει την ύπαρξη υποκαταστασιμότητας μεταξύ πετρελαίου και φυσικού αερίου. Τα ευρήματα της συγκεκριμένης σχέσης συνάδουν σε γενικές γραμμές τόσο με τη μεθοδολογία Johansen, όσο και με αντίστοιχες μελέτες (βλ. βιβλιογραφική επισκόπηση), γεγονός που αποκαλύπτει υψηλό βαθμό αξιοπιστίας (robustness).

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των βραχυχρόνιων ελαστικοτήτων βιομηχανικής ζήτησης πετρελαίου όπως προέκυψαν από την εκτίμηση του υποδείγματος διόρθωσης σφάλματος. Ειδικότερα, εκτιμήθηκε το αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα (ARDL) σε ισοδύναμη μορφή διόρθωσης σφάλματος (ECM), το οποίο επιλέχθηκε με μοναδικό κριτήριο την τιμή του Akaike Information Criterion (AIC) και για τάξη υστερήσεων (lag-order) $p = 1^{21}$. Πιο συγκεκριμένα, αναφορικά με τη βραχυχρόνια συνάρτηση ζήτησης πετρελαίου, παρατηρείται ότι όλοι οι συντελεστές -εκτός από τη σταυροειδή ελαστικότητα- έχουν τα αναμενόμενα από τη θεωρία πρόσημα. Αναλυτικότερα, η βραχυχρόνια ελαστικότητα ως προς την αξία της βιομηχανικής παραγωγής (DBP) είναι ελαστική και εκτιμήθηκε σε 1.20. Σε αντίθεση, ανελαστική εμφανίζεται η ζήτηση ως προς την τιμή πετρελαίου με το μέγεθος της να εκτιμάται σε -0.09. Η σταυροειδής ελαστικότητα που αφορά την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι αρνητική (-0.14), αλλά μη-στατιστικά σημαντική σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha = 0.10$, γεγονός που πιστοποιεί ότι στη βραχυχρόνια σε αντίθεση με τη μακροχρόνια περίοδο η ζήτηση πετρελαίου δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές της τιμής του ηλεκτρισμού.

21. *Ibid.*

Μεταβλητές	Δ(COIL)
C	-0.01 (-1.32)
Δ(DBP)	1.20b (2.15)
Δ(RPOIL)	-0.09b (-1.92)
Δ(RPELEC)	-0.14 (-0.66)
Δ(HDD)	0.14 (1.18)
Δ(COIL(-1))	0.52a (3.32)
Γ	-0.74a (-4.47)
Διαγνωστικοί έλεγχοι	
Συντελεστής προσδιορισμού (R^2)	0.66
Διορθωμένος συντελεστής προσδιορισμού (\bar{R}^2)	0.54
F- στατιστική	5.55 [0.00]
Durbin-Watson	2.06
Breusch-Godfrey LM Test	0.09 [0.76]
LM (5)	1.87 [0.17]
White test	0.65 [0.76]
J. Bera	2.35 [0.30]
ARCH test	0.80 [0.37]
LMARCH (5)	0.88 [0.51]

Πίνακας 5: Αποτελέσματα Υποδείγματος Διόρθωσης Σφάλματος

(Πηγή: Οικονομετρικοί Υπολογισμοί). Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τιμές της στατιστικής t-student, ^{a,b,c} δηλώνουν στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδα 0.01, 0.05 και 0.10 αντίστοιχα. LM (5) και LMARCH (5) είναι LM test για πέμπτου βαθμού αυτοσυσχέτιση και αυτοπαλίνδρομη ετεροσκεδαστικότητα (ARCH). Οι αριθμοί στις παρενθέσεις εκφράζουν τα p values. Ο συντελεστής c αναφέρεται στον σταθερό όρο.

Οι ημέρες θέρμανσης, συνδέονται θετικά αλλά μη-στατιστικά σημαντικά με την κατανάλωση πετρελαίου. Ο συντελεστής γ (ταχύτητα προσαρμογής προς τη μακροχρόνια ισορροπία), έχει το αναμενόμενο από τη θεωρία αρνητικό πρόσημο, και εκφράζει ότι το 74% της απόκλισης από τη μακροχρόνια ισορροπία διορθώνεται στην τρέχουσα περίοδο.

Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά όταν χρησιμοποιηθούν στατιστικά κριτήρια. Ο βαθμός προσαρμογής (R^2) είναι σχετικά υψηλός για υπόδειγμα διόρθωσης σφάλματος (0.54), ενώ οι διαγνωστικοί έλεγχοι που χρησιμοποιήθηκαν υποδηλώνουν ότι δεν υπάρχουν σημάδια αυτοσυσχέτισης, ετεροσκεδαστικότητας και ARCH επιδράσεων στη ζήτηση πετρελαίου για βιομηχανική χρήση.

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του βιομηχανικού τομέα επηρεάζεται θετικά από τις μεταβολές της βιομηχανικής παραγωγής με τις αντίστοιχες ελαστικότητες στη μακροχρόνια και βραχυχρόνια περίοδο να κυμαίνονται σε επίπεδα χαμηλότερα της μονάδας (ανελαστική ζήτηση). Οι ίδιες ελαστικότητες τιμής εμφανίζονται αρνητικές με το μέγεθος τους να υπολείπεται της μονάδας (ανελαστική ζήτηση). Η βιομηχανική ζήτηση ενέργειας εμφανίζει σχέση συμπληρωματικότητας με τα λοιπά πετρελαιοειδή (πετρέλαιο εσωτερικής και εξωτερικής καύσης). Η βιομηχανική ζήτηση πετρελαίου επηρεάζεται θετικά από το μέγεθος και τις μεταβολές της βιομηχανικής παραγωγής στη μακροχρόνια και βραχυχρόνια περίοδο με τις αντίστοιχες ελαστικότητες να διαμορφώνονται σε χαμηλά επίπεδα (ανελαστική ζήτηση). Οι ίδιες ελαστικότητες ως προς την τιμή του πετρελαίου διαμορφώθηκαν σε επίπεδα μικρότερα της μονάδας, που συνεπάγεται ότι η ζήτηση πετρελαίου είναι ανελαστική στις μεταβολές της τιμής του. Το χαμηλό μέγεθος των ιδίων ελαστικότητας τιμής, σε συνδυασμό με τη θετική σταυροειδή ελαστικότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, δικαιολογεί την ύπαρξη υποκαταστασιμότητας των δύο ενεργειακών εισροών στους κλάδους της βιομηχανίας.

Ειδικότερα, η βιομηχανική ζήτηση πετρελαίου επηρεάζεται θετικά από το μέγεθος και τις μεταβολές της βιομηχανικής παραγωγής στη μακροχρόνια και βραχυχρόνια περίοδο με τις αντίστοιχες ελαστικότητες να διαμορφώνονται σε επίπεδα χαμηλότερα της μονάδας (ανελαστική ζήτηση). Οι ίδιες ελαστικότητες ως προς την τιμή του πετρελαίου διαμορφώθηκαν σε επίπεδα μικρότερα της μονάδας γεγονός που συνεπάγεται ότι η ζήτηση πετρελαίου είναι ανελαστική στις μεταβολές της ίδιας τιμής. Το χαμηλό μέγεθος των ιδίων ελαστικότητας τιμής, σε συνδυασμό με τη θετική σταυροειδή ελαστικότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία «ανιχνεύθηκε» με την εφαρμογή της μεθόδου μεγίστης πιθανοφάνειας, δικαιολογεί την ύπαρξη υποκαταστασιμότητας μεταξύ πετρελαίου και ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαπίστωση αυτή εναρμονίζεται με προηγούμενες εμπειρικές μελέτες που εξετάζουν τη δομή της ζήτησης ενέργειας στους κλάδους της βιομηχανίας στην Ελλάδα.

