



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μοντέλο ενοποίησης αγορών ενέργειας με ενσωματωμένες
συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος και επενδύσεις στα δίκτυα
των χωρών Ελλάδα, FYROM, Ιταλία και Βουλγαρία**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στέργιος Ι. Σταθαράς

Επιβλέπων: Παντελής Κάπρος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μοντέλο ενοποίησης αγορών ενέργειας με ενσωματωμένες
συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος και επενδύσεις στα δίκτυα
των χωρών Ελλάδα, FYROM, Ιταλία και Βουλγαρία**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στέργιος Ι. Σταθαράς

Επιβλέπων: Παντελής Κάπρος
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 31^η Οκτωβρίου 2016.

.....

Παντελής Κάπρος

.....

Κωνσταντίνος Βουρνάς

.....

Γεώργιος Κορρές

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

.....
Στέργιος Ι. Σταθαράς

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

Copyright © Στέργιος Σταθαράς 2016.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκε η συμπεριφορά της προ-ημερήσιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας των χωρών: Ελλάδα, FYROM, Βουλγαρία και Ιταλία, υπό μεγάλη διείσδυση προσφορών ελαχίστου εισοδήματος (MIC orders) κατά τις οποίες οι προσφορές των μονάδων στην έγχυση ηλεκτρικής ισχύος στο δίκτυο θα γίνονται επιτρεπτές μόνο αφού εξασφαλισθεί πως θα ανακτούν τα κεφαλαιουχικά τους κόστη. Έγινε σύγκριση της μορφής των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας με και χωρίς τις συνθήκες αυτές για το έτος 2020 και 2030 και εν συνεχεία μελετήθηκε πώς θα μεταβληθούν οι αγορές με την υλοποίηση σειράς επενδυτικών σχεδίων πάνω στις διασυνδετικές γραμμές μεταξύ των εξεταζομένων χωρών αλλά και κατά πως θα μεταβληθεί η ευημερία στις παραπάνω περιοχές. Οι μονάδες που υποβάλλουν προσφορές ελαχίστου εισοδήματος συνιστούν μονάδες με πολύ ακριβά κόστη εκκίνησης και τερματισμού και συμμετέχουν στην έγχυση ισχύος λίγες ώρες την ημέρα με αποτέλεσμα πολλές φορές να χρησιμοποιούνται χωρίς να δύνανται να ανακτούν τα κόστη τους και έτσι να έχουν ζημία. Τα κόστη αυτά ορίστηκαν στο μοντέλο ως κεφαλαιουχικά κόστη για τις μονάδες φυσικού αερίου αλλά και συνδυασμένου κύκλου. Οι προσφορές MIC ενσωματώθηκαν με χρήση επαναληπτικής διαδικασίας κατά την οποία γινόταν αποδοχή ή απόρριψη των μονάδων προσφοράς μέσω σύγκρισης πλεονασμάτων των παραγωγών από τη προσφορά ισχύος σε τιμές εκκαθάρισης που προέκυπταν από την δυική τιμή της ισορροπίας του ενεργειακού ισοζυγίου (shadow price). Η επαναληπτική διαδικασία έληγε όταν ταυτόχρονα οι αποδεκτές μονάδες ελαχίστου εισοδήματος είχαν όλες θετικό πλεόνασμα και η τιμή εκκαθάρισης της εκάστοτε αγοράς δεν μεταβαλλόταν πάνω από ένα όριο τιμής που ορίστηκε μεταξύ δύο διαδοχικών επαναλήψεων. Οι προσφορές κατανάλωσης και έγχυσης ισχύος που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο ήταν υπό τη μορφή απλών ωριαίων προσφορών ενώ η ζήτηση που κλήθηκε να καλυφτεί ήταν υπό τη μορφή της ανελαστικής καμπύλης. Για κάθε χώρα υπήρξε υποχρεωτική έγχυση ισχύος από μονάδες ανανεώσιμης τεχνολογίας (ΑΠΕ). Με την ενοποίηση των ηλεκτρικών αγορών και των τιμών εκκαθάρισης επιτυγχάνεται η αποφυγή πολύ υψηλών τιμών πώλησης ενέργειας, λιγότερη μεταβλητότητα μεταξύ των τιμών και μεγιστοποίηση της ευημερίας. Για να συμβεί αυτό χρειάζονται επαρκή όρια διασυνδετικής ικανότητας ισχύος. Σε αυτήν την κατεύθυνση μελετήθηκε κατά πόσο με την επένδυση σε παραπάνω διασυνδετικές γραμμές θα μεταβληθεί η ευημερία των περιοχών αλλά και κατά πόσο τα έσοδα που προκύπτουν είναι ικανά να ανακτήσουν τα επενδυτικά κόστη. Το μοντέλο που δόθηκε και μεταβλήθηκε για την εξυπηρέτηση των σεναρίων αναπτύχθηκε σε περιβάλλον GAMS.

Λέξεις κλειδιά: Ενοποίηση Προ-Ημερήσιων Αγορών Ενέργειας, Προσφορές Ελαχίστου Εισοδήματος, Γραμμικός Προγραμματισμός, Επενδύσεις Σε Γραμμές Διασύνδεσης, Δίκτυο Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, Θερμικές Μονάδες, Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς, Ενοποίηση Τιμών Περιοχών, Συνολικό Κοινωνικό Πλεόνασμα, Τεχνολογία Χαμηλού Επίπεδου Ανθρακούχων Εκπομπών

Abstract

This diploma thesis aimed at studying the implications of bidding at minimum levels allowing recovering of fuel and capital costs of the power plants income orders (MIC orders) on the day-ahead energy market and prices of the coupled countries Greece, FYROM, Bulgaria and Italy. The assumption is that bidding orders of the power plants for power injection in the transmission network will be accepted only if the capital cost of the power plants is recouped. The study is based on a market simulator written in GAMS which replicates the EUPHEMIA algorithm (clearing coupled wholesale market for electricity) and includes the MIC orders. The model has been used to simulate cases with and without MIC orders for the years 2020 and 2030 and then a research. In addition sensitivity analysis was performed focusing on by investing in transmission lines enhancing the interconnection of the countries and using the model to analyze the implications of these investments on market equilibrium with and without MIC orders. The power plants employ MIC orders when they incur high costs for shut-down and start-up while being operating over short time intervals per day under economic conditions not allowing recovering fixed maintenance and capital costs without bidding income orders. The fixed maintenance and capital costs GT and CCGT plants are used as examples in the modeling. The simulator handles the MIC orders within the process of market clearing as constraints which are satisfied after the end of an iterative process. The process determines whether a certain MIC order is accepted or rejected for maximization of social welfare. The iterations are based on incremental bidding aiming at implementing the MIC orders while welfare maximization in each iteration finds the merit order and determines the market clearing price as the shadow price of the energy balance constraint. The iterative procedure ends when the units accepted to be part of the merit order reach revenue levels allowing total cost recovery, while social welfare is maximized. The MIC orders were analyzed assuming a market context where all bids are hourly based and the demand is price-inelastic. Renewable power is assumed to be granted priority dispatching at pre-determined amounts. The multi-country market coupling is more cost-efficient than market segmentation as shown by a sensitivity analysis. However, to reach maximum social welfare of the region taken as a whole, enhancement of interconnection capacity is needed as congestions are frequent according to the results of simulation of the coupled market. The analysis compared investment costs in interconnections to social welfare gains induced by the additional capacity for the region as a whole. The assessment of MIC orders was performed also in the highly interconnected context.

Key words: Day-Ahead Market Coupling, Minimum Income Orders, Linear Programming, Transmission Line Investments, Energy Transmission System, Combined Cycle Gas Turbine, Market Clearing Price, Price Coupling of Regions, Total Social Welfare, Low Carbon Emission Technology

Ευχαριστίες:

Με την ολοκλήρωση της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παντελή Κάπρο για τη δυνατότητα που μου παρείχε να ασχοληθώ με αυτό το ενδιαφέρον θέμα καθώς και για την διεύρυνση των γνώσεών μου πάνω στον τομέα της μαθηματικής μοντελοποίησης. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά την υποψήφια διδάκτορα κα. Μαρία Κανναβού για την πολύτιμη και αδιάλειπτη βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διαδικασία εκπόνησης της διπλωματικής μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του εργαστηρίου Υποδειγμάτων Ενέργειας – Οικονομίας – Περιβάλλοντος του ΕΜΠ για τη βοήθεια, και το όμορφο κλίμα συνεργασίας που μου παρείχαν.

Φτάνοντας στο πέρας των σπουδών μου θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την ουσιαστική στήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια καθώς επίσης και τον Άρη, το Χρήστο και τον Παναγιώτη που ήταν δίπλα μου σε όλες τις δύσκολες στιγμές. Τέλος ευχαριστώ θερμά τη Δήμητρα για την ανεξάντλητη υπομονή της και τη συμπαράσταση που μου παρείχε σε όλες τις εκφάνσεις της καθημερινότητάς μου.

Περιεχόμενα

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
1.1.ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΑΓΟΡΩΝ	20
1.2.ΔΙΑΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΙΣΧΥΟΣ	22
2.Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΥΡΗΜΙΑ	23
2.1.ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΦΟΡΩΝ	23
2.1.1.Απλές ωριαίες προσφορές	23
2.1.2.Μπλοκ προσφορών	25
2.1.3.Προσφορές κλίσης φορτίου	26
2.1.4.Προσφορές ελαχίστου εισοδήματος MIC	27
2.2.ΚΟΣΤΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ... ..	28
3.ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ	29
3.1.ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ	29
3.2.ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ	30
3.2.1.Κριτήριο παρούσας αξίας	30
3.2.2.Κριτήριο Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης της Επένδυσης	31
3.2.3.Κριτήριο Οφέλους – Κόστους	32
3.2.4.Ατελή κριτήρια	33
4.ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	33
4.1.ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ	33
4.2.ΧΩΡΟΙ ΤΩΝ ΕΦΙΚΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ	35
4.3.GAMS	37
5.ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΥΡΗΜΙΑ.....	38
5.1.ΣΕΤ.....	38
5.2.ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	40
5.3.ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ	42
5.4.ΕΙΣΩΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ	44
5.5.ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΙΣΩΣΕΩΝ – ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	49
5.6.ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ.....	51
6.«ΕΥΡΩΠΗ 2020» ΚΑΙ ΠΟΡΕΙΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ.....	53
6.1.ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ	54
7.ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟ-ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΑΓΟΡΩΝ ΕΥΡΗΜΙΑ	56

7.1.ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	56
7.1.2 Δεδομένα έτους 2020	57
7.1.3 Δεδομένα έτους 2030	58
7.2. ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ	59
7.2.1. Επίλυση της αγοράς για το έτος 2020 χωρίς την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM	59
7.2.2. Επίλυση της αγοράς για το έτος 2020 μετά την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM	60
7.2.3. Επίλυση της αγοράς για το έτος 2030 χωρίς την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM	60
7.2.4. Επίλυση της αγοράς για το έτος 2030 μετά την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM	60
7.2.5. Σενάριο επενδύσεων σε διασυνδεδετικές γραμμές μεταξύ των χωρών: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM για το έτος 2030	60
8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟ-ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΑΓΟΡΩΝ	61
8.1. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020 ΧΩΡΙΣ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΩΡΕΣ: ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ, ΙΤΑΛΙΑ, FYROM.	61
8.2. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020 ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΩΡΕΣ: ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ, ΙΤΑΛΙΑ, FYROM.	67
8.3. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2030 ΧΩΡΙΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ	73
8.4. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2030 ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ	77
8.5. ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΣΕ ΔΙΑΣΥΝΔΕΤΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ: ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ, ΙΤΑΛΙΑ, FYROM ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2030	85
8.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	92
8.7. ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ	94
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟ- ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΑΓΟΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ.....	52
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (ΧΩΡΙΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ) ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΕΤΗ 2020 ΚΑΙ 2030	58
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΚΑΜΠΥΛΗ ΖΗΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ 2020 ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΙΤΑΛΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ FYROM	61
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: ΤΙΜΕΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ (MARKET CLEARING PRICES) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ 2020 ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΙΤΑΛΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ FYROM	62
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: ΚΑΜΠΥΛΗ ΖΗΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΗ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ 2020 ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΙΤΑΛΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ FYROM	62
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΤΙΜΕΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ (MARKET CLEARING PRICES) ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΗ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ 2020 ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΙΤΑΛΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ FYROM	63
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΤΙΜΕΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ (MARKET CLEARING PRICES) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ 2020 ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΙΤΑΛΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ FYROM ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ ΣΥΝΘΗΚΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ	68
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: ΚΑΜΠΥΛΗ ΖΗΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ 2030 ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΙΤΑΛΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ FYROM	73
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: ΤΙΜΕΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ (MARKET CLEARING PRICES) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ 2030 ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΙΤΑΛΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ FYROM	73
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: ΤΙΜΕΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ (MARKET CLEARING PRICES) ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2030 ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΙΤΑΛΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ FYROM ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ.....	78
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΟΥ ΥΠΟΔΕΙΚΝΟΥΝ ΠΩΣ ΑΛΛΑΖΟΥΝ ΩΡΙΑΙΑ ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ (MARKET CLEARING PRICES) ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2030 ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΙΤΑΛΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ FYROM ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ.....	78
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: ΤΙΜΕΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ (MARKET CLEARING PRICES) ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΙΤΑΛΙΑ, ΕΛΛΑΔΑ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ FYROM...	85
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: ΜΕΤΑΝΟΛΗ ΤΗΣ ΚΠΑ (ΣΕ ΔΙΣ ΕΥΡΩ) ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ Ο ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ. ΣΤΟ ΙΔΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΠΑΡΧΕΙ ΚΑΙ Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΟΦΕΛΟΥΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΕΠΟΠΤΕΙΑ.....	91

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΕΤΗ 2020 ΚΑΙ 2030	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΧΩΡΑ ΚΑΙ ΗΜΕΡΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΣΕ ΜWΗ	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΑΙΧΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΕΣ ΗΜΕΡΕΣ .57	
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΑΙΧΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ 2030.....	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΤΙΜΕΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΡΑ 1. ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΥΠΟΔΕΙΚΝΥΟΝΤΑΙ ΟΙ ΩΡΕΣ ΣΥΖΕΥΞΗΣ (COUPLING)	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΤΙΜΕΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΡΑ 6. ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΥΠΟΔΕΙΚΝΥΟΝΤΑΙ ΟΙ ΩΡΕΣ ΣΥΖΕΥΞΗΣ (COUPLING)	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΩΡΙΑΙΑ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΩΝ ΣΕ ΜWΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΗΜΕΡΕΣ 1 ΚΑΙ 6	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΚΑΘΑΡΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΣΕ MW ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΤΗ ΗΜΕΡΑ ΜΕ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΚΟΚΚΙΝΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΚΡΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΩΝ Η ΕΞΑΓΩΓΩΝ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΖΕΥΞΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΑΓΟΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΠΟΥ ΠΕΤΥΧΑΙΝΟΥΝ Ο ΑΝΤΙΘΕΤΟ	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΩΡΙΑΙΑ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΩΝ ΣΕ ΜWΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΡΑ 1 ΜΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΚΑΘΑΡΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΣΕ MW ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΗΜΕΡΑ ΜΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 2020.....	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ (GWh) ΧΩΡΙΣ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020.....	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ (GWh) ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ ΑΠΟΔΕΚΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020.....	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ ΑΠΟΔΕΚΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020.....	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΩΡΙΑΙΑ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΩΝ ΣΕ ΜWΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΡΑ 1 ΤΟΥ 2030 ΧΩΡΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ.....	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΤΙΜΕΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΙΑ ΤΗ ΠΡΩΤΗ ΜΕΡΑ ΤΟΥ 2030. ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΥΠΟΔΕΙΚΝΥΟΝΤΑΙ ΟΙ ΩΡΕΣ ΣΥΖΕΥΞΗΣ (COUPLING)	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΚΑΘΑΡΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΣΕ MW ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ 2030 ΧΩΡΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ.....	77

ΠΙΝΑΚΑΣ 20: ΤΙΜΕΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΡΑ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2030 ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ. ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΥΠΟΔΕΙΚΝΥΟΝΤΑΙ ΟΙ ΩΡΕΣ ΣΥΖΕΥΞΗΣ (COUPLING)	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 21: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 2030.....	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 22: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ (GWh) ΧΩΡΙΣ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2030	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 23: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ (GWh) ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2030	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 24: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ ΑΠΟΔΕΚΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2030.....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 25: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ ΑΠΟΔΕΚΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2030.....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 26: ΚΑΘΑΡΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΧΩΡΩΝ ΙΤΑΛΙΑΣ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑΣ, ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ FYROM ΣΕ MW ΧΩΡΙΣ ΚΑΙ ΜΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 27: ΩΡΙΑΙΑ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΩΝ ΣΕ MWh ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΡΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΤΟΥ 2030 ΜΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ.....	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 28: ΤΙΜΕΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΡΑ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ. ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΥΠΟΔΕΙΚΝΥΟΝΤΑΙ ΟΙ ΩΡΕΣ ΣΥΖΕΥΞΗΣ (COUPLING)	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 29: ΩΡΙΑΙΑ ΡΟΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ MWh ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΧΩΡΙΣ ΚΑΙ ΜΕ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 30: ΚΑΘΑΡΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΧΩΡΩΝ ΙΤΑΛΙΑΣ, ΒΟΥΛΓΑΡΙΑΣ, ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ FYROM ΣΕ MW ΧΩΡΙΣ ΚΑΙ ΜΕ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΠΑΝΩ ΣΤΙΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	88

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΜΕΤΕΧΟΥΣΕΣ ΑΓΟΡΕΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PRICE COUPLING OF REGIONS (ΑΡΧ,ΕΡΕΧ SPOT, NORDPOOL SPOT, ΟΜΙΕ, ΟΤΕ ΚΑΙ ΒΕΛΡΕΧ)	20
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΩΝ ΜΠΛΟΚ ΠΡΟΣΦΟΡΩΝ, ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΥΕΛΙΚΤΩΝ ΩΡΙΑΙΩΝ ΠΡΟΣΦΟΡΩΝ	26
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΚΛΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	27

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΕΥΗΜΕΡΙΑΣ	21
ΣΧΗΜΑ 2: ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΟΤΑΝ ΕΠΑΡΚΕΙ Η ΔΙΑΣΥΝΔΕΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ	22
ΣΧΗΜΑ 3: ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΟΤΑΝ ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ Η ΔΙΑΣΥΝΔΕΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ .	23
ΣΧΗΜΑ 4: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΠΛΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΣΗΣ ΣΕ ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ IN, AT ΚΑΙ OUT OF THE MONEY.....	24
ΣΧΗΜΑ 5: ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΠΛΟΚ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΣΕ ΣΧΗΜΑ ΜΕ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ.....	25
ΣΧΗΜΑ 6: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΠΑ ΜΕ ΕΒΑ ΟΤΑΝ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΚΑΙ ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΚΤΡ.....	31
ΣΧΗΜΑ 7: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΥΟ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ ΜΕ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΕΒΑ1 > ΕΒΑ2 ΑΛΛΑ ΚΠΑ1<ΚΠΑ2 ΚΑΙ ΕΤΣΙ ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ 2.....	32
ΣΧΗΜΑ 8: ΙΣΟΨΕΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΟΥ Z.....	35
ΣΧΗΜΑ 9: ΧΩΡΟΣ ΤΩΝ ΕΦΙΚΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	36
ΣΧΗΜΑ 10: ΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ	36
ΣΧΗΜΑ 11: ΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ ΜΕ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ, ΤΩΝ ΕΦΙΚΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ.....	37
ΣΧΗΜΑ 12: ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΤΑ 80% ΜΕΧΡΙ ΤΟ 2050	54

1.Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ένα εμπορεύσιμο αγαθό. Η παραγωγή και η πώλησή του διενεργούνται υπό συνθήκες ανταγωνισμού, ενώ η μεταφορά και η διανομή υπό καθεστώς ρυθμιζόμενου μονοπωλίου. Η απευθείας φυσική μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τους παραγωγούς στους πελάτες είναι αδύνατη, για αυτό και ο εκάστοτε παραγωγός διοχετεύει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει στο δίκτυο και όντας συνδεδεμένος με αυτό ο πελάτης δύναται να έχει πρόσβαση σε αυτή. Πελάτες και παραγωγοί μπορούν να σχετίζονται με οικονομικού χαρακτήρα συμβάσεις. Στα πλαίσια της αποτελεσματικότερης λήψης αποφάσεων τόσο από την πλευρά των καταναλωτών όσο και των παραγωγών οργανώθηκαν χονδρεμπορικές αγορές αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας ώστε οι τιμές ισορροπίας της προσφοράς και της ζήτησης να λαμβάνουν καλύτερη δημοσιότητα. Η έγχυση ισχύος στο δίκτυο από πλευράς παραγωγού συμβαίνει ταυτόχρονα με την τροφοδοσία του πελάτη ενώ οι δυνατότητες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για μελλοντική χρήση είναι περιορισμένες. Συνεπώς αφού η ζήτηση μεταβάλλεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα θα έχουμε και μεταβολή των τιμών ισορροπίας της χονδρεμπορικής αγοράς. Από την αγορά αυτή προκύπτουν δύο βασικές εκροές. Η πρώτη είναι ο Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός που στην ουσία είναι το πρόγραμμα λειτουργίας των μονάδων παραγωγής καθώς και το πρόγραμμα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατανεμημένα σε μικρά χρονικά διαστήματα για την επόμενη ημέρα. Η δεύτερη εκροή είναι οι οικονομικές υποχρεώσεις και τα δικαιώματα των συμμετεχόντων στην χονδρεμπορική αγορά. Για κάθε ένα από τα χρονικά τμήματα στα οποία έχει κατανεμηθεί ο Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός οι καταναλωτές οφείλουν να πληρώσουν την ηλεκτρική ενέργεια που δήλωσαν στην τιμή της ισορροπίας της αγοράς ενώ οι επιλεγμένοι παραγωγοί ου προγράμματος λειτουργίας των μονάδων έχουν το δικαίωμα είσπραξης της αξίας της παραγωγής τους προσδιορισμένη στην τιμή ισορροπίας της αγοράς.

Η χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας διενεργείται ως εξής. Οι παραγωγοί υποβάλλουν οικονομικές προσφορές που περιλαμβάνουν ισχύ και τιμές που εκφράζουν τη θέληση για είσπραξη, ενώ οι καταναλωτές υποβάλλουν προσφορές που περιλαμβάνουν ισχύ και τιμές που εκφράζουν τη θέλησή τους για πληρωμή. Κάθε αγορά ηλεκτρικής ενέργειας προσδιορίζεται από το σχεδιασμό της ο οποίος αφορά τη μορφή των προσφορών και τους κανόνες που τις διέπουν. Έτσι είναι δυνατό δυο χονδρεμπορικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας να διαφέρουν μεταξύ τους. Επίλυση της αγοράς ονομάζεται η εύρεση του ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού και των τιμών ισορροπίας. Η διεξαγωγή της επίλυσης γίνεται βάσει των προσφορών των συμμετεχόντων και έχει στόχο συνήθως τη μεγιστοποίηση του κοινωνικού πλεονάσματος το οποίο είναι το άθροισμα του πλεονάσματος καταναλωτών και παραγωγών. Μέσω αυτής της μεγιστοποίησης διασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή οικονομική αποτελεσματικότητα και η ισορροπία προσφοράς ζήτησης στην ελάχιστη δυνατή τιμή.

Στην Ευρώπη οι πρώτες απελευθερωμένες αγορές ενέργειας που ιδρύθηκαν ήταν της Ουαλίας και της Αγγλίας, ενώ η πρώτη οργανωμένη ενοποιημένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ήταν η Nordpool Spot AS η οποία περιλάμβανε τις αγορές της Νορβηγίας, Σουηδίας, Φινλανδίας και Δανίας το 2000. Ακολούθησαν οι APX, EPEX και άλλες σε όλη την Ευρώπη ενώ φτάνοντας στο 2009 δημιουργήθηκε πρωτοβουλία να ενοποιηθούν 7 ευρωπαϊκές αγορές ενέργειας (APX, EPEX SPOT, Nordpool Spot, OMIE, OTE και Belpex) ώστε να καλύπτονται οι αγορές στις χώρες Αυστρία, Βέλγιο, Τσεχία, Δανία, Εσθονία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Λετονία, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Ολλανδία, Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ισπανία, Σλοβενία, Σουηδία και Αγγλία. Η πρωτοβουλία αυτή ονομάστηκε ενοποίηση αγορών (market coupling) και αφορούσε την ενοποίηση τιμών των περιοχών pcr (price coupling of regions) όπου ένας υπέρ-λειτουργός διενεργεί την εκκαθάριση της συζευγμένης πλέον αγοράς και έτσι προκύπτουν οι τιμές εκκαθάρισης για κάθε αγορά, η φόρτιση των διασυνδεδετικών γραμμών και οι καθαρές θέσεις ανά περιοχή σε εισαγωγές ή εξαγωγές. Η ενοποίηση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί σε μη ραγδαία μεταβαλλόμενες τιμές, στο να καθίστανται τα δικαιώματα μεταφορικής ικανότητας για διασυνδοριακές ανταλλαγές ενέργειας περιττά, και γενικότερα στη μεγιστοποίηση του πλεονάσματος καταναλωτών και παραγωγών με διαφάνεια στους υπολογισμούς των τιμών και της φόρτισης των γραμμών.

Για τη διασφάλιση της ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης στην ελάχιστη δυνατή τιμή αλλά και για την μεγιστοποίηση της οικονομικής αποτελεσματικότητας απαραίτητη προϋπόθεση είναι να είναι τεχνικά εφαρμόσιμο το πρόγραμμα του Ημερήσιου Ενεργειακού προγραμματισμού στα πλαίσια του υφιστάμενου δικτύου. Στην περίπτωση που υφίστανται συμφορήσεις στο δίκτυο καθίσταται αναγκαία η μεταβολή του προγράμματος φόρτισης των μονάδων και η τιμή ισορροπίας της χονδρεμπορικής αγοράς που δεν αντιστοιχεί πλέον στα δεδομένα της πραγματικότητας δεν δύναται να εξισορροπήσει τις συναλλαγές (πληρωμές ίσες με εισπράξεις). Αυτό συνεπάγεται ότι οι καταναλωτές που τροφοδοτούνται από δύο διαφορετικά άκρα της γραμμής θα πληρώσουν την ηλεκτρική ενέργεια σε διαφορετική μεταξύ τους τιμή γεγονός που θα αντανάκλα παραγωγικό δυναμικό διαφορετικού κόστους μεταξύ των δύο αγορών. Πρόκειται ουσιαστικά για μια κατάτμηση της αγοράς σε επιμέρους αγορές ανάλογα με το που υφίσταται η συμφόρηση με άμεσο αποτέλεσμα την ύπαρξη διαφορετικών τιμών ισορροπίας στις επιμέρους περιοχές. Η επίτευξη ενιαίας τιμής δεν θα καθίσταται δυνατή επειδή δεν μπορεί να μεταφερθεί όλη η ενέργεια που πρέπει από την περιοχή χαμηλού κόστους στην περιοχή υψηλού κόστους.

Κάνοντας λοιπόν επενδύσεις με κατεύθυνση την αύξηση της δυναμικότητας των υπό συμφόρηση γραμμών μπορούμε να αποφύγουμε τα άνωθεν αναφερθέντα προβλήματα καθώς πλέον με τη χρήση νέου προγράμματος λειτουργίας οι μονάδες περιοχών χαμηλού κόστους θα λειτουργούν περισσότερο και αντίστοιχα μονάδες των περιοχών υψηλού κόστους λιγότερο συγκριτικά με το προηγούμενο πρόγραμμα λειτουργίας στο οποίο υπήρχε συμφόρηση και η αγορά είχε κατακερματιστεί. Αποτέλεσμα αυτών

είναι το να μειωθεί αθροιστικά το κόστος των καταναλωτών, αλλά από πλευράς διακριτών περιοχών, σε αυτή με το χαμηλό κόστος παραγωγής θα αυξηθεί ενώ σε αυτή με το υψηλό θα μειωθεί, σε σχέση με τα κόστη στην περίπτωση που δεν έχουμε ενοποιημένη χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

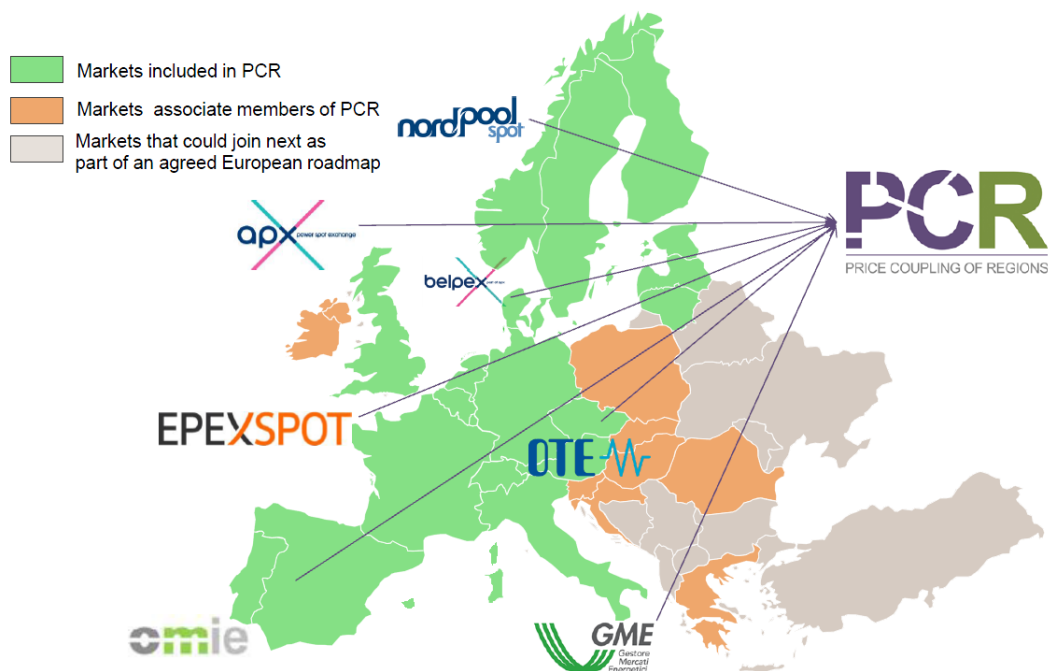
Οι τιμές ισορροπίας που διαμορφώνονται κατά την επίλυση της αγοράς επηρεάζονται από τη συμπεριφορά των παραγωγών ως προς την τιμολόγηση των προσφορών τους. Όπως προβλέπεται και από την οικονομική θεωρία, υπό καθεστώς έντονου ανταγωνισμού στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας δεν ευνοείται η τιμολόγηση των προσφορών σε υψηλές τιμές εν αντιθέσει με την περίπτωση συνθηκών ολιγοπωλίου. Η τιμολόγηση των προσφορών από τους παραγωγούς γίνεται υπό την επιδίωξη της ανάκτησης του κόστους τους το οποίο διακρίνεται σε μεταβλητό κόστος (κόστος καυσίμου, κόστος υλικών, φόροι, τυχόν κόστος εκπομπών CO₂, κόστος μέρους της εργασίας κλπ.) και σε σταθερό (κόστος συντήρησης, κόστος εξυπηρέτησης ιδίων κεφαλαίων και κεφαλαίων δανεισμού). Η τιμή των υποβληθέντων προσφορών δεν πρέπει να κυμαίνεται χαμηλότερα του μεταβλητού κόστους ακόμα και στην περίπτωση ισχυρού ανταγωνισμού, εκτός εάν το ανακτούν μέσω εσόδων εκτός της αγοράς. Όσον αφορά το σταθερό κόστος τα παραπάνω καθιστούν την ανάκτησή του ακόμα πιο αβέβαιη. Μεγαλύτερες πιθανότητες επίτευξης της ανάκτησής του έχουν μονάδες οι οποίες εντάσσονται πιο κοντά στην αρχή της σειράς φόρτισης μονάδων του ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού από αυτές που εντάσσονται προς το τέλος. Αφού η τιμή στην οποία υποβάλλονται οι προσφορές διαμορφώνεται ώστε να ανακτάται το μεταβλητό κόστος, τότε μονάδες που βρίσκονται προς την αρχή της σειράς φόρτισης έχουν κατά τεκμήριο χαμηλότερο μεταβλητό κόστος ανά παραγόμενη μονάδα ενέργειας. Συνεπώς αυτές οι μονάδες παραγωγής δύνανται να ανακτούν τα σταθερά κόστη τους κατά αναλογία προς τη διαφορά του μεταβλητού κόστους από αυτό των μονάδων που εντάσσονται τελευταίες στη σειρά φόρτισης και καθορίζουν την τιμή ισορροπίας. Σε καθεστώς ολιγοπωλίου όπου οι μονάδες δύνανται να υποβάλλουν προσφορές σε υψηλότερη τιμή από το μεταβλητό κόστος ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας θα καθίσταται εφικτό και για τις μονάδες που εντάσσονται προς το τέλος της σειράς φόρτισης να ανακτούν μέρος ή το σύνολο του σταθερού τους κόστους.

Η αδυναμία ανάκτησης του σταθερού κόστους αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για την μακροχρόνια εξέλιξη του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος και αποτρέπει πιθανές μελλοντικές επενδύσεις. Αυτό είναι εύλογο για συνθήκες κατά τις οποίες η δυναμικότητα των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας υπερεπαρκει, όμως συνήθως οι μονάδες που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα αποτελούν μονάδες που εντάσσονται στο τέλος της σειράς φόρτισης και αυξάνουν την αξιοπιστία του συστήματος. Οι μονάδες αυτές έχουν υψηλό μεταβλητό κόστος και είναι ευέλικτες παρέχοντας επικουρικές υπηρεσίες. Αυτό συνιστά μελλοντικό πρόβλημα όταν δεν δύνανται να ανακτήσουν το σταθερό τους κόστος καθώς είναι απαραίτητες από πλευράς αξιοπιστίας. Για να μπορούν λοιπόν να τα ανακτούν και να υπάρχει κίνητρο και για μελλοντικές επενδύσεις πάνω σε τέτοιες μονάδες θα πρέπει να ληφθούν

μέτρα. Ένα από αυτά είναι η ρυθμιστική παρέμβαση στην χονδρεμπορική αγορά η οποία λαμβάνει υπόψη προσφορές που αφορούν τέτοιες μονάδες και επιτρέπει την ένταξή τους στο πρόγραμμα λειτουργίας μόνο αν διαμορφώνονται τιμές αγοράς που επιτρέπουν περιθώριο ανάκτησης του σταθερού κόστους.

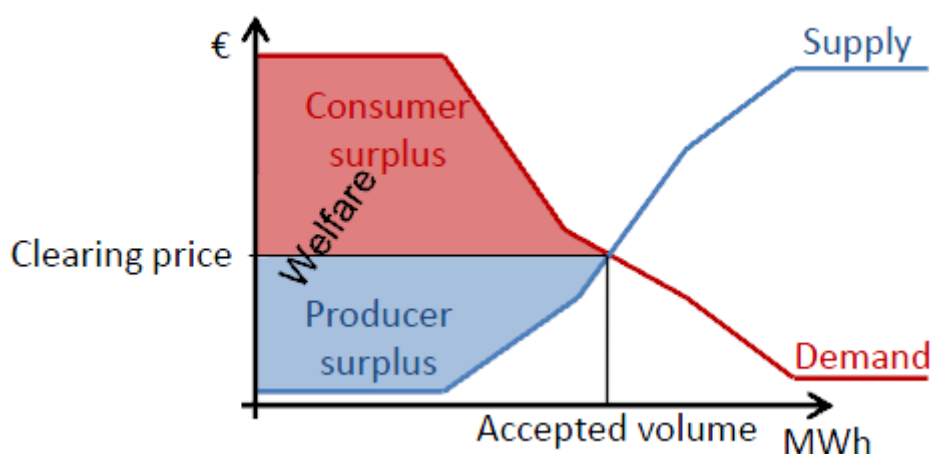
1.1.Ενοποίηση αγορών

Για να συζευχθούν επιμέρους αγορές χωρών σε μια ενιαία χρησιμοποιείται το μοντέλο ενοποίησης αγορών (market coupling) το οποίο χρησιμοποιεί το μηχανισμό εμμέσων δημοπρασιών. Σύμφωνα με αυτές η αγοραπωλησία δικαιωμάτων μεταφοράς ενέργειας διενεργείται ταυτόχρονα με την αγοραπωλησία ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα κατά την ανταλλαγή ισχύος σε δύο χώρες μεταξύ των οποίων υπάρχει επαρκής διασυνδεδετική ικανότητα, πραγματοποιούνται οι εξής μεταβολές κατά την εκκαθάριση της αγοράς. Υφίσταται πτώση της τιμής της αγοράς στη χώρα που η τιμή εκκαθάρισης είναι υψηλότερη (η χώρα αυτή εισάγει ηλεκτρική ισχύ), με ταυτόχρονη αύξηση στην τιμή της αγοράς στη χώρα που έχει χαμηλότερη τιμή εκκαθάρισης (η χώρα αυτή εξάγει ηλεκτρική ισχύ) μέχρις ότου να εξισωθούν οι τιμές. Στην περίπτωση όμως που δεν επαρκεί η διασυνδεδετική ικανότητα, τότε η αγορά με την χαμηλότερη τιμή εκκαθάρισης εξάγει στην αγορά με την υψηλότερη με αποτέλεσμα να αυξάνεται στην πρώτη και να μειώνεται στη δεύτερη αλλά ποτέ να μην εξισώνονται. Η διαφορά μεταξύ των δύο τιμών πολλαπλασιασμένη με την διαθέσιμη μεταφορική ικανότητα αποτελεί το έσοδο συμφόρησης.



Εικόνα 1: μετέχουσες αγορές στο πρόγραμμα price coupling of regions (APX, EPEX SPOT, Nordpool Spot, OMIE, OTE και Belpex)

Ο αλγόριθμος EUPHEMIA δημιουργήθηκε για να ενοποιήσει 7 αγορές ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρώπης στα πλαίσια του προγράμματος price coupling of regions (APX, EPEX SPOT, Nordpool Spot, OMIE, OTE και Belpex) και αποτελεί εξέλιξη των αλγορίθμων COSMOS, SESAM, SIOM και UPPO. Σε αυτόν ενοποιούνται υπό την επιτήρηση ενός υπέρ-λειτουργού οι επί μέρους αγορές και υπολογίζεται η φόρτιση των διασυνδεδετικών γραμμών μεταξύ των χωρών καθώς και οι τιμές εκκαθάρισης για την κάθε μια, μεγιστοποιώντας το κοινωνικό πλεόνασμα και διασφαλίζοντας διαφάνεια στους υπολογισμούς. Στην συζευγμένη αγορά οι μετέχοντες μπορούν να υποβάλλουν προσφορές παραγωγής ή ζήτησης ανεξάρτητα από την εντοπιότητά τους στα πλαίσια μιας προ ημερήσιας χονδρεμπορικής αγοράς. Ο υπέρ-λειτουργός, συγκεντρώνει τις προσφορές και τα στοιχεία για τη μεταφορική ικανότητα των διασυνδεδετικών γραμμών των χωρών που συμμετέχουν, διενεργεί εκκαθάριση της αγοράς και δημοσιεύει τις τιμές σε κάθε περιοχή υποβολής προσφορών που συμμετέχει. Στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής τις αρμοδιότητες του υπέρ-λειτουργού καλείται να αναλάβει ο αλγόριθμος ο οποίος επιλύει την αγορά με στόχο τη μεγιστοποίηση του κοινωνικού πλεονάσματος (πλεόνασμα καταναλωτή + πλεόνασμα παραγωγού + έσοδο συμφόρησης) λαμβάνοντας υπ όψει ταυτόχρονα τα τεχνικά χαρακτηριστικά των γραμμών και των μονάδων και δίνει ως εκροή τον ημερήσιο ενεργειακό προγραμματισμό της κάθε χώρας, τις ωριαίες τιμές ισορροπίας και τις φορτίσεις των διασυνδεδετικών γραμμών. Μετά την επίλυση του προ ημερήσιου προβλήματος διασύνδεσης αγορών δημοσιοποιούνται οι τιμές εκκαθάρισης και εάν υιοθετηθούν από τα χρηματιστήρια θεωρείται πως ακολουθείται το μοντέλο σύζευξης τιμών, ενώ στην περίπτωση που υιοθετηθούν μόνο οι ποσότητες ενέργειας που πραγματεύθηκαν τότε ακολουθείται το μοντέλο σύζευξης ποσοτήτων.

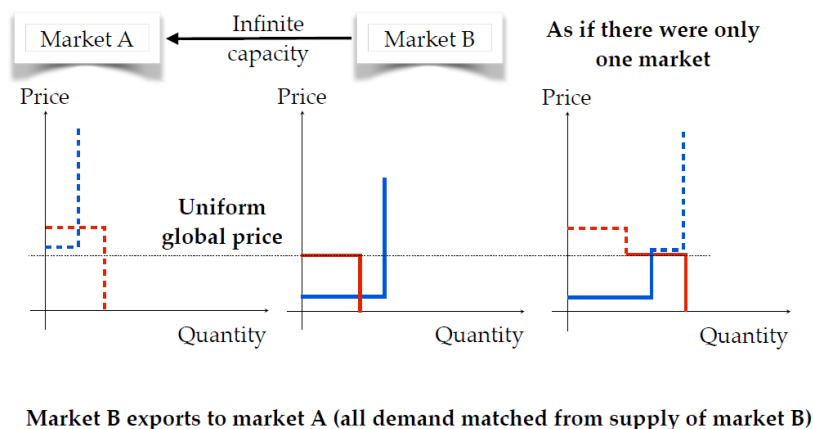


Σχήμα 1: καμπύλες προσφοράς και ζήτησης ενέργειας συναρτήσει της τιμής εκκαθάρισης και επισήμανση της ευημερίας

1.2.Διασυνδεδετικό δίκτυο ισχύος

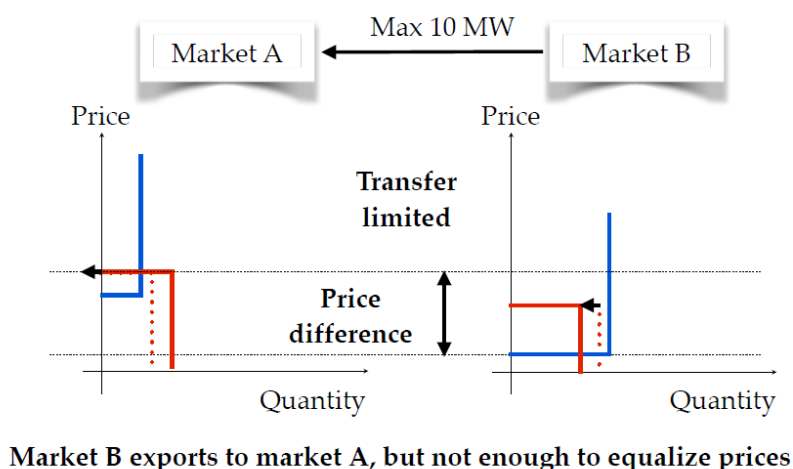
Το EURHEMIA συγκεντρώνει πληροφορίες για τα τεχνικά χαρακτηριστικά των γραμμών διασύνδεσης μεταξύ των χωρών που μετέχουν στην ενοποιημένη αγορά και τα μοντελοποιεί ως συνθήκες που θα πρέπει να τηρηθούν κατά την επίλυση. Κάθε χώρα υποβολής προσφορών ονομάζεται bidding area και ο αλγόριθμος κατά την επίλυση υπολογίζει για κάθε μια από αυτές την τιμή εκκαθάρισης, τις ροές ισχύος από και προς αυτές και τέλος την καθαρή τους θέση. Εισάγοντας ως δεδομένα τις προσφορές κατανάλωσης ή έγχυσης ισχύος στο δίκτυο καθορίζει ποιες από τις προσφορές θα γίνουν αποδεκτές ή όχι, εν συνεχεία επιλύει το πρόβλημα ροής φορτίου για το συνολικό δίκτυο σεβόμενος τις τεχνικές προδιαγραφές του και υπολογίζει τις τελικές φορτίσεις στις διασυνδέσεις μεταξύ των χωρών δίνοντας ως εκροή την καθαρή τους θέση (αν εισάγουν οι εξάγουν) και την τιμή εκκαθάρισης της ηλεκτρικής ενέργειας. Το ποσό της ροής ισχύος που δύναται να φορτίσει την εκάστοτε διασυνδεδετική γραμμή οριοθετείται από το ATC (available transfer capacity) δηλαδή την διαθέσιμη ικανότητα μεταφοράς της και έχει θετικό πρόσημο ανάλογα με την κατεύθυνση προς μια περιοχή ή αρνητικό κατά την αντίθετη (+ εισαγωγές – εξαγωγές). Αντίστοιχα πρόσημα έχουν και οι καθαρές θέσεις. Η τιμολογιακή επιβάρυνση που υφίσταται για την ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ των χωρών γίνεται όπως αναλύθηκε με τη μέθοδο των έμμεσων δημοπρασιών δηλαδή από το έσοδο συμφόρησης που αποτελεί το γινόμενο της συναλλασσόμενης ενέργειας επί τη διαφορά των τιμών που προκύπτει όταν δεν επαρκεί η διασυνδεδετική ικανότητα τους και έτσι η χώρα με το χαμηλότερο κόστος παραγωγής εξάγει προς αυτή με το υψηλότερο με αποτέλεσμα τη μεταβολή των τιμών μέχρι ένα σημείο όμως που δεν εξισώνονται. Σε ωριαία βάση υπάρχει ένα όριο αυξομείωσης της συναλλασσόμενης ενέργειας το οποίο πρέπει να τηρείται.

Two markets, no congestion



Σχήμα 2: Ανταλλαγή ενέργειας όταν επαρκεί η διασυνδεδετική ικανότητα

Two markets, congestion



Σχήμα 3: Ανταλλαγή ενέργειας όταν δεν επαρκεί η διασυνδεδετική ικανότητα

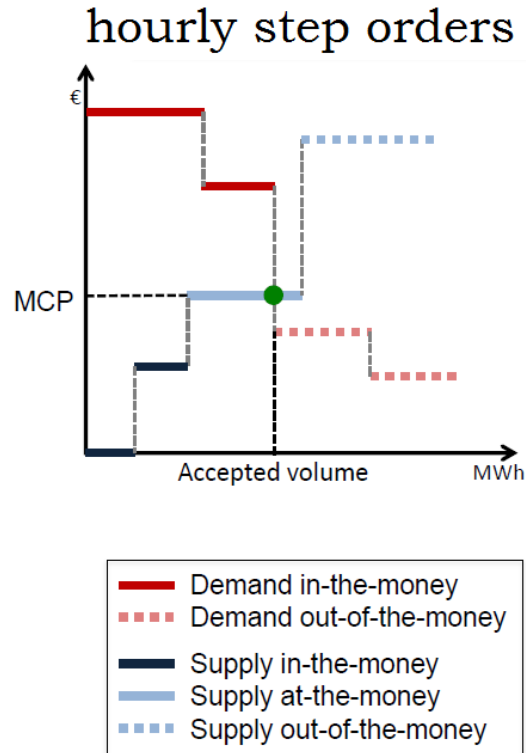
2.Ο αλγόριθμος EUPHEMIA

2.1.Είδη προσφορών

Ο αλγόριθμος EUPHEMIA παρέχει πλήθος επιλογών για τη μορφή και το είδος των προσφορών που θα υποβληθούν αφήνοντας μεγάλη ευχέρεια στους μετέχοντες της αγοράς ώστε να υποβάλλουν τις προσφορές τους κατά τρόπους που θα τους παρέχουν ευελιξία και μεγιστοποίηση των συμφερόντων τους.

2.1.1 Απλές ωριαίες προσφορές

Αποτελούν προσφορές πώλησης ή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας όπου ανάλογα με την ποσότητα της προσφοράς αντιστοιχίζεται μια τιμή στην οποία θα πωληθεί ή θα αγορασθεί και ορίζεται για κάθε ώρα μιας συγκεκριμένης περιόδου της επόμενης μέρας. Συγκεντρώνοντας όλες τις προσφορές έγχυσης ενέργειας και κατανάλωσής της, ο λειτουργός της αγοράς μπορεί ταξινομώντας τις πρώτες κατά αύξουσα σειρά και τις δεύτερες κατά φθίνουσα να δημιουργήσει τις συγκεντρωτικές καμπύλες προσφοράς και ζήτησης της αγοράς σε κάθε χώρα. Οι καμπύλες που προκύπτουν μπορούν να είναι υπό μορφή βηματικής καμπύλης όταν συμπεριλαμβάνουν δύο σημεία που τους αντιστοιχεί κοινή τιμή ή ποσότητα ενέργειας, γραμμικά τμηματικές όταν δεν συμβαίνει το παραπάνω γεγονός παρά μόνο στην αρχή της καμπύλης και τέλος υβριδικές όπου έχουν γνωρίσματα και των δύο ειδών καμπυλών.



Σχήμα 4: Καμπύλες απλής ωριαίας προσφοράς και ζήτησης σε και επισήμανση σημείων in, at και out of the money

Ο αλγόριθμος επιλέγει τις προσφορές που θα γίνουν αποδεκτές με τον εξής τρόπο:

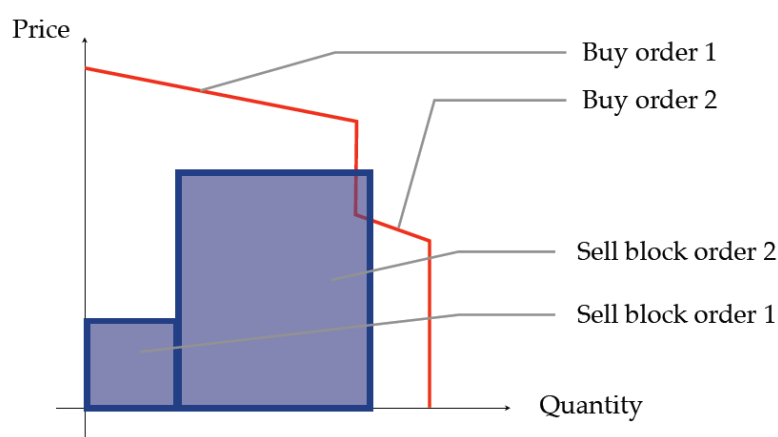
- όταν μια προσφορά έγχυσης ενέργειας έχει τιμή μικρότερη από αυτή της τιμής εκκαθάρισης στην χώρα από στην οποία υπάγεται θα χαρακτηρίζεται ως in the money και θα γίνεται αποδεκτή.
- όταν μια προσφορά έγχυσης ενέργειας έχει τιμή ίση με αυτή της τιμής εκκαθάρισης στην χώρα από στην οποία υπάγεται θα χαρακτηρίζεται ως at the money και δύναται να γίνει τόσο αποδεκτή όσο και να απορριφθεί.
- όταν μια προσφορά έγχυσης ενέργειας έχει τιμή μεγαλύτερη από αυτή της τιμής εκκαθάρισης στην χώρα από στην οποία υπάγεται θα χαρακτηρίζεται ως out of the money και θα απορρίπτεται.

Για τις προσφορές ζήτησης ισχύουν τα δυϊκώς αντίστοιχα όπου in the money είναι οι προσφορές που έχουν τιμή υψηλότερη από την τιμή της εκκαθάρισης για την αντίστοιχη χώρα και ούτω καθεξής για τις περιπτώσεις at the money και out of the money.

2.1.2.Μπλοκ προσφορών

Τα μπλοκ προσφορών αφορούν προσφορές οι οποίες είτε γίνονται εξ ολοκλήρου αποδεκτές ή όχι, είτε γίνονται αποδεκτές σε ένα ποσοστό το οποίο θα έχει μια συνθήκη ελαχίστου που θα πρέπει να τηρηθεί. Αποτελούνται από ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας το οποίο αγοράζεται ή πωλείται σε μια συγκεκριμένη τιμή, εκτείνεται σε πολλές περιόδους (ώρες) και έχει σταθερή τιμή ενώ η ποσότητα ενέργειας για κάθε περίοδο μπορεί να μεταβάλλεται.

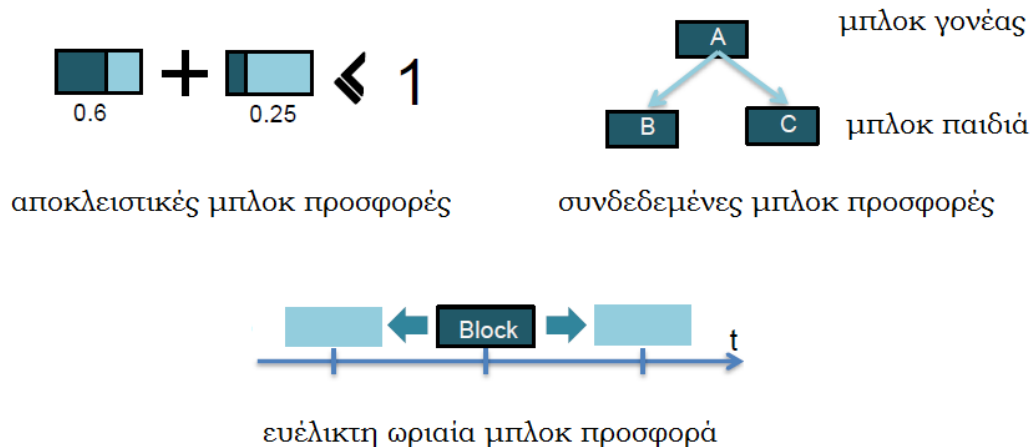
Exercise with block orders (a single time period)



Σχήμα 5: αναπαράσταση μπλοκ προσφοράς σε σχήμα με καμπύλες ζήτηση και προσφοράς

Διακρίνονται σε κανονικές μπλοκ προσφορές, με προφίλ, συνδεδεμένες αποκλειστικές, ευέλικτες και προσφορές με αρχή και τέλος. Οι κανονικές γίνονται εξ ολοκλήρου αποδεκτές ή απορριπτές, και ο αλγόριθμος τις αντιμετωπίζει με το ίδιο σύστημα αποδοχής όπως τις ωριαίες (in-at-out of the money) μόνο που αυτή τη φορά συγκρίνεται η τιμή τους με την μέση τιμή εκκαθάρισης όλων των περιόδων για τις οποίες διαρκεί η μπλοκ προσφορά. Επίσης προσφέρουν σταθερό μέγεθος ισχύος ορισμένο για σταθερό χρονικό διάστημα. Αντιθέτως στις προσφορές μπλοκ με προφίλ δύναται να μεταβάλλεται η ισχύς που προσφέρεται από τη μια χρονική στιγμή στην άλλη που εκτείνονται ως προσφορές καθώς επίσης και να έχουν ένα κατώτατο όριο αποδοχής. Οι συνδεδεμένες μπλοκ προσφορές διέπονται από συνθήκη για να γίνουν αποδεκτές κατά την οποία θα πρέπει να έχει γίνει πρωτίστως αποδεκτή η προσφορά με την οποία συνδέονται καθώς επίσης και το συνολικό τους πλεόνασμα να είναι θετικό. Αν το συνολικό πλεόνασμα πριν την αποδοχή της συνδεδεμένης προσφοράς μειώνεται με την αποδοχή της, θα πρέπει να απορριφθεί, εκτός εάν υπάρχει και άλλη προσφορά που συνδέεται με την τελευταία και με τη σύνδεσή της

έχουμε συνολικό πλεόνασμα ίσο ή μεγαλύτερο του αρχικού. Οι αποκλειστικές μπλοκ προσφορές προσομοιώνουν διαφορετικούς χρόνους εκκίνησης των μονάδων και οι ευέλικτες προσφορές είναι προσφορές μιας ώρας οι οποίες μπορούν να γίνουν αποδεκτές μια οποιαδήποτε ώρα από σε αυτές που έχουν δηλωθεί και εξυπηρετούν τον αλγόριθμο στην βελτιστοποίηση της επίλυσής του.

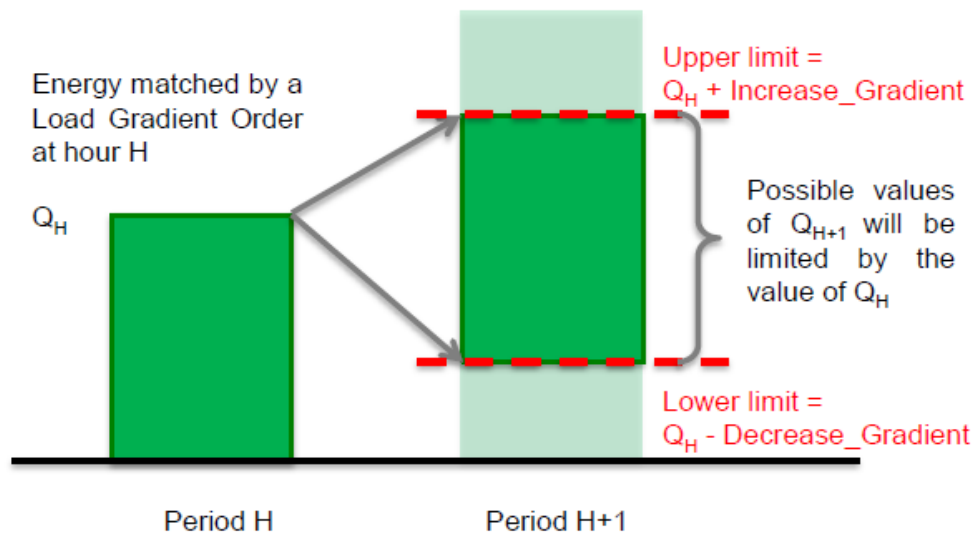


Εικόνα 2: επεξήγηση αποκλειστικών μπλοκ προσφορών, συνδεδεμένων και ευέλικτων ωριαίων προσφορών

Σε ορισμένες περιπτώσεις ο αλγόριθμος κατά την επίλυση του προσπαθώντας να ικανοποιήσει την ζήτηση ενέργειας επιτρέπει την αποδοχή μπλοκ προσφορών οι οποίες δεν έχουν θετικό πλεόνασμα. Αυτές χαρακτηρίζονται ως παραδόξως αποδεκτές μπλοκ προσφορές και πρέπει να αποσύρονται και να επιλυθεί ξανά ο αλγόριθμος με τα καινούρια δεδομένα.

2.1.3. Προσφορές κλίσης φορτίου

Οι σύνθετες προσφορές είναι όμοιες με τις απλές ωριαίες αλλά διέπονται από επιπλέον συνθήκες προς ικανοποίηση για να γίνουν αποδεκτές. Τέτοιες είναι οι συνθήκες κλίσης φορτίου και οι συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος. Οι συνθήκες κλίσης φορτίου αντιμετωπίζονται από τον αλγόριθμο σαν απλές ωριαίες προσφορές για τις οποίες θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι μεταξύ δύο διαδοχικών ωρών επίλυσης του αλγορίθμου, θα πρέπει η φόρτιση της εκάστοτε μονάδας να μη μεταβάλλεται πέραν των τεχνικών της ορίων ή ορίων που έχουν τεθεί από τους υποβάλλοντες της προσφοράς.



Εικόνα 3: προσφορά κλίσης φορτίου

2.1.4. Προσφορές ελαχίστου εισοδήματος MIC

Οι προσφορές ελαχίστου εισοδήματος αντιμετωπίζονται και αυτές από τον αλγόριθμο σαν απλές ωριαίες προσφορές αλλά για να γίνουν αποδεκτές πρέπει να διασφαλίζεται ότι θα ανακτηθούν τόσο τα μεταβλητά κόστη τους όσο και τα σταθερά, τα οποία μπορεί να αντικατοπτρίζουν το κόστος ανέγερσης της μονάδας από την οποία γίνεται η προσφορά, ή το κόστος ανοίγματος – κλεισίματος της μονάδας. Η μαθηματική συνθήκη που τις διέπει είναι:

$$Tf + Tv * (\sum_h \sum_{o \in h} [Q_o * X_o]) \leq \sum_h (MCP_h * (\sum_{o \in h} [Q_o * X_o]))$$

όπου Tf είναι τα σταθερά κόστη που πρέπει να ανακτηθούν, Tv είναι το οριακό κόστος στο οποίο προσδιορίζεται η τιμή προσφοράς έγχυσης, Q_o η ποσότητα ισχύος, X_o το ποσοστό της αποδοχής της και MCP_h η τιμή εκκαθάρισης της αγοράς (Market clearing price) για τη χώρα στην οποία υπάγεται η προσφορά. Μέσω των προσφορών ελαχίστου εισοδήματος (MIC) μπορούν οι μετέχοντες στην αγορά να ελέγξουν αν κατά τη συμμετοχή τους στο πρόγραμμα ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού θα μπορούν να ανακτήσουν τα μεταβλητά και σταθερά κόστη τους και πιθανοί επενδυτές που θα θέλουν να κινηθούν προς ανέγερση νέων μονάδων αν θα μπορέσουν να ανακτήσουν τα κόστη επένδυσης και να αποκτήσουν κίνητρο στο να

επενδύσουν σε αυτές. Κατά αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει μια μείωση του επιχειρηματικού ρίσκου των παραγωγών οι οποίοι θα θέλουν να αποζημιώσουν το κόστος της επένδυσής τους. Οι προσφορές ελαχίστου εισοδήματος αφορούν μονάδες υψηλού μεταβλητού κόστους που εντάσσονται τελευταίες στη σειρά φόρτισης των μονάδων και καθορίζουν την οριακή τιμή συστήματος μιας χώρας για λίγες μόνο ώρες σε υψηλές τιμές. Πρόκειται για μονάδες που ως καύσιμο έχουν κυρίως φυσικό αέριο ή είναι μονάδες συνδυασμένου κύκλου.

Στο σημείο αυτό διευκρινίζεται ότι στην παρούσα διπλωματική δόθηκε έμφαση στη μελέτη των προσφορών ελαχίστου εισοδήματος (MIC) και έτσι δεν χρησιμοποιήθηκαν οι μπλοκ προσφορές αλλά μόνο ωριαίες βηματικές προσφορές. Ο αλγόριθμος EUPHEMIA υλοποιήθηκε με τη δημιουργία γραμμικού μοντέλου μαθηματικού προγραμματισμού γεγονός που αποτελούσε εμπόδιο στο να μπορούν να ενσωματωθούν οι προσφορές ελαχίστου εισοδήματος στην επίλυσή του και έτσι αναζητήθηκαν τρόποι προσέγγισής τους. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι για να εκκαθαριστούν οι προσφορές ελαχίστου εισοδήματος χρειάζεται η γνώση της τιμής εκκαθάρισης δηλαδή μιας δυικής μεταβλητής του αρχικού προβλήματος, πράγμα που θα οδηγούσε σε διαφορετική μοντελοποίηση από την απλά γραμμική με τρόπο που θα μπορούν να συνυπάρχουν αρχικές και δυικές μεταβλητές (π.χ. mixed complementarity problem). Το μοντέλο δόθηκε έτοιμο από το εργαστήριο e3mlab (Εργαστήριο Υποδειγμάτων Ενέργειας - Οικονομίας - Περιβάλλοντος) που δραστηριοποιείται στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, υπό τον κ. Παντελή Κάπρο ενώ έγιναν τροποποιήσεις για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο έγιναν προσθήκες ώστε να μπορέσουν να ενσωματωθούν οι προσφορές ελαχίστου εισοδήματος και η ενοποίηση δεν έγινε για όλες τις χώρες της Ευρώπης αλλά για τις χώρες των Βαλκανίων: Ελλάδα, FYROM, Βουλγαρία και Ιταλία.

2.2.Κόστη μονάδων φυσικού αερίου και μονάδων συνδυασμένου κύκλου

Τα τρέχοντα αλλά και τα προβλεπόμενα μελλοντικά κόστη και οι χαρακτηριστικές απόδοσης των νέων ηλεκτροπαραγωγών μονάδων είναι καθοριστικής σημασίας στην ανάλυση και στην ανάπτυξη των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος κατασκευής μιας μονάδας και τα μεταβλητά κόστη (κόστος καυσίμου, κόστος υλικών, φόροι, τυχόν κόστος εκπομπών CO₂, κόστος μέρους της εργασίας κλπ.) παίζουν σημαντικό ρόλο στο μείγμα εγκατεστημένης ισχύος που υπάρχει ή που πρόκειται να προστεθεί στο υπάρχον για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες για τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μονάδες που εντάσσονται στο τέλος της σειράς φόρτισης μονάδων του ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού και λειτουργούν κυρίως κατά τη ζώνη αιχμής της ζήτησης είναι συνήθως μονάδες φυσικού αερίου αλλά και μονάδες συνδυασμένου κύκλου. Οι ώρες που μετέχουν στο πρόγραμμα λειτουργίας

είναι περιορισμένες και έτσι για να ανακτούν τα κόστη τους θα πρέπει η ισχύς που παράγουν να τιμολογείται σε όσο το δυνατόν υψηλότερη τιμή. Πέραν του μεταβλητού και του σταθερού τους κόστους πρέπει να δύνανται να πληρώνουν και το κόστος του να τεθούν εντός και εκτός λειτουργίας αφού συμμετέχουν λίγες ώρες στο πρόγραμμα λειτουργίας των μονάδων. Μέσω των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος ο αλγόριθμος θα διασφαλίζει ότι οι προσφορές από αυτές τις μονάδες θα γίνονται δεκτές μόνο όταν καθίστανται συμφέρουσες.

3.Επενδυτικά σχέδια και κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων

3.1.Επενδύσεις και επενδυτικά σχέδια

Με τον όρο επένδυση αναφερόμαστε στη δέσμευση κεφαλαίων για κάποιο χρονικό διάστημα με στόχο την αποκόμιση προσθέτων κεφαλαίων στον επενδυτή. Σε ενεργειακό επίπεδο η ολοκλήρωση ενός επενδυτικού σχεδίου υφίσταται με την έναρξη λειτουργίας μιας νέας μονάδας ή επέκτασης μιας παλαιότερης. Τα κεφάλαια που δεσμεύονται για την επένδυση ονομάζονται δαπάνες κεφαλαίου ενώ το κόστος λειτουργίας των μονάδων ονομάζεται λειτουργικό κόστος ή δαπάνη εκμετάλλευσης. Τα επενδυτικά σχέδια αναφέρονται σε έναν προγραμματισμό αριθμού επενδύσεων που θα γίνει σε βάθος μεσοπρόθεσμου ή μακροπρόθεσμου χρόνου και διακρίνονται ανάλογα με το μέγεθος (μικρά και μεγάλα σχέδια), τον χαρακτήρα της ωφέλειας που δημιουργούν (αύξηση εσόδων, μείωση κόστους, έμμεσες ωφέλειες) αλλά και το βαθμό της οικονομικής τους εξάρτησης (το να επιλεγεί ένα σχέδιο αποκλείει την επιλογή άλλου, την καθιστά υποχρεωτική ή είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους). Κάθε επένδυση χαρακτηρίζεται από τα εξής στοιχεία.

A) τη διάρκεια ζωής της

B) τις χρηματοροές προς την κατασκευή και τη λειτουργία της επένδυσης

Γ) τη ροή των ωφελειών μέσω της εκμετάλλευσης της επένδυσης

Δ) την ημερομηνία κατασκευής της

Η διάρκεια ζωής της επένδυσης δεν αποτελεί μόνο τον χρονικό ορίζοντα για τον οποίο θα είναι εκμεταλλεύσιμη η επένδυση αλλά και το χρονικό διάστημα στο οποίο παλαιώνει η τεχνολογία υπό την οποία λειτουργεί και προσφέρει αγαθά. Οι επενδύσεις εξαρτώνται τόσο από τη φυσική φθορά όσο και από τα τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά μιας μεταγενέστερης επένδυσης και από τις προτιμήσεις των καταναλωτών. Σε μια επένδυση πέραν των κεφαλαίων που δεσμεύονται για την κατασκευή της έχουμε χρηματοροές προς τα λειτουργικά της έξοδα, τους μισθούς, τις πρώτες ύλες και τη συντήρηση. Μέσω λοιπόν της εκμετάλλευσής της αποκομίζονται έσοδα και ωφέλειες από την παροχή υπηρεσιών τα οποία εκφράζονται σε χρηματικές

μονάδες. Παρόλα αυτά κάποιες φορές υπάρχουν ωφέλειες που δεν αποτιμούνται σε κάποια μονάδα μέτρησης παρόλα αυτά υφίστανται και είναι σημαντικές, όπως ωφέλειες στο εξωτερικό περιβάλλον μιας επιχείρησης ή και επιβλαβείς επιδράσεις προς αυτό. Για μια σωστή αξιολόγηση θα πρέπει όλες να λαμβάνονται υπ όψει.

3.2.Αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων

Για την αξιολόγηση των επενδύσεων χρησιμοποιούνται τόσο ορθολογικά όσο και ατελή κριτήρια. Στα ορθολογικά κριτήρια υπάγονται αυτά της Καθαρής Παρούσας Αξίας, του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης, του Οφέλους – Κόστους (cost –benefit ratio) και της Παρούσας αξίας συνολικού κόστους και ισοδυνάμου ετησίου. Στα ατελή είναι η περίοδος επανάκτησης του κόστους επένδυσης και η μέση ετήσια απόδοση της επένδυσης.

3.2.1.Κριτήριο παρούσας αξίας

Αυτό ορίζεται από τον τύπο:

$$ΚΠΑ = -K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1+k)^t}$$

Όπου:

K_0 είναι το κόστος της επένδυσης

KTP_t οι καθαρές ταμειακές ροές του έτους t

t το εκάστοτε έτος της διάρκειας ζωής της επένδυσης

k η ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται

n η διάρκεια ζωής της επένδυσης.

Για να προκριθεί μια επένδυση θα πρέπει η τιμή της ΚΠΑ να προκύπτει θετική. Στην περίπτωση αρνητικής ΚΠΑ έχουμε απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου ενώ στην περίπτωση ισότητας με το μηδέν έχουμε αδιαφορία προς το αν θα υλοποιηθεί ή όχι. Σε περίπτωση δύο σχεδίων που αποκλείονται αμοιβαία, τότε δεδομένου ότι έχουν ίδια διάρκεια ζωής επιλέγεται αυτό με τη μεγαλύτερη ΚΠΑ ενώ σε περίπτωση διαφορετικής διάρκειας ζωής τα ανάγουμε στον ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο χρόνο ζωής και συγκρίνουμε τις ΚΠΑ από τις δυνατές επενδύσεις που μπορούν να γίνουν σε αυτό το χρονικό διάστημα. Σε περίπτωση ανεξάρτητων μεταξύ τους επενδύσεων

επιλέγουμε τις επενδύσεις που θα μας δώσουν τη μεγαλύτερη δυνατή ΚΠΑ δεδομένου ότι είναι μη αρνητική.

3.2.2.Κριτήριο εσωτερικού βαθμού απόδοσης της επένδυσης

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το επιτόκιο αναγωγής που μηδενίζει την παρούσα αξία της επένδυσης. Υπολογίζεται δηλαδή από τον τύπο:

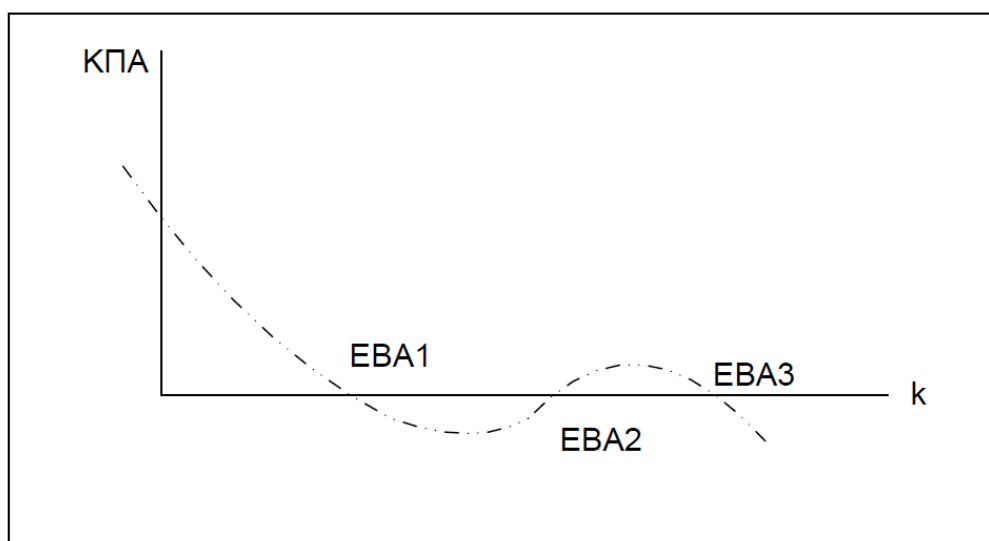
$$-K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1 + EBA)^t} = 0$$

Ένας εναλλακτικός τρόπος προσέγγισης του είναι η επαναληπτική επίλυση του τύπου

$$K_v = K_{v-1} - K_{v-1} * \frac{K_{v-2} - K_{v-1}}{ΚΠΑ_{v-2} - ΚΠΑ_{v-1}}$$

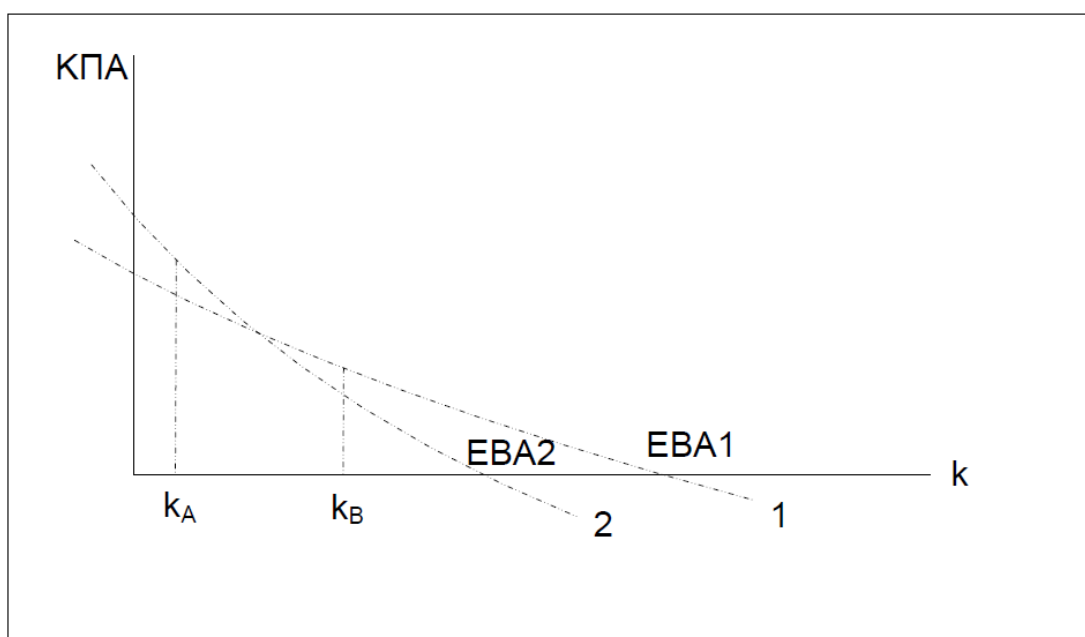
με δυο τυχαία επιτόκια αναγωγής μέχρι να προσεγγιστεί κατά το επιθυμητό δεκαδικό ψηφίο ο EBA.

Το κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης βασίζεται στο γεγονός ότι η συνάρτηση ΚΠΑ – επιτοκίου αναγωγής είναι γνησίως φθίνουσα και έτσι μηδενίζεται για μια μόνο τιμή επιτοκίου αναγωγής. Στην περίπτωση που η ελάχιστη απόδοση είναι μικρότερη του EBA έχουμε επιλογή του επενδυτικού σχεδίου, εάν είναι ίση έχουμε αδιαφορία του επενδυτή και στην περίπτωση μεγαλύτερου ελάχιστης απόδοσης από τον EBA τότε έχουμε απόρριψη. Παρόλα αυτά εάν έχουμε και αρνητικές καθαρές ταμειακές ροές μπορούμε να καταλήξουμε σε πολλούς εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης. Τότε εξετάζουμε το κριτήριο της παρούσας αξίας καθώς η μονόπλευρη εξέταση του EBA θα οδηγούσε σε εσφαλμένα συμπεράσματα.



Σχήμα 6: διάγραμμα συσχέτισης ΚΠΑ με EBA όταν υπάρχουν και αρνητικές KTP

Σε περίπτωση δύο αμοιβαία αποκλειόμενων επενδυτικών σχεδίων με εξέταση του ΕΒΑ αποδεχόμαστε το σχέδιο με το μεγαλύτερο εσωτερικό βαθμό απόδοσης. Παρόλα αυτά ενδέχεται κάποιες φορές το σχέδιο με μικρότερο ΕΒΑ να έχει μεγαλύτερη παρούσα αξία. Τότε προτεραιότητα έχει το κριτήριο της παρούσας αξίας καθώς υπερτερεί του κριτηρίου ΕΒΑ. Στην περίπτωση μη αμοιβαία αποκλειόμενων επενδυτικών σχεδίων τότε επιλέγονται τα σχέδια με μεγαλύτερο ΕΒΑ μέχρι να χρησιμοποιηθεί όλο ο μέγεθος του διαθέσιμου κεφαλαίου.



Σχήμα 7: διάγραμμα δύο επενδυτικών σχεδίων με μεγαλύτερο $EBA1 > EBA2$ αλλά $KΠΑ1 < KΠΑ2$ και έτσι προτίμηση του σχεδίου 2

3.2.3. Κριτήριο οφέλους – κόστους

Το κριτήριο αυτό δεν είναι παρά μια παραλλαγή του κριτηρίου παρούσας αξίας αλλά έχοντας διαιρέσει με το κόστος της επένδυσης:

$$\frac{+ \sum_{t=1}^n \frac{KTPt}{(1+k)^t}}{K_0} > 1$$

Όσο μεγαλύτερο είναι το κλάσμα από τη μονάδα τόσο πιο αποδοτική είναι μια επένδυση και προτιμητέα κατά την αξιοποίηση επενδυτικού κεφαλαίου.

3.2.4 Ατελή κριτήρια

Σε αυτά περιλαμβάνονται το κριτήριο της περιόδου επανάκτησης του κόστους επένδυσης και το κριτήριο της μέσης ετήσιας απόδοσης της επένδυσης. Στο πρώτο ως περίοδο επανάκτησης ορίζουμε την περίοδο μέσα στην οποία ανακτάται το κόστος επένδυσης (Κο) από τις καθαρές ταμειακές ροές (ΚΤΡ). Εάν αυτή η περίοδος είναι εντός ορισμένων πλαισίων τότε η επένδυση προκρίνεται. Επίσης εάν στις ΚΤΡ χρησιμοποιηθεί η παρούσα αξία τους τότε το κριτήριο συμπεριλαμβάνεται πλέον στην κατηγορία των ορθολογικών. Το κριτήριο της μέσης ετήσιας απόδοσης της επένδυσης αφορά το μέσο όρο των λόγων των αντιστοιχών ετησίων ΚΤΡ προς το κόστος επένδυσης, ο οποίος επίσης εάν είναι πάνω από ένα επίπεδο τότε προκρίνεται.

4.Γραμμικός προγραμματισμός

Ο γραμμικός προγραμματισμός αποτελεί ένα πολύ δημοφιλές μοντέλο μαθηματικού προγραμματισμού στο χώρο της επιχειρησιακής έρευνας και της διοικητικής επιστήμης. Η μεγάλη του επιτυχία έγκειται στην επίλυσή του μέσω του αλγορίθμου simplex ο οποίος διακρίνεται για την αποτελεσματικότητα και την ευρύτατη εφαρμογή του.

4.1.Βασικές έννοιες γραμμικού προγραμματισμού

Το κάθε πρόβλημα απόφασης που καλείται να επιλύσει ο γραμμικός προγραμματισμός ανάγεται σε γραμμικές εξισώσεις που αποτελούνται από n άγνωστες μεταβλητές απόφασης. Αυτές υπόκεινται σε περιορισμούς και συνδυάζονται σε μια αντικειμενική συνάρτηση η οποία αποτελεί τον στόχο προς επίτευξη και καλείται να βελτιστοποιηθεί. Ως πεδίο τιμών έχουμε το σύνολο των πραγματικών αριθμών και πεδίο ορισμού το n -διάστατο χώρο των πραγματικών αριθμών. Οι εξισώσεις – ανισώσεις που πρέπει να ικανοποιεί το διάνυσμα x των μεταβλητών απόφασης αποτελούν τους περιορισμούς στους οποίους πρέπει να κινηθούν οι τιμές του διανύσματος και δεν πρέπει να παραβιάζονται. Αποτελούν είτε εξισώσεις ισότητας είτε ανισότητας. Μια γενική μαθηματική γραφή του μοντέλου είναι η:

Min

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_lx_l$$

Subjected to

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1l}x_l (\leq) b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2l}x_l (\leq) b_2$$

.

.

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{ml}x_l (\leq) b_m$$

$$x_1 (\geq) 0, x_2 (\geq) 0, \dots, x_l (\geq) 0$$

$$i = 1, 2 \dots m, j = 1, 2 \dots l$$

όπου a_{ij}, b_i, c_j πραγματικοί συντελεστές

ενώ σε διανυσματική μορφή έχουμε:

Min

$$Z = C \cdot X$$

Subjected to

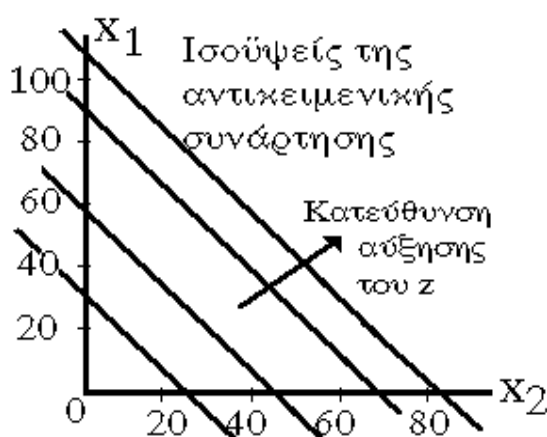
$$A \cdot X (\leq) B$$

$$X (\geq) 0$$

$$\text{όπου } A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1l} \\ a_{21} & \dots & \dots & a_{2l} \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & \dots & a_{ml} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_l \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_l \end{bmatrix}$$

4.2.Χώροι των εφικτών λύσεων

Μια γραφική αναπαράσταση του μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού γίνεται με άξονες συντεταγμένων τις μεταβλητές απόφασης. Σε αυτές αναπαριστάται ο χώρος των εφικτών λύσεων ο οποίος έχει τόσες διαστάσεις όσες είναι και οι μεταβλητές απόφασης. Ο κάθε περιορισμός προσδιορίζει έναν ημιχώρο στον οποίο μπορούν να βρεθούν οι πιθανές λύσεις και η τομή όλων αυτών αποτελεί τον χώρο των εφικτών λύσεων. Για κάθε μια τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης Z δημιουργείται μια ισοϋψής καμπύλη όπου κινούμενες οι μεταβλητές απόφασης αποδίδουν την ίδια τιμή αντικειμενικής συνάρτησης. Μεταβάλλοντας τις τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης έχουμε οικογένειες ισοϋψών καμπυλών της αντικειμενικής συνάρτησης και όντας αυτή γραμμική το διάνυσμα των παραγώγων τους θα υποδεικνύει προς ποια κατεύθυνση αυξάνεται η αντικειμενική συνάρτηση.

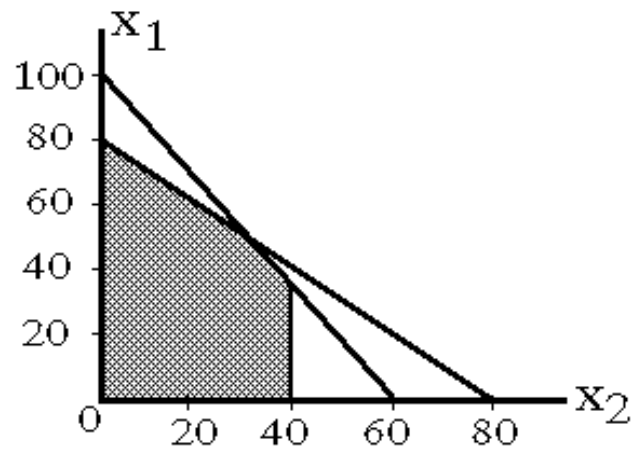


Σχήμα 8: ισοϋψείς καμπύλες της αντικειμενικής συνάρτησης και κατεύθυνση αύξησης του Z

Ισχύουν οι εξής θεμελιώδεις προτάσεις για το γραμμικό προγραμματισμό:

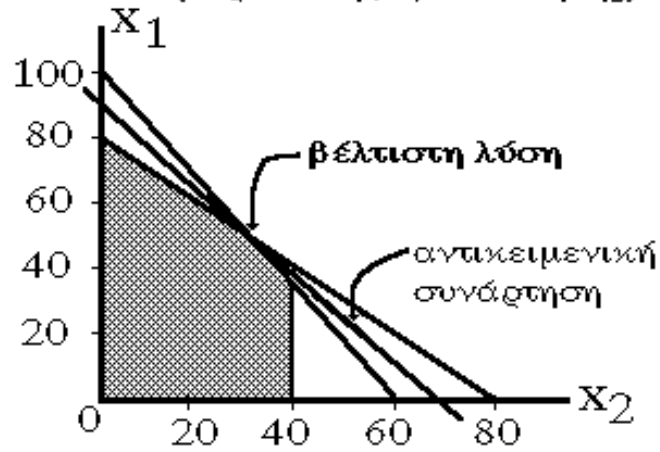
- Το σύνολο των εφικτών λύσεων ενός προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού είναι ένας κυρτός χώρος.
- Στην περίπτωση που η επίλυση του προβλήματος επιδέχεται μία μοναδική λύση τότε αυτή θα βρίσκεται σε σημείο ακρότατο του χώρου εφικτών λύσεων
- Εάν το πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού έχει πολλές λύσεις τότε θα έχει άπειρες λύσεις.

Ο χώρος των εφικτών λύσεων



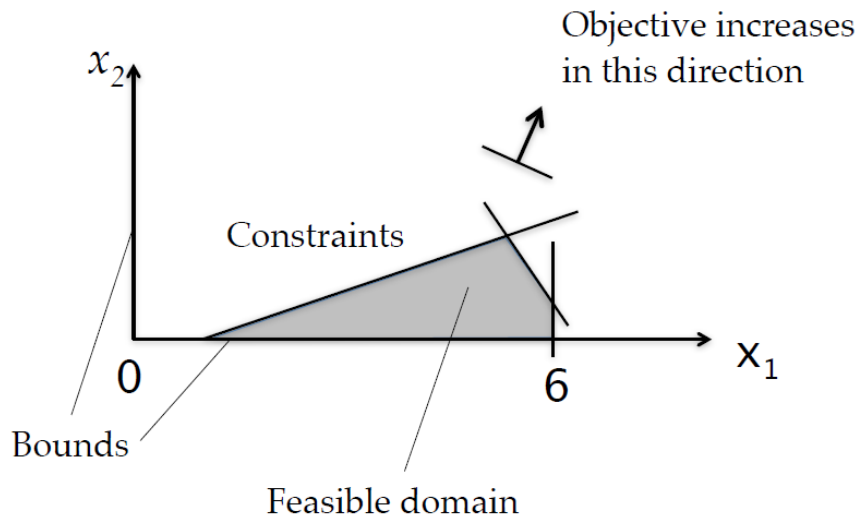
Σχήμα 9: χώρος των εφικτών λύσεων του προβλήματος

Γραφική επίλυση του ΓΠ (περίπτωση μεγιστοποίησης)



Σχήμα 10: γραφική επίλυση του προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού και εύρεση βέλτιστης λύσης

Graphical representation of a Linear Program



Σχήμα 11: γραφική επίλυση του προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού και εύρεση βέλτιστης λύσης με επισήμανση των ορίων των περιορισμών, των εφικτών λύσεων και την κατεύθυνση αύξησης της αντικειμενικής συνάρτησης

4.3.GAMS

Η επίλυση μοντέλων γραμμικού προγραμματισμού έχει γίνει όπως προαναφέρθηκε πολύ απλή μέσω της μεθόδου simplex. Με τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών δύνανται να επιλύονται σε πολύ γρήγορους χρόνους και για μεγάλο όγκο δεδομένων. Ένα πολύ διαδεδομένο λογισμικό επίλυσης μαθηματικών μοντέλων είναι το GAMS. Το GAMS (general algebraic modeling system) δηλαδή το σύστημα γενικών αλγεβρικών μοντέλων αποτελεί λογισμικό υψηλού επιπέδου το οποίο είναι σχεδιασμένο για να μοντελοποιεί γραμμικά, μη γραμμικά και μεικτού ακεραίου προγραμματισμού προβλήματα βελτιστοποίησης. Είναι πολύ χρήσιμο για μεγάλα και περίπλοκα προβλήματα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε απλούς υπολογιστές καθημερινής χρήσης όσο και σε περιβάλλον εργασίας με μεγάλα υπολογιστικά συστήματα. Η γλώσσα που χρησιμοποιείται μοιάζει στη μορφή της στις κοινές γλώσσες προγραμματισμού οπότε καθίσταται εύκολη στη χρήση και ο χρήστης μπορεί να επικεντρωθεί στη μοντελοποίηση καθώς κατά τη χρήση της δεν προκύπτουν προβλήματα καθαρού τεχνικού περιεχομένου. Η GAMS δίνει έμφαση στην επίλυση του μοντέλου και στην ανάλυση των αποτελεσμάτων. Στο μοντέλο που επιλύθηκε χρησιμοποιήθηκε η έκδοση GAMS 24.7.1 ενώ ο solver του Μοντέλου ήταν ο xpress 28.01

5.Το μαθηματικό μοντέλο EUPHEMIA

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκε ο αλγόριθμος EUPHEMIA και ο τρόπος με τον οποίο συγκεντρώνει τις προ-ημερήσιες προσφορές πώλησης και αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και καθορίζει ποιες θα γίνουν αποδεκτές με σκοπό το μέγιστο κοινωνικό πλεόνασμα. Ο αλγόριθμος αυτός προσομοιώθηκε σε μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού το οποίο καθορίζει την αποδοχή ή όχι των προσφορών, τις τιμές εκκαθάρισης της εκάστοτε περιοχής, τις καθαρές θέσεις τους αλλά και τις μεταξύ τους διασυννοριακές ροές ισχύος. Στο μοντέλο εξετάστηκαν οι χώρες της Ελλάδας, της FYROM, της Ιταλίας και της Βουλγαρίας. Παρακάτω θα περιγραφεί η μαθηματική διατύπωση του μοντέλου.

Η αντικειμενική συνάρτηση που ορίστηκε για να βελτιστοποιηθεί αφορά το κόστος παραγωγής των μονάδων των συμμετεχόντων χωρών στις προσφορές έγχυσης ηλεκτρικής ισχύος το οποίο καλείται να ελαχιστοποιηθεί ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να ικανοποιείται η ζήτηση ενέργειας σε κάθε χώρα και υπό πληθώρα περιοριστικών συνθηκών που θα αναλυθούν.

5.1.Σετ

iterations: αριθμός επαναλήψεων επίλυσης μαθηματικού μοντέλου (1 – 15)

k: γραμμές διασύνδεσης μεταξύ των χωρών

kk_k: γραμμές διασύνδεσης μεταξύ των χωρών (aliased with k)

int: περιορισμοί πολλαπλών διασυνδέσεων μεταξύ δύο χωρών

tr: χρονιές μελέτης μοντέλου (δημιουργίας ή λειτουργίας μονάδων)

tt_{tr}: χρονιές μελέτης μοντέλου (δημιουργίας ή λειτουργίας μονάδων aliased with

tr)

yr_{tr}: χρονιές τρεξίματος του μοντέλου (aliased with tr)

n: κόμβοι μονάδων παραγωγής ενέργειας προς χρήση του μοντέλου

p_{type}: κατηγορίες μονάδων παραγωγής ενέργειας

n_{rep}: κόμβοι κατηγοριών μονάδων παραγωγής ενέργειας ωρών αιχμής

n_{rep}m_{ap}_{n_{rep},n}: mapping κόμβων κατηγοριών μονάδων παραγωγής ενέργειας ωρών αιχμής με τις μονάδες

s_{type}: κατηγορίες μονάδων παραγωγής ενέργειας

hr: όλες οι εν δυνάμει ώρες τρεξίματος του EUPHEMIA (1-168)

hr_{hr}: ώρες τρεξίματος του EUPHEMIA (aliased with hr 24 από τις 168)

fhr_{hr}: ώρες τρεξίματος του EUPHEMIA (aliased with hr 24 από τις 168)

offers: σεντ αριθμού προσφορών που διαχειρίζεται το EUPHEMIA

st: βήματα ωριαίων προσφορών (1-10)

ptypes_{ptype}: κατηγορίες μονάδων τεχνολογίας ανανεώσιμης ενέργειας

mapres_n: mapping κόμβων μονάδων παραγωγής ενέργειας προς χρήση με μονάδες τεχνολογίας ανανεώσιμης ενέργειας

auton_n: βιομηχανίες αυτοπαραγωγών

map_hon_hdh_n: mapping κόμβων μονάδων παραγωγής ενέργειας προς χρήση με μονάδες τηλεθέρμανσης

fpl_{iall,n,tr,tr}: mapping των μονάδων που χρησιμοποιούνται στην εκάστοτε επίλυση

linesintoba_{k,tr}: mapping των διασυνοριακών γραμμών των εκάστοτε προς μελέτη περιοχών

ntcintoba_{int,tr}: περιορισμοί πολλαπλών συνδέσεων των εκάστοτε προς μελέτη περιοχών

max_hr_pl_{iall,n,tr,tr}: mapping μονάδων με περιορισμό μέγιστου χρόνου λειτουργίας που χρησιμοποιούνται στην εκάστοτε επίλυση

nomi_{iall,n,tr,tr}: mapping μονάδων των οποίων η προσφορά έγχυσης ισχύος είναι αναγορευμένη και έτσι γίνεται δεκτή υπό μορφή υποχρεωτικής έγχυσης

mapstype_{n,stype}: mapping κόμβων μονάδων παραγωγής ενέργειας προς χρήση με μονάδες που υπόκεινται στην κατηγορία stype

reg: δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας που αποτελούνται από πολλές χώρες

iall: οι χώρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο

idata_{iall}: οι χώρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο (aliased with iall)

ba_{iall}: οι χώρες που συμμετέχουν στην υποβολή προσφορών (aliased with iall) Στην περίπτωσή μας είναι η Ελλάδα (LGR), η Ιταλία (LIT), η FYROM (LFY), και η Βουλγαρία (LBG)

nonba_{iall}: οι χώρες που δεν συμμετέχουν στην υποβολή προσφορών (aliased with iall)

kact_{k,tr}: γραμμές διασύνδεσης που υπάρχουν για το εκάστοτε έτος

$kactAC_{k,tr}$: γραμμές διασύνδεσης AC που υπάρχουν για το εκάστοτε έτος

$irr_{i,all,tr}$: οι χώρες που συμπεριλαμβάνονται στο πρόβλημα ροής φορτίου

5.2.Παράμετροι

$mapntc_{int,i,all,i,all}$: mapping αντιστοίχισης δύο χωρών με περιορισμούς πολλαπλών συνδέσεων μεταξύ τους

$dm_{i,all,hr,tr}$: ωριαία ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά χώρα υποβολής προσφορών (σε Gwh)

$Qic_{i,all,ptypes,hr,tr}$: ωριαία προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες τεχνολογίας ανανεώσιμης ενέργειας ανά χώρα υποβολής προσφορών (σε GWh)

$net_T_{i,all,k,tr}$: mapping αντιστοίχισης όλων των γραμμών διασύνδεσης μιας χώρας με την χώρα αυτή

$Q_{i,offers,i,all,n,tr,hr,st}$: ωριαία βηματική προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας ανά αριθμό προσφοράς, κατηγορία καυσίμου μονάδας και χώρα υποβολής προσφοράς (σε GWh)

$P_{i,offers,i,all,n,tr,hr,st}$: ωριαία τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά βήμα, αριθμό προσφοράς, κατηγορία καυσίμου μονάδας και χώρα υποβολής προσφοράς (σε ευρώ ανά Kwh)

$P_{ibeforemic}_{i,offers,i,all,n,tr,hr,st}$: ωριαία τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά βήμα, αριθμό προσφοράς, κατηγορία καυσίμου μονάδας και χώρα υποβολής προσφοράς μετά την εισαγωγή των περιοριστικών συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος MIC (σε ευρώ ανά KWh)

nh_hr : συχνότητα εμφάνισης μιας ώρας ζήτησης της εβδομάδας μέσα στο διάστημα ενός έτους

$yel_exog_{i,all,hr,tr}$: εξωγενής καθαρές εισαγωγές ανά ώρα του τρέχοντος έτους από το μοντέλο primes του εργαστηρίου (σε GWh)

$gen_primes_{ba,n,tt,tr,hr}$: εξωγενής ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα του τρέχοντος έτους από το μοντέλο primes του εργαστηρίου (σε GWh)

$map_{offers,i,all,n,tr}$: mapping των μονάδων που χρησιμοποιούνται στην εκάστοτε επίλυση με τις προσφορές τους

$bem_{i,all,hr,tr}$: ωριαία τιμή εκκαθάρισης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανά χώρα (σκιώδης τιμής της εξίσωσης ενεργειακού ισοζυγίου σε ευρώ ανά KWh)

$micfact_n$: συντελεστής που υποδηλώνει τις ώρες συμμετοχής στον ημερήσιο ενεργειακό προγραμματισμό μιας μονάδα που υπάγεται στις συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος

$mapmic_n$: mapping αντιστοίχισης μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος (MIC)

$costmic_n$: κόστος ενεργοποίησης μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που υπάγονται σε κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος (MIC)

$clmic_{offers,ba,n,tt,tr,rhr,st}$: συντελεστής ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που υπάγεται στην κατηγορία MIC

$cltf_{n,tt,tr,rhr,st}$: συντελεστής ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης του κόστους εκκίνησης μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που υπάγεται στην κατηγορία MIC

$welfare_michon_{n,tt,tr}$: πλεόνασμα μονάδων που υποβάλλουν προσφορές ελαχίστου εισοδήματος

$bilateralExport_{i,all,hr,tr}$: προσυμφωνημένες εξαγωγές μέσω διμερών συμβολαίων μεταξύ δύο χωρών (σε GWh)

$bilateralImport_{i,all,hr,tr}$: προσυμφωνημένες εισαγωγές μέσω διμερών συμβολαίων μεταξύ δύο χωρών (σε GWh)

$bilateralTransfer_{i,data,i,all,hr,tr}$: προσυμφωνημένη διασυνοριακή μεταφορά ισχύος μέσω διμερών συμβολαίων μεταξύ δύο χωρών (σε GWh)

$SMP_{ba,hr,tr}$: προβλεπόμενη τελική ωριαία τιμή εκκαθάρισης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανά χώρα (χρησιμοποιείται στην εισαγωγή των MIC σε ευρώ ανά KWh)

$SMPL_{iterations,ba,hr,tr}$: προβλεπόμενη ωριαία τιμή εκκαθάρισης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανά χώρα (σκιώδης τιμής της εξίσωσης ενεργειακού ισοζυγίου - χρησιμοποιείται στην εισαγωγή των MIC σε ευρώ ανά KWh) για κάθε επανάληψη επίλυσης του μοντέλου κατά τη διαδικασία ελέγχου τήρησης των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος

$bemi_{iterations,ba,hr,tr}$: ωριαία τιμή εκκαθάρισης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανά χώρα (σκιώδης τιμής της εξίσωσης ενεργειακού ισοζυγίου - χρησιμοποιείται στην εισαγωγή των MIC σε ευρώ ανά KWh) για κάθε επανάληψη επίλυσης του μοντέλου κατά τη διαδικασία ελέγχου τήρησης των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος

$dsmp_{iterations,ba,hr,tr}$: διαφορά ωριαίων τιμών εκκαθάρισης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ δύο διαδοχικών επαναλήψεων (σε ευρώ ανά KWh)

$maxdailylake_{tr}$: μέγιστη ικανή ημερήσια χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που προκύπτει από υδροηλεκτρικές μονάδες για την χώρα FYROM (σε GWh)

$rampflex_{i,all,n,tr}$: μέγιστη ικανή μεταβολή φόρτισης των μετεχόντων μονάδων στον ημερήσιο ενεργειακό προγραμματισμό (σε GW)

$cap_l_{i,all,n,t,tr}$: κατά έτος εγκατεστημένη ισχύς ανά μονάδα (σε GW)

$\chi_{k,i,all,i,all}$: mapping αντιστοίχισης γραμμής διασύνδεσης μεταξύ δύο χωρών με τις χώρες αυτές

$NetSet_{i,all,reg}$: mapping αντιστοίχισης χωρών με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στο οποίο υπάγονται

$\omega_{k,k,k,tr}$: πίνακας αγωγιμοτήτων της εκάστοτε διασυνδετικής γραμμής για την επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου

$net_{k,k,i,all,tr}$: πίνακας αντιστοίχισης γραμμών διασύνδεσης ανά χώρα και έτος

$tm_{k,tr}$: όριο φόρτισης ανά γραμμή διασύνδεσης με αρνητική κατεύθυνση ροής (σε GW)

$tx_{k,tr}$: όριο φόρτισης ανά γραμμή διασύνδεσης με θετική κατεύθυνση ροής (σε GW)

$intmax_{int,tr}$: συμφωνημένο όριο φόρτισης ανά διασύνδεση μεταξύ δύο χωρών (σε GW)

$intc_{int,k}$: mapping αντιστοίχισης γραμμών διασύνδεσης σε περιορισμούς πολλαπλών συνδέσεων μεταξύ δύο χωρών

5.3.Μεταβλητές απόφασης

$\theta_{i,all,hr,tr}$: ωριαία γωνία ισχύος της εκάστοτε χώρας ως κλάδου του ολικού προς επίλυση ροής φορτίου ΣΗΕ

$accho_{offers,i,all,n,t,t,tr,hr,st}$: ποσοστό αποδοχής της ωριαίας βηματικής προσφοράς

$flow_{k,hr,tr}$: ωριαία ροή ισχύος ανά γραμμή (σε GWh)

$nex_{i,all,hr,tr}$: ωριαία καθαρή θέση της εκάστοτε χώρας (σε GWh)

$acres_{hr,tr}$: ωριαίο ποσοστό αποδοχής της έγχυσης ηλεκτρικής ισχύος από μονάδες τεχνολογίας ανανεώσιμης ενέργειας

$nexac_{i,all,hr,tr}$: ωριαία καθαρή θέση της εκάστοτε χώρας που προκύπτει από AC διασυνδέσεις (σε GWh)

$nexdc_{i,all,hr,tr}$: ωριαία καθαρή θέση της εκάστοτε χώρας που προκύπτει από DC διασυνδέσεις (σε GWh)

$slack_{i,all,hr,tr}$: βοηθητική μεταβλητή τύπου slack που προσομοιώνει περικοπές φορτίου. (Στην τελική επίλυση πρέπει να είναι μηδέν)

$Q_{fylakes_{hr, tr}}$: ποσοστό αποδοχής ωριαίας έγχυσης ηλεκτρικής ισχύος από υδροηλεκτρικές μονάδες στη FYROM

T_{sw} : συνολικό κοινωνικό πλεόνασμα σε εκατομμύρια ευρώ (αντικειμενική συνάρτηση)

5.4.Εξισώσεις μοντέλου – περιορισμοί

Min_{theta,accho,flow,nex,acres,nexax,nexdc,slack,Qfylakes}

$$\begin{aligned}
 & \sum_{yr,ba,n \notin \text{mapmic},tt,\text{offers},rhr,st} (\text{accho}_{\text{offers},i,all,n,tt,tr,hr,st} * Q_{i,\text{offers},i,all,n,tt,tr,hr,st} * P_{i,\text{offers},i,all,n,tt,tr,hr,st}) \\
 & \quad + \\
 & \sum_{yr,ba,n \in \text{mapmic},tt,\text{offers},rhr,st} (\text{accho}_{\text{offers},i,all,n,tt,tr,hr,st} * Q_{i,\text{offers},i,all,n,tt,tr,hr,st} * P_{i,\text{offers},i,all,n,tt,tr,hr,st} \\
 & \quad * \text{clmic}_{\text{offers},i,all,n,tt,tr,hr,st}) + \\
 & \sum_{yr,ba=L\text{FY},ptypes=Bid_hydro_f,rhr} (Q_{\text{fylakes},rhr,tr} * Q_{i,\text{Cba},ptypes,rhr,tr} * P_{i,\text{Cba},ptypes,rhr,tr}) \\
 & \quad + \\
 & \sum_{yr,ba=L\text{FY},ptypes \neq Bid_hydro_f,rhr} (\text{acress}_{rhr,tr} * Q_{i,\text{Cba},ptypes,rhr,tr} * P_{i,\text{Cba},ptypes,rhr,tr}) \\
 & + \sum_{yr,ba,rhr} \text{slack}_{i,all,hr,tr} * 1000
 \end{aligned} \tag{1}$$

s.t.

$$\begin{aligned}
 & \sum_{yr,ba,n \notin \text{mapmic},tt,\text{offers},rhr,st} (\text{accho}_{\text{offers},i,all,n,tt,tr,hr,st} * Q_{i,\text{offers},i,all,n,tt,tr,hr,st}) \\
 & \quad + \\
 & \sum_{yr,ba,n \in \text{mapmic},tt,\text{offers},rhr,st} (\text{accho}_{\text{offers},i,all,n,tt,tr,hr,st} * Q_{i,\text{offers},i,all,n,tt,tr,hr,st} * \text{clmic}_{\text{offers},i,all,n,tt,tr,hr,st}) \\
 & \quad + \\
 & \sum_{yr,ba=L\text{FY},ptypes=Bid_hydro_f,rhr} (Q_{\text{fylakes},rhr,tr} * Q_{i,\text{Cba},ptypes,rhr,tr}) \\
 & + \sum_{yr,ba=L\text{FY},ptypes \neq Bid_hydro_f,rhr} (\text{acress}_{rhr,tr} * Q_{i,\text{Cba},ptypes,rhr,tr})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +\text{slack}_{i\text{all},\text{hr},\text{tr}} + \text{nex}_{i\text{all},\text{hr},\text{tr}} \\
& = \\
& \text{dm}_{i\text{all},\text{hr},\text{tr}} + \text{bilateralExport}_{i\text{all},\text{hr},\text{tr}} - \text{bilateralImport}_{i\text{all},\text{hr},\text{tr}} \quad \forall \text{ba},\text{rhr},\text{yr} \quad (2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{accho}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr},\text{st}} \geq \text{accho}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr},\text{st}+1} \quad \forall \text{offers},\text{ba},\text{n},\text{tt},\text{yr},\text{rhr},\text{st} \leftrightarrow \\
& \exists \text{map}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr}} \quad (3)
\end{aligned}$$

$$\text{accho}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr},\text{st}} \leq 1 \quad \forall \text{offers},\text{ba},\text{n},\text{tt},\text{yr},\text{rhr},\text{st} \leftrightarrow \exists \text{map}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr}} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{\text{rhr}} (\text{Qic}_{\text{ba}=\text{LFY},\text{ptypes}=\text{Bid_hydro_f},\text{hr},\text{tr}} * \text{Qfylakes}_{\text{hr},\text{tr}} * \text{nh}_{\text{hr},\text{tr}}) \\
& \leq \text{maxdailylake}_{\text{tr}} \quad \forall \text{tr} \quad (5)
\end{aligned}$$

$$\text{accres}_{\text{hr},\text{tr}} \leq 1 \quad \forall \text{hr}, \text{tr} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{\text{st}} (\text{Qi}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr}+1,\text{st}} * \text{accho}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr}+1,\text{st}}) \\
& - \sum_{\text{st}} (\text{Qi}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr},\text{st}} * \text{accho}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr},\text{st}}) \\
& \leq \text{rampflex}_{i\text{all},\text{n},\text{tr}} \quad \forall \text{offers},\text{ba},\text{n},\text{tt},\text{yr},\text{fhr} \leftrightarrow \exists \text{map}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr}} \quad (7)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{\text{st}} (\text{Qi}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr}+1,\text{st}} * \text{accho}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr}+1,\text{st}}) \\
& - \sum_{\text{st}} (\text{Qi}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr},\text{st}} * \text{accho}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr},\text{st}}) \\
& \geq - \text{rampflex}_{i\text{all},\text{n},\text{tr}} \\
& \forall \text{offers},\text{ba},\text{n},\text{tt},\text{yr},\text{fhr} \leftrightarrow \exists \text{map}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr}} \quad (8)
\end{aligned}$$

$$\sum_{\text{offers},\text{st}} (\text{accho}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr},\text{st}} * \text{Qi}_{\text{offers},i\text{all},\text{n},\text{tt},\text{tr},\text{hr},\text{st}})$$

$$\leq \text{gen_primes}_{\text{ba,n,tt,tr,hr}}$$

$$\forall \text{ba,n,tt,yr,rhr} \leftrightarrow \exists \text{map}_{\text{offers,iall,n,tt,tr}} \wedge (\text{nomi}_{\text{ba,n,tt,tr}} \vee \text{mapres}_n \vee \text{auton}_n \vee \text{map_hon_hdh}_n) \quad (9)$$

$$\sum_{\text{offers,st}} (\text{accho}_{\text{offers,iall,n,tt,tr,hr,st}} * \text{Qi}_{\text{offers,iall,n,tt,tr,hr,st}})$$

$$\leq \text{gen_primes}_{\text{ba,n,tt,tr,hr}}$$

$$\forall \text{ba,n,tt,yr,rhr} \leftrightarrow \exists \text{map}_{\text{offers,iall,n,tt,tr}} \wedge (\text{Mapstype}_{\text{n,type} \in \text{Nuclear}} \vee \text{Mapstype}_{\text{n,type} \in \text{Solids}}) \quad (10)$$

$$\sum_{\text{offers,st}} (\text{accho}_{\text{offers,iall,n,tt,tr,hr,st}} * \text{Qi}_{\text{offers,iall,n,tt,tr,hr,st}})$$

$$\leq 1,2 * \text{gen_primes}_{\text{ba,n,tt,tr,hr}}$$

$$\forall \text{ba,n,tt,yr,rhr} \leftrightarrow \exists \text{map}_{\text{offers,iall,n,tt,tr}} \wedge \text{max_hr_pl}_{\text{iall,n,tt,tr}} \wedge (\text{nomi}_{\text{ba,n,tt,tr}} \vee \text{mapres}_n \vee \text{auton}_n \vee \text{map_hon_hdh}_n) \quad (11)$$

$$\sum_{\text{offers,st}} (\text{accho}_{\text{offers,iall,n,tt,tr,hr,st}} * \text{Qi}_{\text{offers,iall,n,tt,tr,hr,st}})$$

$$\leq \text{cap_l}_{\text{iall,n,tt,tr}} + \text{slack_plmax}_{\text{iall,n,tt,tr}}$$

$$\forall \text{ba,n,tt,yr,rhr} \leftrightarrow \exists \text{map}_{\text{offers,iall,n,tt,tr}} \wedge \text{fpl}_{\text{iall,n,tt,tr}} \quad (12)$$

$$\sum_{\text{iall}} \text{nex}_{\text{iall,hr,tr}} = 0$$

$$\forall \text{rhr,yr} \quad (13)$$

$$\text{nex}_{\text{iall,hr,tr}} = \text{nexac}_{\text{iall,hr,tr}} + \text{nexdc}_{\text{iall,hr,tr}} \quad \forall \text{iall,rhr,yr} \quad (14)$$

$$\sum_{\text{idata},k \leftrightarrow \exists (\text{kact} \wedge \text{xi} \wedge \neg \text{kactAC})} (-\text{flow}_{k,\text{hr},\text{tr}} * \text{net}_{k,\text{iall},\text{tr}}) = \text{nexdc}_{\text{iall},\text{hr},\text{tr}}$$

$$\forall \text{iall},\text{yr},\text{rhr} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{\text{iall} \leftrightarrow \exists \text{irr} \wedge \text{Netset}} (-\text{theta}_{\text{iall},\text{hr},\text{tr}}) * \sum_{k \in \text{kactAC}} \text{net}_{\text{Tidata},k,\text{tr}} \\ & * \sum_{kk \in \text{kactAC}} \text{omega}_{k,kk,\text{tr}} * \text{net}_{kk,\text{iall},\text{tr}} = \text{nexac}_{\text{idata},\text{hr},\text{tr}} \end{aligned}$$

$$\forall \text{idata},\text{yr},\text{rhr} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{\text{iall},kk \leftrightarrow \exists (\text{irr} \wedge \text{kactAC})} -\text{omega}_{k,kk,\text{tr}} * \text{net}_{kk,\text{iall},\text{tr}} * \text{theta}_{\text{iall},\text{hr},\text{tr}} \\ & = \text{flow}_{k,\text{hr},\text{tr}} \end{aligned}$$

$$\forall k,\text{yr},\text{rhr} \quad (17)$$

$$\text{flow}_{k,\text{hr},\text{tr}} \geq \text{tm}_{k,\text{tr}} \quad \forall k,\text{yr},\text{rhr} \quad (18)$$

$$\text{flow}_{k,\text{hr},\text{tr}} \leq \text{tx}_{k,\text{tr}} \quad \forall k,\text{yr},\text{rhr} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{\text{int} \leftrightarrow \exists \text{mapntc}} \text{intmax}_{\text{int},\text{tr}} \geq \text{bilateralTransfer}_{\text{idata},\text{iall},\text{hr},\text{tr}} \\ & + \sum_{\text{int} \leftrightarrow \exists \text{mapntc}} \text{flow}_{k,\text{hr},\text{tr}} * \text{net}_{k,\text{idata},\text{tr}} \end{aligned}$$

$$\forall \text{idata},\text{iall},\text{rhr},\text{yr} \quad (20)$$

$$\text{nexac}_{\text{idata},\text{hr},\text{tr}} = 0 \quad \forall \text{idata},\text{iall},\text{rhr},\text{yr} \leftrightarrow \exists \neg (\text{reg} \wedge (\text{xi}_{k,\text{iall},\text{idata}} \vee \text{xi}_{k,\text{idata},\text{iall}})) \quad (21)$$

$$\text{nex}_{i\text{all},\text{hr},\text{tr}} = \text{yel_exog}_{i\text{all},\text{hr},\text{tr}} + \text{nexp}_{i\text{all},\text{hr},\text{tr}} - \text{nexm}_{i\text{all},\text{hr},\text{tr}} \quad \forall i\text{all} \in \text{nonba}, \text{rhr}, \text{yr} \quad (22)$$

5.5.Επεξήγηση των εξισώσεων – περιορισμών του μοντέλου

- (1): Αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση προς βελτιστοποίηση. Συνίσταται από το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των μονάδων συν το κόστος περικοπής φορτίου.
- (2): Αποτελεί την εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου. Το άθροισμα της ωριαίας προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και των εισαγωγών θα πρέπει να ισούται με το άθροισμα της ζήτησης και των εξαγωγών.
- (3): Στη βηματική ωριαία αποδοχή προσφορών έγχυσης ισχύος θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι για να γίνει αποδεκτό το επόμενο βήμα αποδοχής θα πρέπει πρώτα να έχει γίνει εξολοκλήρου το αμέσως προηγούμενο.
- (4): Το ποσοστό αποδοχής μιας ωριαίας προσφοράς δεν πρέπει να ξεπερνάει τη μονάδα.
- (5): Οι υδροηλεκτρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας της FYROM δύνανται να προσφέρουν ενέργεια όση τους επιτρέπει η υπάρχουσα διαθέσιμη ποσότητα νερού.
- (6): Το ποσοστό αποδοχής έγχυσης ισχύος από μονάδες τεχνολογίας ανανεώσιμης ενέργειας δεν πρέπει να ξεπερνάει τη μονάδα.
- (7): Η ωριαία διακύμανση στη φόρτιση μιας μονάδας δεν πρέπει να ξεπερνάει τα τεχνικά επιτρεπτά της όρια. Εδώ ο περιορισμός είναι για αύξηση φορτίου.
- (8): Η ωριαία διακύμανση στη φόρτιση μιας μονάδας δεν πρέπει να ξεπερνάει τα τεχνικά επιτρεπτά της όρια. Εδώ ο περιορισμός είναι για μείωση φορτίου.
- (9): Η αποδεκτή προσφορά ισχύος από μονάδες τεχνολογίας ανανεώσιμης ενέργειας, υποχρεωτικής έγχυσης, αυτοπαραγωγών και τηλεθέρμανσης θα πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από αυτή που ορίζει το μοντέλο Primes.
- (10): Παρόμοια συνθήκη με τη 10 αλλά αυτή τη φορά για πυρηνικές μονάδες ή μονάδες που έχουν ως πρώτη ύλη τα στερεά καύσιμα.
- (11): Η αποδεκτή προσφορά ισχύος από μονάδες που δεν ανήκουν στις κατηγορίες των (10)-(11) και ταυτόχρονα υπόκεινται σε συνθήκη μέγιστου επιτρεπτού χρονικού ορίου συμμετοχής στην έγχυση ισχύος, θα πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από αυτή που ορίζει το μοντέλο Primes πολλαπλασιασμένη επί 1,2.
- (12): Η μέγιστη δυνατή φόρτιση μιας μονάδας δεν πρέπει να ξεπερνάει την εγκατεστημένη ισχύ της.
- (13): Η εξίσωση αυτή μας εξασφαλίζει πως έχουμε κλειστό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Το συνολικό άθροισμα των καθαρών θέσεων όλων των χωρών θα πρέπει να είναι ίσο με το μηδέν.
- (14): Η καθαρή θέση της εκάστοτε χώρας θα πρέπει να είναι ίση με το άθροισμά της σε καθαρή θέση που οφείλεται στις DC και AC γραμμές μεταφοράς.
- (15): Η καθαρή DC θέση μιας χώρας ορίζεται ως το αποτέλεσμα του αθροίσματος των φορτίσεων γραμμές DC που σχετίζονται με αυτή τη χώρα.
- (16): Η καθαρή AC θέση σε μια χώρα προκύπτει από την επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου υπό την μέθοδο DC και την άθροιση των ροών ισχύος στον εκάστοτε ζυγό που παριστάνει η κάθε χώρα

- (17): Οι ροές ισχύος προκύπτουν από την DC μέθοδο επίλυσης ροής φορτίου.
- (18): Η φόρτιση των διασυνδεδετικών γραμμών δεν πρέπει να ξεπερνάει την εγκατεστημένη ικανότητα σε MW της εκάστοτε γραμμής (στο συγκεκριμένο περιορισμό για ομόσημη ροή με τη προεπιλεγμένη κατεύθυνση).
- (19): Η φόρτιση των διασυνδεδετικών γραμμών δεν πρέπει να ξεπερνάει την εγκατεστημένη ικανότητα σε MW της εκάστοτε γραμμής (στο συγκεκριμένο περιορισμό για ετερόσημη ροή με την προεπιλεγμένη κατεύθυνση)
- (20): Η μέγιστη διασυνοριακή ανταλλαγή ισχύος δεν πρέπει να ξεπερνά τα συμφωνημένα όρια. Στον περιορισμό αυτό συμπεριλαμβάνονται και τα προκαθορισμένα διμερή συμβόλαια ανταλλαγής ισχύος.
- (21): Η καθαρή AC θέση μιας χώρας που δεν είναι συνδεδεμένη με το AC δίκτυο των υπολοίπων θα πρέπει να είναι μηδέν αφού δεν δίνεται να κάνει εισαγωγές ή εξαγωγές ισχύος μέσω διασυνδεδετικών γραμμών AC.
- (22): Η καθαρή AC θέση μιας χώρας που δεν συμπεριλαμβάνεται στις προς ενοποίηση αγορές των χωρών (Ελλάδα – FYROM – Ιταλία – Βουλγαρία) θα πρέπει να έχει καθαρή θέση ίση με αυτήν που ορίζει το μοντέλο PRIMES.

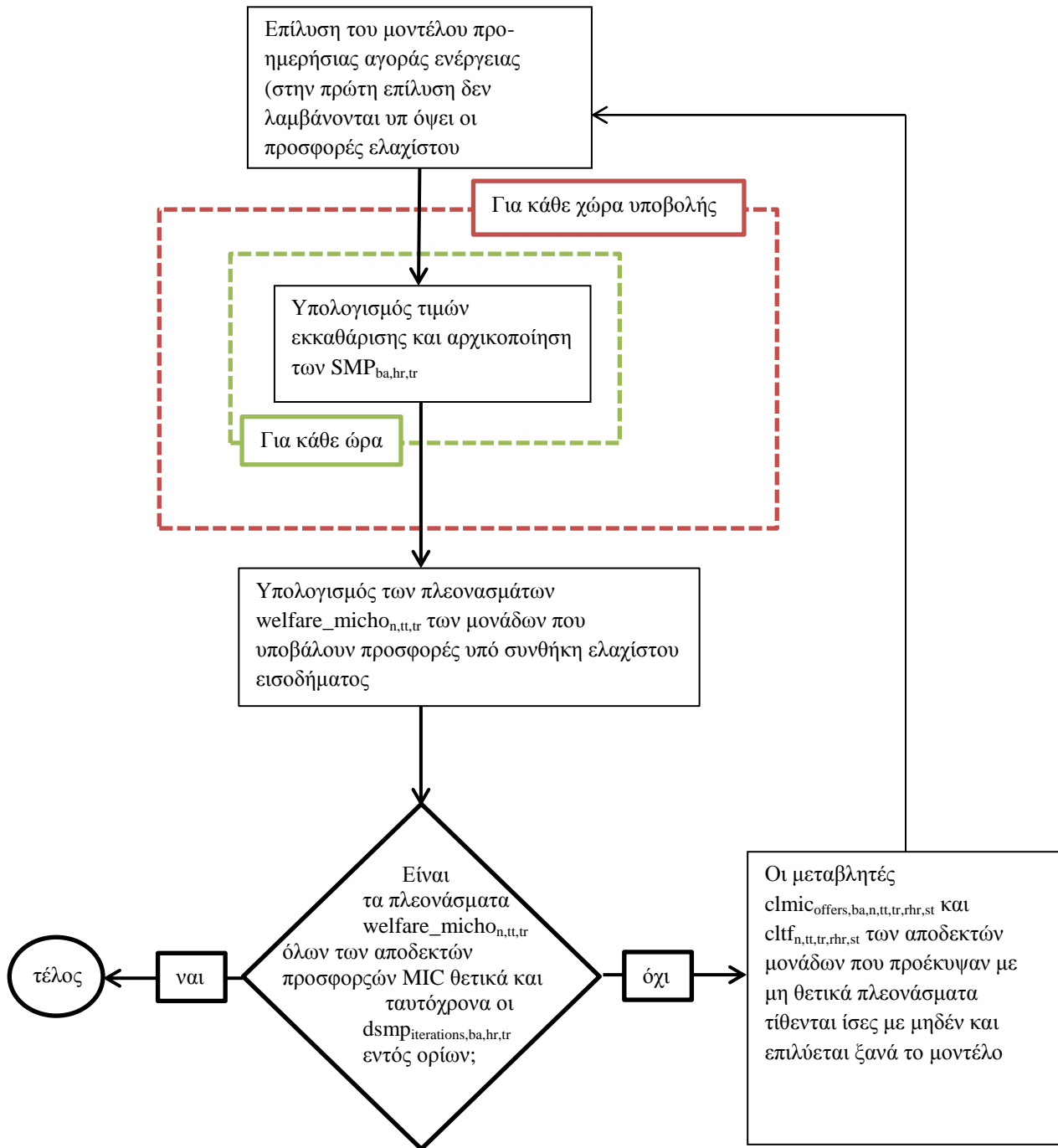
5.6. Ενσωμάτωση των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος

Το μοντέλο ενοποίησης αγοράς που παρουσιάστηκε επιλύεται με γραμμικό προγραμματισμό. Κατά την επίλυση προκύπτουν οι τιμές εκκαθάρισης της εκάστοτε χώρας οι οποίες είναι οι δυικές τιμές της εξίσωσης του ισοζυγίου ισχύος. Για να μπορέσει να γίνει αποδεκτή μια προσφορά ελαχίστου εισοδήματος θα πρέπει να είναι γνωστή εκ των προτέρων η τιμή εκκαθάρισης ούτως ώστε να διαφανεί εάν θα δύναται να εξασφαλίσει η μονάδα τα απαραίτητα έσοδα ώστε να αποσβέσει τα κόστη που προκύπτουν από την ενεργοποίησή της και το να τεθεί σε λειτουργία. Έτσι δημιουργείται πρόβλημα στην μοντελοποίηση με γραμμικό προγραμματισμό αφού δεν είναι δυνατό να γίνει γνωστή εκ των προτέρων η τιμή εκκαθάρισης μιας και αποτελεί μεταβλητή του αρχικού προς επίλυση προβλήματος. Ακολουθήθηκε λοιπόν η παρακάτω μεθοδολογία. Αρχικά το μοντέλο επιλύθηκε χωρίς τις συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος. Εν συνεχεία από τις τιμές εκκαθάρισης που προέκυψαν έλαβαν τιμή οι μεταβλητές $SMP_{ba,hr,tr}$ (προβλεπόμενη τελική ωριαία τιμή εκκαθάρισης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανά χώρα). Οι μονάδες ελαχίστου εισοδήματος για να μπορέσουν να ανακτήσουν τα κόστη τους τιμολόγησαν την προσφορά ενέργειάς τους κατά τον τύπο:

$$P_{i,offers,iall \subseteq ba,n \subseteq mapmic,tr,hr,st} \leftrightarrow \exists map = P_{i,beforemic,offers,iall \subseteq ba,n \subseteq mapmic,tr,hr,st} + \frac{costmic_n}{cap_1all,n,tt,tr * micfact_n}$$

Η αύξηση της τιμής προσφοράς έγινε δηλαδή έτσι ώστε η προηγούμενη τιμή να προσαυξηθεί κατά έναν παράγοντα που αντιπροσωπεύει το κόστος επιβάρυνσης για να τεθεί σε λειτουργία η μονάδα διαιρεμένο δια τη μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ της, αλλά και με τις ώρες τις οποίες συμμετέχει στο πρόγραμμα λειτουργίας των μονάδων. Κατά αυτόν τον τρόπο με την αποδοχή της προσφοράς της αυξάνεται η πιθανότητα να αποσβέσει τα επιπλέον κόστη της και έτσι να αποβεί συμφέρουσα η συμμετοχή της στην έγχυση ηλεκτρικής ισχύος. Με τις νέες τιμές προσφοράς που προέκυψαν για τις μονάδες που υπάγονται στην κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος καθώς και με την πρώτη προσέγγιση για το που θα ισορροπήσουν οι τιμές εκκαθάρισης $SMP_{ba,hr,tr}$ επιλύουμε ξανά και ξανά το μοντέλο στα πλαίσια ενός προκαθορισμένου αριθμού επαναλήψεων οι οποίες σταματούν όταν ικανοποιηθούν ταυτόχρονα συγκεκριμένες συνθήκες. Πρώτον οι μονάδες που θα συμμετάσχουν στην έγχυση ισχύος και υπάγονται στην κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος να έχουν θετικό πλεόνασμα, δηλαδή να ανακτούν τα έξοδα εκκίνησής τους και να έχουν αν είναι δυνατόν έσοδα, και δεύτερον μεταξύ δύο διαδοχικών επαναλήψεων επίλυσης του μοντέλου να μην δημιουργείται διαφορά στις τιμές εκκαθάρισης πάνω από μια προκαθορισμένη τιμή. Σε κάθε επανάληψη λοιπόν ελέγχουμε εάν αυτά τα κριτήρια τηρούνται και παράλληλα στο τέλος κάθε επίλυσης, αποσύρουμε από το πρόγραμμα φόρτισης την

κάθε μονάδα που υποβάλει προσφορά ελαχίστου εισοδήματος με αρνητική ευημερία και δεν της επιτρέπουμε να συμμετάσχει στην επόμενη επίλυση. Παρακάτω δίνεται σχηματικά ο αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος μετά την ενσωμάτωση των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος:



διάγραμμα 1: διάγραμμα ροής του αλγορίθμου επίλυσης του μοντέλου προ-ημερήσιων αγορών ενέργειας με ενσωματωμένες τις συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος

Τα πλεονάσματα των μονάδων που υπάγονται στην κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος υπολογίζονται από τον τύπο:

$$\text{welfare_michon} \subseteq \text{mapmic,tt,tr} = \sum_{ba,offers,rhr,st \leftrightarrow \exists \text{map}} (bem_{ba,rhr,tr} - Pibeforemic_{offers,ba,n,tt,tr,rhr,st}) * Qi_{offers,i,all,n,tt,tr,hr,st} * accho_{offers,i,all,n,tt,tr,hr,st} * clmic_{offers,i,all,n,tt,tr,hr,st}$$

Μεταξύ των διαδοχικών επαναλήψεων επίλυσης του μοντέλου μέχρι να υπολογιστεί η τελική τιμή εκκαθάρισης χρησιμοποιούμε ενδιάμεσες τιμές οι οποίες υπολογίζονται με τη χρήση μιας στατιστικής μεθόδου πρόβλεψης βάσει των ήδη υπαρχόντων τιμών που έχουν προκύψει από το μοντέλο κατά τη διαδικασία των επαναλήψεων. Για μικρό αριθμό επαναλήψεων (1-7) χρησιμοποιείται η τιμή εκκαθάρισης της αμέσως προηγούμενης επανάληψης (μέθοδος *naive*) ενώ για αριθμό επαναλήψεων μεγαλύτερο του 6 χρησιμοποιούνται τα αθροίσματα κινητών μέσων όρων και έτσι έχουμε αντίστοιχα για τις δύο περιπτώσεις:

$$SMP_{ba,hr,tr} = bem_{ba,hr,tr} \quad \forall \text{ iteration} < 8$$

$$SMP_{ba,hr,tr} = (SMP_{ba,hr,tr} + SMPL_{iterations,ba,hr,tr} + SMPL_{iterations-1,ba,hr,tr} + SMPL_{iterations-2,ba,hr,tr} + SMPL_{iterations-3,ba,hr,tr} + SMPL_{iterations-4,ba,hr,tr}) / 6 \quad \forall \text{ iteration} > 7$$

Ως μονάδες που ανήκουν στην κατηγορία MIC ορίστηκαν μονάδες φυσικού αερίου και συνδυασμένου κύκλου με τον ακόλουθο τρόπο δηλαδή μονάδες φυσικού αερίου, συνδυασμένου κύκλου και πετρελαίου που υπάγονται στην κατηγορία των μονάδων αιχμής:

$$\text{mapmic}_n = 1 \quad \forall n \leftrightarrow \exists (\text{p_type} \subseteq \text{thermal}_n \wedge (\text{n_repm} \subseteq \text{GasCombinedCycle_Util}_n \vee \text{n_repm} \subseteq \text{GasPeakDevices_Util}_n \vee \text{n_repm} \subseteq \text{OilPeakDevices_Util}_n \vee \text{n_repm} \subseteq \text{CCS_Gas}_n)$$

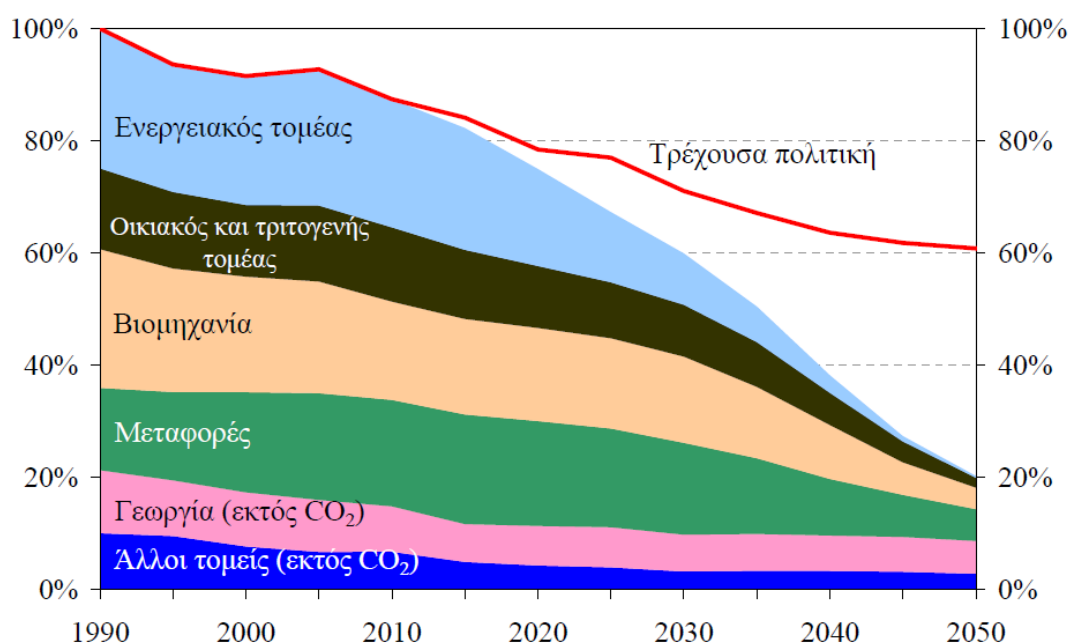
6.«Ευρώπη 2020» και πορεία αντιμετώπισης κλιματικής αλλαγής

Η Ευρωπαϊκή Ένωση θέλοντας να αντιμετωπίσει ζητήματα αειφορίας και επιπτώσεις φαινομένων που δεν αντιμετωπίζονται σε εθνικό μόνο επίπεδο, όπως αυτό της κλιματικής αλλαγής, παρέχει στα κράτη μέλη της ένα μακροπρόθεσμο πλαίσιο δράσης. Τα πλαίσια αυτά αφορούν μακροπρόθεσμα σχέδια άσκησης πολιτικής σε τομείς όπως οι μεταφορές, η ενέργεια κι η κλιματική αλλαγή. Μέσω αυτών των

δράσεων αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τα κοινά προβλήματα των χωρών μελών και ταυτόχρονα φροντίζει να διατηρείται ανταγωνιστική οικονομία. Στα πλαίσια των ετών μέχρι το 2020 έχει ως στόχο να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 20%, να αυξήσουν το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα της ΕΕ κατά 20% και να επιτύχουν τον στόχο του 20% όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση έως το 2020. Παρόλα αυτά είναι σε καλή πορεία για την επίτευξη των δύο πρώτων στόχων ενώ για τον τρίτο απαιτούνται περαιτέρω διορθωτικές κινήσεις. Για να το επιτύχει αυτό κατέφυγε σε μια σειρά δράσεων όπως επενδύσεις σε μονάδες τεχνολογίας χαμηλού επίπεδου ανθρακούχων εκπομπών.

6.1.Επενδύσεις σε μονάδες τεχνολογίας χαμηλού επίπεδου ανθρακούχων εκπομπών

Με την επένδυση σε αυτού του είδους τις μονάδες προβλέπεται να μειωθούν οι εγχώριες εκπομπές μέχρι το 2050 κατά 80% σε σύγκριση με αυτές του έτους 1990.



Σχήμα 12: πορεία προς τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 80% μέχρι το 2050

Για τη μείωση των ανθρακούχων εκπομπών θα πρέπει να γίνει συνδυασμός διαφόρων κινήσεων. Αυτές είναι η μερική αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων στις μεταφορές και τη θέρμανση, το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής να κάνει

ώθηση στην αγορά τις τεχνολογίες χαμηλών επιπέδων ανθρακούχων εκπομπών, ενώ σημαντική είναι και η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, πολλές από τις οποίες έχουν μεταβλητή ηλεκτροπαραγωγή, οπότε θα πρέπει να γίνουν επενδύσεις σε δίκτυα για να εξασφαλιστεί η συνέχεια της παροχής ανά πάσα στιγμή. Οι επενδύσεις σε ευφυή ηλεκτρικά δίκτυα αποτελούν βασικό καταλύτη για ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλά επίπεδα ανθρακούχων εκπομπών, κυρίως διευκολύνοντας την απόδοση στην πλευρά της ζήτησης, την αύξηση των μεριδίων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την κατανομημένη ηλεκτροπαραγωγή και καθιστώντας δυνατή την ηλεκτροδότηση των μεταφορών. Οι επενδύσεις σε ηλεκτρικά δίκτυα δεν θα πρέπει να γίνονται πάντα με την αποκόμιση οικονομικού οφέλους για τον φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου, αλλά κυρίως για το κοινωνικό σύνολο. Όλες αυτές οι αλλαγές σε συνδυασμό με αλλαγές στην καθημερινότητά των πολιτών (χρήση οχημάτων με εναλλακτικά καύσιμα, προτίμηση ακινήτων υψηλής ενεργειακής απόδοσης) αλλά και αλλαγές σε εργοστάσια (ανακύκλωση υλικών και χρήση τεχνολογιών μείωσης αερίων ρύπων) σκοπεύουν στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

7.Αριθμητική εφαρμογή του μοντέλου προ-ημερήσιων αγορών ΕΥΡΗΜΙΑ

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε όντας αρκετά αναλυτικό διαχειρίζεται μεγάλο όγκο δεδομένων. Έτσι στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια περιγραφή των δεδομένων εισόδου του μοντέλου και των πληροφοριών που προκύπτουν από αυτά καθώς επίσης θα περιγραφεί ο τρόπος με τον οποίο παράχθηκαν και προσαρμόστηκαν νέα δεδομένα.

7.1.Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και μονάδες εγκατεστημένης ισχύος

Τα προς μελέτη σενάρια έγιναν για ημέρες ζήτησης των ετών 2020 και 2030. Αυτές οι μέρες αποτελούν μέρες αντιπροσωπευτικές για τη μορφή της καμπύλης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην εκάστοτε προς μελέτη χώρα και συμπεριλαμβάνουν τις περιβαλλοντικές αλλαγές και τις εποχιακές ανάγκες, που την διαμορφώνουν αναλόγως. Έτσι με βάση 7 πρότυπες ημέρες για τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, δίνοντάς τους την ανάλογη συχνότητα εμφάνισης μέσα σε χρονικό ορίζοντα ενός έτους μπορούν να υπολογιστούν τα αποτελέσματα επίλυσης του αλγορίθμου για μια ολόκληρη χρονιά. Οι μονάδες που μετέχουν στην προσφορά έγχυσης ισχύος του αλγορίθμου δόθηκαν από το μοντέλο PRIMES του εργαστηρίου και διαμορφώθηκαν σύμφωνα με τις πολιτικές που ακολουθεί η ευρωπαϊκή ένωση για τη μείωση των ανθρακούχων εκπομπών και των ρυπογόνων ουσιών που εκλύονται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις χρονιές αυτές. Παρακάτω παρατίθεται η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων ανά χώρα για τις προς μελέτη χρονιές καθώς και ο πίνακας μέσης ημερήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος ανά ημέρα σεναρίου.

είδος καυσίμου	Εγκατεστημένη ισχύς σε MW							
	έτος 2020				έτος 2030			
	Ιταλία	Βουλγαρία	Ελλάδα	FYROM	Ιταλία	Βουλγαρία	Ελλάδα	FYROM
Λιγνίτης-κάρβουνο	9588,05	4813,06	3053,94	745,92	5482,37	3384,98	2868,80	748,15
φυσικό αέριο	43357,54	772,12	5439,92	466,18	37782,00	653,47	4738,23	771,18
πετρέλαιο	15910,95	138,87	1690,33	280,77	5722,91	138,87	732,60	268,19
υδρουλεκτρική παραγωγή	18805,23	2338,00	3578,79	621,97	18885,36	2338,00	3578,79	624,42
αιολική ενέργεια	8963,48	703,50	2636,84	186,07	15714,78	2764,57	6996,32	300,38
φωτοβολταϊκά	3217,62	984,58	932,64	9,67	20272,21	2984,58	5417,26	27,60
Πυρηνική ενέργεια		1920,00				1920,00		
Βιομάζα	5387,62	51,01	180,42	22,20	5620,30	97,35	258,25	35,28
Λοιπές ΑΠΕ	17612,20	84,17	2214,25	0,00	17612,20	84,17	2214,25	

Πίνακας 1: εγκατεστημένη ισχύς των χωρών για τα έτη 2020 και 2030

χώρες	Πίνακας Μέσης Ημερήσιας Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας σε MWh		
	Ημέρες Σεναρίων		
	1η ημέρα ζήτησης 2020	6η ημέρα ζήτησης 2020	ημέρα ζήτησης 2030
ΙΤΑΛΙΑ	990275,29	838804,69	977230,03
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	122305,65	72788,07	120096,96
ΕΛΛΑΔΑ	177248,75	134035,63	166962,99
FYROM	40924,62	28568,87	44146,49

Πίνακας 2: Μέση τιμή ημερήσιας κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά χώρα και ημέρα σεναρίου σε MWh

7.1.2 Δεδομένα έτους 2020

Οι καμπύλες ζήτησης των ημερών αυτών διαφέρουν καθώς για την πρώτη ημέρα ζήτησης του σεναρίου έχουμε μεγαλύτερη διακύμανση στην ζητούμενη ηλεκτρική ισχύ για τις χώρες της Ιταλίας και της Ελλάδας αφού ξεκινάμε από μικρότερες ελάχιστες τιμές ζήτησης και καταλήγουμε σε μεγαλύτερες τιμές αιχμής φορτίου. Αντίστοιχα για τις χώρες της Βουλγαρίας και της FYROM έχουμε την πρώτη μέρα αυξημένη ζήτηση σε κάθε ώρα σε σχέση με την έκτη ημέρα.

Έτος 2020	Πίνακας αιχμής φορτίου και ελάχιστης ζήτησης			
	Αιχμή φορτίου(MW)		ελάχιστη ζήτηση(MW)	
	1ης μέρας	6ης μέρας	1ης μέρας	6ης μέρας
ΙΤΑΛΙΑ	51133,78	39491,52	29128,65	26985,16
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	6564,67	3285,23	3171,17	2524,79
ΕΛΛΑΔΑ	11125,37	7596,22	4776,75	4039,34
FYROM	1933,09	1337,43	1336,26	994,76

Πίνακας 3: αιχμή φορτίου και ελάχιστη ζήτηση για τις εξεταζόμενες ημέρες

Σημειώνεται πως η μεγαλύτερη αιχμή φορτίου στα σενάρια ζήτησης αυτού του έτους υφίσταται τις απογευματινές ώρες (18 – 20) και η ελάχιστη ζήτηση τις πρωινές ώρες (3-6).

Για το 2020 στο μοντέλο για τις τέσσερις χώρες που μελετούμε συνολικά έχουμε προσφορές από 637 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος. 17 μονάδες για τη FYROM, 127 για την Ελλάδα, 425 για την Ιταλία και 68 για τη Βουλγαρία. Από αυτές στην κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος (MIC) υπάγονται συνολικά 118 μονάδες.

Οι γραμμές διασύνδεσης για το 2020 δόθηκαν και αυτές από το μοντέλο PRIMES. Υπενθυμίζεται πως όλα τα δεδομένα αποτελούν τα πραγματικά υπάρχοντα δεδομένα

προσαυξημένα με αυτά που δημιουργήθηκαν από τα επενδυτικά σενάρια που αρμόζουν με τις πολιτικές της ευρωπαϊκής ένωσης για τις εκάστοτε χρονιές.

7.1.3 Δεδομένα έτους 2030

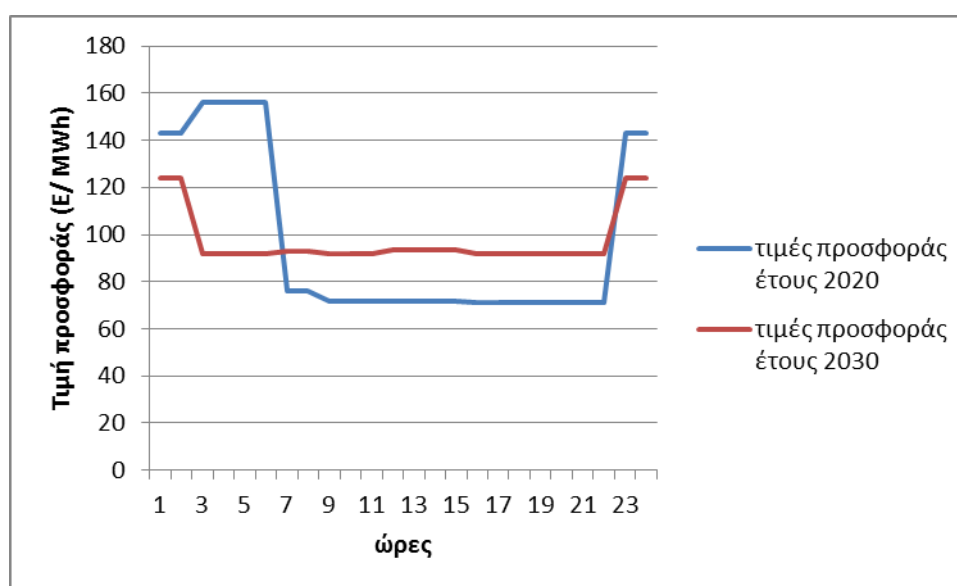
Από το μοντέλο PRIMES έχουμε για το 2030 τα παρακάτω δεδομένα για τη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος σε MW για την ημέρα ζήτησης που θα εξεταστεί.

Πίνακας αιχμής φορτίου και ελάχιστης ζήτησης		
	Αιχμή φορτίου(MW)	ελάχιστη ζήτηση(MW)
ΙΤΑΛΙΑ	52953,72	23917,21
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	6361,90	3362,45
ΕΛΛΑΔΑ	9891,00	4381,40
FYROM	2094,68	1472,18

Πίνακας 4: αιχμή φορτίου και ελάχιστη ζήτηση για την εξεταζόμενη ημέρα του 2030

Σημειώνεται πως η μεγαλύτερη αιχμή φορτίου στο σενάριο ζήτησης αυτής της ημέρας υφίσταται τις πρωινές ώρες (9 – 10) σε αντίθεση με τα σενάρια του έτους 2020 και η ελάχιστη ζήτηση τις πρωινές ώρες (3-6).

Παράλληλα υφίσταται μια διαφοροποίηση προς τον τρόπο της τιμολόγησης των προσφορών ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες κατά τον οποίο το έτος 2030 παρατηρούνται αυξημένες τιμές τις ώρες 7-23 σε σχέση με το 2020 και τις υπόλοιπες ώρες το αντίστροφο όπως υποδεικνύεται στο παρακάτω διάγραμμα με παράδειγμα την τιμολόγηση μιας μονάδας φυσικού αερίου:



Διάγραμμα 2: παράδειγμα καμπύλης τιμολόγησης της προσφοράς ηλεκτρικής ισχύος από μονάδα φυσικού αερίου για τα έτη 2020 και 2030

Για το 2030 στο μοντέλο για τις τέσσερις χώρες που μελετούμε συνολικά έχουμε προσφορές από συνολικά 581 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος. 33 μονάδες για τη FYROM, 116 για την Ελλάδα, 356 για την Ιταλία και 76 για τη Βουλγαρία. Από αυτές σε ελαχίστου εισοδήματος (MIC) υπάγονται συνολικά 121 μονάδες.

7.2.Σενάρια προς μελέτη

Παρατίθεται ένας συνοπτικός πίνακας με τα σενάρια που θα εξεταστούν:

Εξεταζόμενα Σενάρια
1 ^ο Σενάριο: Επίλυση της αγοράς για το έτος 2020 χωρίς την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM
2 ^ο Σενάριο: Επίλυση της αγοράς για το έτος 2020 μετά την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM
3 ^ο Σενάριο: Επίλυση της αγοράς για το έτος 2030 χωρίς την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM
4 ^ο Σενάριο: Επίλυση της αγοράς για το έτος 2030 μετά την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM
5 ^ο Σενάριο: Σενάριο επενδύσεων σε διασυνδεδετικές γραμμές μεταξύ των χωρών: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM για το έτος 2030

Πίνακας 5: Πίνακας σεναρίων

7.2.1. Επίλυση της αγοράς για το έτος 2020 χωρίς την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM

Στο σενάριο αυτό εισάγονται στον αλγόριθμο ενοποίησης αγορών ενέργειας EURHEMIA τα δεδομένα των τεσσάρων χωρών και αφορούν τις προσφορές έγχυσης των εγκατεστημένων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της εκάστοτε χώρας, την ωριαία ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια που πρέπει να ικανοποιηθεί και τις μεταξύ τους διασυνδέσεις. Παράλληλα για ενίσχυση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται στην επίλυση ροής φορτίου ολόκληρο το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρώπης. Επίσης τόσο οι καθαρές θέσεις των εξωγενών ως προς την ενοποίηση χωρών όσο και οι επιφορτίσεις στα γραμμές τους που προκύπτουν από την επίλυση του μοντέλου, ελέγχονται ώστε να συμφωνούν με το μοντέλο PRIMES του εργαστηρίου του οποίου τα αποτελέσματα λαμβάνονται και ως σημείο αναφοράς για τις τρέχουσες χρονιές. Το μοντέλο θα επιλυθεί για δύο διαφορετικές ημέρες ζήτησης οι οποίες παρουσιάζουν σοβαρές διαφορές μεταξύ τους και θα γίνει μια σύγκριση και ανάλυση των αποτελεσμάτων.

7.2.2. Επίλυση της αγοράς για το έτος 2020 μετά την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM

Στο σενάριο αυτό θα γίνει εισαγωγή των δεδομένων με παρόμοιο τρόπο όπως στο προηγούμενο, όμως αυτή τη φορά οι απλές ωριαίες προσφορές που θα δηλώνονται από τις μονάδες που υπάγονται στην κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος, για να γίνουν αποδεκτές θα πρέπει να πληρούν τα κριτήρια που ορίζει η κατηγορία τους και έτσι μόνο όταν κρίνονται συμφέρουσες. Η ενσωμάτωσή τους έγινε με τον τρόπο που περιγράφηκε προηγουμένως στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Αφού επιλυθεί το μοντέλο θα γίνει ανάλυση των αποτελεσμάτων και έπειτα σύγκριση με το σενάριο που δεν έχουμε ενσωμάτωση των συνθηκών αυτών.

7.2.3. Επίλυση της αγοράς για το έτος 2030 χωρίς την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM

Το σενάριο αυτό θα διεξαχθεί με τον ίδιο τρόπο που έγινε για τη χρονιά 2020 αλλά αυτή τη φορά το μοντέλο θα επιλυθεί μόνο για μια ημέρα ζήτησης. Κατόπιν θα κρατηθούν τα αποτελέσματά του για σύγκριση και ανάλυση του σεναρίου με το αμέσως επόμενο το οποίο θα αφορά την ενσωμάτωση των προσφορών MIC.

7.2.4. Επίλυση της αγοράς για το έτος 2030 μετά την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM

Είναι το αντίστοιχο σενάριο με αυτό της χρονιάς 2020. Αφού αναλυθεί θα γίνει σύγκριση με την περίπτωση μη εισαγωγής των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος. Στη συνέχεια θα κρατηθεί ως σενάριο αναφοράς για την διεξαγωγή του σεναρίου επενδύσεων.

7.2.5. Σενάριο επενδύσεων σε διασυνδεδετικές γραμμές μεταξύ των χωρών: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM για το έτος 2030

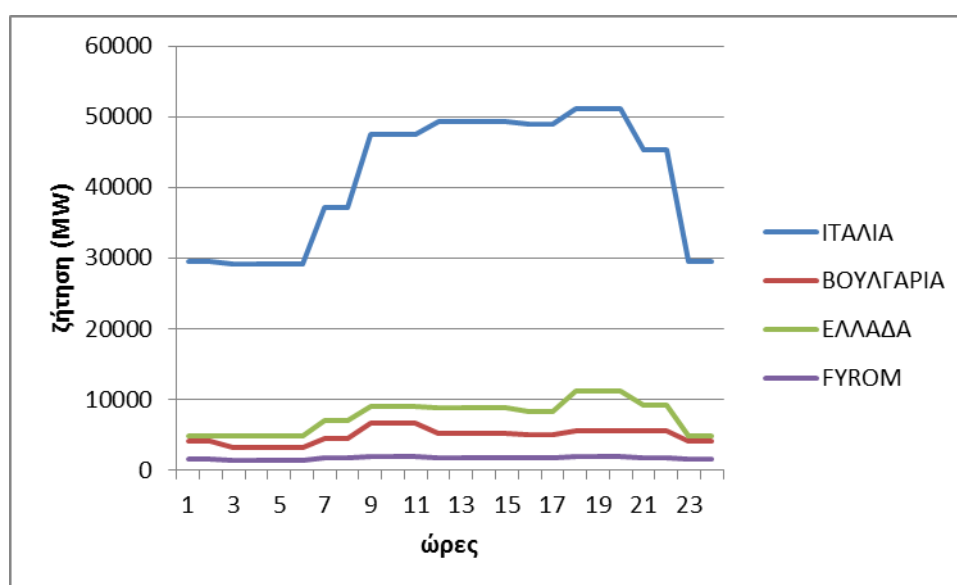
Σε αυτό το σενάριο θα μελετηθεί αν και κατά πόσο συμφέρει να γίνουν επενδύσεις στο διασυνδεδετικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των τεσσάρων προς μελέτη χωρών. Η ενοποίηση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα όταν επαρκούν οι διασυνδεδετικές γραμμές μεταξύ των χωρών που ενοποιούνται, να μπορούν να ανταλλάσσουν ηλεκτρική ισχύ με τρόπο που καθορίζεται από το

μηχανισμό εμμέσων δημοπρασιών της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό οδηγεί σε μείωση των υπερβολικά υψηλών τιμών ενέργειας αφού η χώρα με την υψηλότερη τιμή εκκαθάρισης θα εισάγει ηλεκτρική ενέργεια σε χαμηλότερη τιμή με αποτέλεσμα να πέφτει η δική της και αντίστοιχα θα ανεβαίνει της δεύτερης. Παράλληλα ένα ακόμα αποτέλεσμα είναι οι μη ραγδαία μεταβαλλόμενες τιμές ενέργειας από ώρα σε ώρα καθώς και αύξηση της γενικής ευημερίας των περιοχών. Με την υλοποίηση επενδυτικών σχεδίων που θα εξεταστούν στο σενάριο αυτό θα μελετηθεί εάν τα έσοδα που προκύπτουν από τη μεγαλύτερη διασυνοριακή ικανότητα διασύνδεσης θα καθιστούν ικανή την ανάκτηση του κόστους επένδυσης και θα γίνει αξιολόγησή τους με χρήση των βασικών ορθολογικών κριτηρίων.

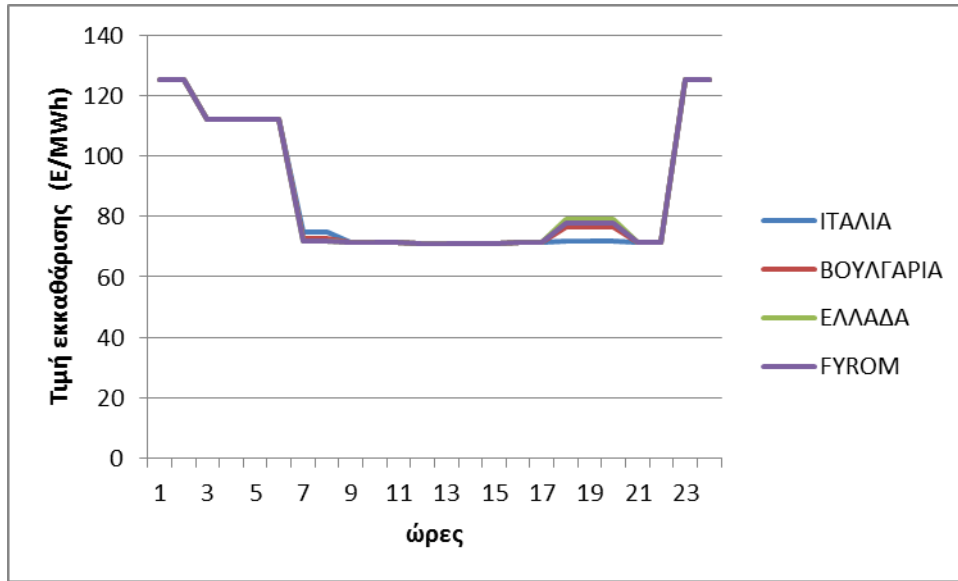
8.Αποτελέσματα αριθμητικής εφαρμογής του μοντέλου προ-ημερήσιων αγορών

8.1. Επίλυση της αγοράς για το έτος 2020 χωρίς την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM

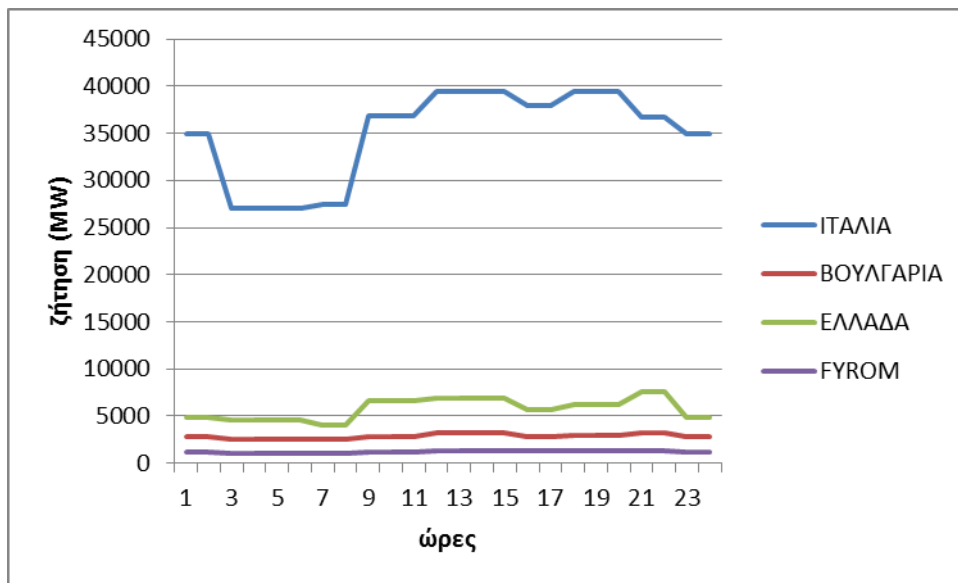
Παρατίθενται οι ωριαίες καμπύλες ζήτησης για τις δύο προς ανάλυση μέρες του σεναρίου καθώς και οι ωριαίες τιμές εκκαθάρισης της εκάστοτε περιοχής:



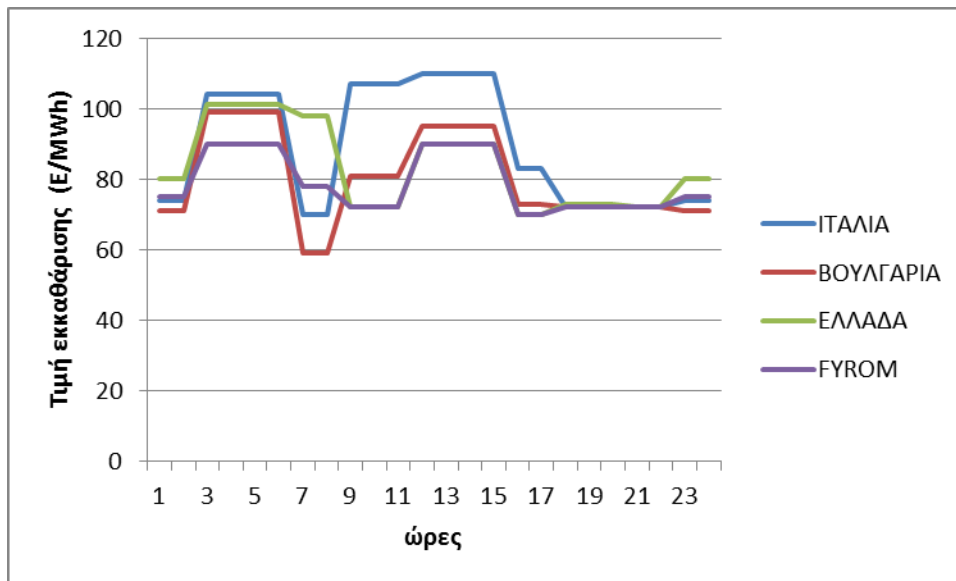
διάγραμμα 3: Καμπύλη ζήτησης για την πρώτη ημέρα του 2020 για τις χώρες Ιταλία, Ελλάδα, Βουλγαρία FYROM



διάγραμμα 4: Τιμές εκκαθάρισης (market clearing prices) για την πρώτη ημέρα του 2020 για τις χώρες Ιταλία, Ελλάδα, Βουλγαρία FYROM



διάγραμμα 5: Καμπύλη ζήτησης για την έκτη ημέρα του 2020 για τις χώρες Ιταλία, Ελλάδα, Βουλγαρία FYROM



διάγραμμα 6: Τιμές εκκαθάρισης (market clearing prices) για την έκτη ημέρα του 2020 για τις χώρες Ιταλία, Ελλάδα, Βουλγαρία FYROM

Παρατηρείται αρχικά πως οι τιμές εκκαθάρισης της εκάστοτε χώρας ακολουθούν την καμπύλη της αντίστοιχης ζήτησης και για τις δυο μέρες του σεναρίου που μελετήθηκαν. Εξαιρέση αποτελούν οι ώρες όπου το διασυνδεδετικό δίκτυο επαρκεί για ανταλλαγές ισχύος και υφίσταται ενοποίηση των αγορών. Σε εκείνες τις ώρες οι τιμές εκκαθάρισης παύουν να ακολουθούν την καμπύλη της ζήτησης αφού εξισώνονται. Υψηλότερες τιμές εκκαθάρισης παρατηρούνται στην Ιταλία αφού η ζήτησή της σε ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από αυτή των άλλων τριών χωρών αλλά και λόγω του μείγματος μονάδων έγχυσης ηλεκτρικής ισχύος που περιλαμβάνει, οι οποίες είναι κυρίως μονάδες φυσικού αερίου και συνδυασμένου κύκλου και έχοντας υψηλά μεταβλητά κόστη τιμολογούν την προσφερόμενή τους ενέργεια σε υψηλότερες τιμές. Έτσι παρατηρείται πως ως χώρα η Ιταλία συνεχώς εισάγει ενέργεια για να καλύψει τη ζήτησή της. Αντίστοιχα η Βουλγαρία παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές εκκαθάρισης αφού έχει αντίστοιχα φθηνότερες ως προς τα μεταβλητά κόστη μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες είναι κυρίως μονάδες πυρηνικής ενέργειας και μονάδες που έχουν ως καύσιμο το λιγνίτη. Έτσι η Βουλγαρία καταλήγει να εξάγει συνεχώς ενέργεια προς τις γειτονικές της χώρες. Η Ελλάδα και η FYROM σε ορισμένες ώρες που η οριακή τιμή συστήματός τους ορίζεται από λιγνιτικές μονάδες παρουσιάζουν χαμηλή τιμή εκκαθάρισης και καταλήγουν να εξάγουν. Σε άλλες ώρες που αυξάνεται απότομα η ζήτησή τους και εμφανίζοντας ανάγκη για παραπάνω ηλεκτρική ισχύ εντάσσουν στο πρόγραμμα λειτουργίας τους ευέλικτες μονάδες όπως αυτές του φυσικού αερίου, και αυξάνοντας το κόστος παραγωγής καταλήγουν σε υψηλές τιμές εκκαθάρισης και αναγκάζονται να εισάγουν (π.χ. τις ώρες που νυχτώνει και μειώνεται η παραγωγή τους από μονάδες ανανεώσιμης τεχνολογίας ενώ παράλληλα αυξάνεται η ζήτηση σε ηλεκτρική ισχύ).

	Ωριαίες τιμές εκκαθάρισης ανά χώρα (€/MWh)			
	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM
1	125,39	125,39	125,39	125,39
2	125,39	125,39	125,39	125,39
3	111,92	111,92	111,92	111,92
4	111,92	111,92	111,92	111,92
5	111,92	111,92	111,92	111,92
6	111,92	111,92	111,92	111,92
7	74,75	72,56	71,84	71,82
8	74,75	72,56	71,84	71,82
9	71,49	71,49	71,49	71,49
10	71,49	71,49	71,49	71,49
11	71,49	71,49	71,49	71,49
12	71,08	71,08	71,08	71,08
13	71,08	71,08	71,08	71,08
14	71,08	71,08	71,08	71,08
15	71,08	71,08	71,08	71,08
16	71,49	71,49	71,49	71,49
17	71,49	71,49	71,49	71,49
18	71,89	76,47	79,23	77,67
19	71,89	76,47	79,23	77,67
20	71,89	76,47	79,23	77,67
21	71,50	71,50	71,50	71,50
22	71,50	71,50	71,50	71,50
23	125,39	125,39	125,39	125,39
24	125,39	125,39	125,39	125,39

Πίνακας 6: τιμές εκκαθάρισης ανά περιοχή για τη μέρα 1. Με πράσινο υποδεικνύονται οι ώρες σύζευξης

Στο συγκεκριμένο σενάριο του έτους 2020 παρατηρείται ότι για τις δύο διαφορετικές μέρες που μελετήθηκαν απορρέουν αρκετά διαφοροποιημένα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα την πρώτη ημέρα ζήτησης έχουμε πολύωρη ισχυρή ζεύξη των αγορών ενέργειας (coupling) ενώ την έκτη ημέρα σύζευξη υφίσταται μόνο για δύο ώρες.

	Ωριαίες τιμές εκκαθάρισης ανά χώρα(E/MWh)			
	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM
1	74,00	71,00	80,00	75,00
2	74,00	71,00	80,00	75,00
3	104,00	99,00	101,00	90,00
4	104,00	99,00	101,00	90,00
5	104,00	99,00	101,00	90,00
6	104,00	99,00	101,00	90,00
7	70,00	59,00	98,00	78,00
8	70,00	59,00	98,00	78,00
9	107,00	81,00	72,00	72,00
10	107,00	81,00	72,00	72,00
11	107,00	81,00	72,00	72,00
12	110,00	95,00	90,00	90,00
13	110,00	95,00	90,00	90,00
14	110,00	95,00	90,00	90,00
15	110,00	95,00	90,00	90,00
16	83,00	73,00	70,00	70,00
17	83,00	73,00	70,00	70,00
18	72,00	72,00	73,00	72,00
19	72,00	72,00	73,00	72,00
20	72,00	72,00	73,00	72,00
21	72,00	72,00	72,00	72,00
22	72,00	72,00	72,00	72,00
23	74,00	71,00	80,00	75,00
24	74,00	71,00	80,00	75,00

Πίνακας 7: τιμές εκκαθάρισης ανά περιοχή για τη μέρα 6. Με πράσινο υποδεικνύονται οι ώρες σύζευξης

Στην πρώτη μέρα του σεναρίου παρατηρείται πως υφίσταται μεγαλύτερη διακύμανση στις τιμές της ζήτησης της Ιταλίας και της Ελλάδας ξεκινώντας από μικρότερες ελάχιστες τιμές φορτίου να καταλήγουν σε μεγαλύτερες τιμές αιχμής. Παράλληλα για τη Βουλγαρία και τη FYROM παρατηρείται αυξημένη ζήτηση σε κάθε ώρα. Μελετώντας τις καθαρές τους θέσεις καθώς και τις επιφορτίσεις των διασυνδεδετικών γραμμών εξάγονται τα εξής συμπεράσματα. Τις πρώτες ώρες της ημέρας 1 η Ιταλία έχει χαμηλότερη ζήτηση από αυτές της ημέρας 6 και έτσι την καλύπτει με εισαγωγές λιγότερης ισχύος που έχουν ως αποτέλεσμα λιγότερη επιφόρτιση των διασυνδεδετικών γραμμών χωρίς συμφόρηση γεγονός που καταλήγει σε σύζευξη αγορών (coupling). Παράλληλα εκείνες τις ώρες η Βουλγαρία έχοντας παραπάνω ζήτηση σε ενέργεια τη πρώτη μέρα σε σχέση με την έκτη παράγει περισσότερη μέσω των εγχώριων μονάδων της που έχουν χαμηλότερα μεταβλητά κόστη από αυτές των γειτονικών χωρών και έτσι δύναται να εξάγει παραπάνω ισχύ και να καλύπτει τόσο τη δική της ζήτηση όσο και αυτή των προς μελέτη χωρών. Σε μια γενικότερη ανάλυση μπορεί να παρατηρηθεί πως την ημέρα 1 υφίσταται περισσότερη αλληλεπίδραση των τεσσάρων χωρών με τις χώρες του υπολοίπου δικτύου και έτσι δύνανται να καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών τους αναγκών μέσω της παραγωγής και της ανταλλαγής ισχύος με

τις εξωγενείς χώρες αφήνοντας μόνο ένα μικρό μερίδιο ζήτησης να καλυφθεί από διασυνοριακές ανταλλαγές μεταξύ των προς μελέτη χωρών με αποτέλεσμα να επαρκεί η μεταξύ τους διασυνδετική ικανότητα και να έχουμε σύζευξη τιμών στις αγορές τους. Πιο συγκεκριμένα η Ιταλία εισάγει παραπάνω ισχύ από τις εξωγενείς χώρες και έτσι ανταλλάσει με την Ελλάδα μικρά ποσά ενέργειας (έως 300 MW) και άρα επαρκεί η διασύνδεσή της (500 MW) για να έχουμε σύζευξη. Η Βουλγαρία παράγει παραπάνω ισχύ στην πρώτη ημέρα αφού έχει και παραπάνω ζήτηση ενώ παράλληλα εξάγει στις εξωγενείς χώρες του μοντέλου και άλλα ποσά ισχύος καταλήγοντας να φτάνει σε αρκετά υψηλές τιμές εκκαθάρισης και παράλληλα να μένουν μικρά ποσά να καλυφθούν από Ελλάδα και FYROM που έχουν εξίσου έντονη αλληλεπίδραση με τις εξωγενείς χώρες με άμεσο αποτέλεσμα να επαρκούν οι μεταξύ τους διασυνδέσεις και έτσι να έχουμε σύζευξη. Την έκτη ημέρα ισχύει το ακριβώς αντίθετο. Έχουμε αρκετά λιγότερη αλληλεπίδραση μεταξύ των προς μελέτη χωρών και των εξωγενών που προηγουμένως συνέβαλλαν στην κάλυψη της ζήτησης και παράλληλη αύξηση των αναγκών εισαγωγής Ιταλίας, εξαγωγής Βουλγαρίας και εισαγωγής Ελλάδας με άμεσο αποτέλεσμα τη συμφόρηση των προς μελέτη γραμμών και της απόζευξης των αγορών των χωρών.

	Ωριαίες φορτίσεις ανά γραμμή σε MW για την ημέρα 1							Ωριαίες φορτίσεις ανά γραμμή σε MW για την ημέρα 2						
	k163GRBG	k164GRFY	k165GRFY	k166GRIT	k226BGFY	k227BGFY	k228BGFY	k163GRBG	k164GRFY	k165GRFY	k166GRIT	k226BGFY	k227BGFY	k228BGFY
1	-157,72	-114,79	-139,79	300,00	2,21	2,21	21,62	-346,60	-157,25	-191,49	-300,00	15,69	15,69	153,50
2	-156,46	-114,62	-139,58	300,00	2,11	2,11	20,60	-346,60	-157,18	-191,41	-300,00	15,70	15,70	153,58
3	-322,61	-180,36	-219,64	88,38	10,73	10,73	104,95	-116,70	-76,08	-92,64	300,00	2,65	2,65	25,88
4	-317,28	-180,36	-219,64	87,07	10,21	10,21	99,89	-116,70	-76,08	-92,64	300,00	2,65	2,65	25,88
5	-355,53	-180,36	-219,64	130,71	13,92	13,92	136,19	-116,70	-76,08	-92,64	300,00	2,65	2,65	25,88
6	-279,83	-153,56	-187,00	-64,98	9,64	9,64	94,24	-116,70	-76,08	-92,64	300,00	2,65	2,65	25,88
7	-148,50	38,82	47,28	300,00	18,84	18,84	184,25	-346,55	-160,59	-195,56	-300,00	15,31	15,31	149,73
8	-148,50	38,82	47,28	300,00	18,84	18,84	184,25	-346,55	-160,59	-195,56	-300,00	15,31	15,31	149,73
9	-108,19	15,26	18,58	-300,00	12,24	12,24	119,71	-95,45	62,35	75,92	300,00	16,38	16,38	160,16
10	-131,94	21,18	25,80	-300,00	15,22	15,22	148,85	-95,45	62,35	75,92	300,00	16,38	16,38	160,16
11	-132,70	21,20	25,82	-300,00	15,30	15,30	149,60	-95,45	62,35	75,92	300,00	16,38	16,38	160,16
12	-175,02	-31,46	-38,31	300,00	13,40	13,40	131,01	-85,40	-55,51	-67,60	300,00	1,95	1,95	19,11
13	-174,97	-31,46	-38,31	300,00	13,39	13,39	130,96	-86,96	-57,69	-70,25	300,00	1,86	1,86	18,17
14	-176,48	-32,48	-39,55	300,00	13,42	13,42	131,26	-86,96	-57,69	-70,25	300,00	1,86	1,86	18,17
15	-175,02	-31,46	-38,31	300,00	13,40	13,40	131,01	-67,75	-31,00	-37,75	300,00	3,04	3,04	29,71
16	18,91	116,34	141,68	111,42	11,44	11,44	111,87	-110,39	68,22	83,07	300,00	18,49	18,49	180,88
17	-28,55	83,18	101,29	300,00	12,26	12,26	119,90	-110,39	68,22	83,07	300,00	18,49	18,49	180,88
18	-420,70	-122,82	-149,56	-300,00	26,81	26,81	262,25	-409,67	-166,67	-202,96	-300,00	20,74	20,74	202,85
19	-420,70	-122,82	-149,56	-300,00	26,81	26,81	262,25	-409,67	-166,67	-202,96	-300,00	20,74	20,74	202,85
20	-420,70	-122,82	-149,56	-300,00	26,81	26,81	262,25	-409,67	-166,69	-202,99	-300,00	20,74	20,74	202,83
21	-392,23	-112,40	-136,88	-300,00	25,24	25,24	246,84	-300,05	-72,25	-87,98	300,00	20,87	20,87	204,16
22	-365,24	-118,58	-144,40	-300,00	21,92	21,92	214,34	-300,05	-72,25	-87,98	300,00	20,87	20,87	204,16
23	-155,42	-114,60	-139,55	300,00	2,01	2,01	19,65	-346,60	-157,25	-191,49	-300,00	15,69	15,69	153,50
24	-157,55	-114,54	-139,48	300,00	2,22	2,22	21,73	-346,60	-157,25	-191,49	-300,00	15,69	15,69	153,50

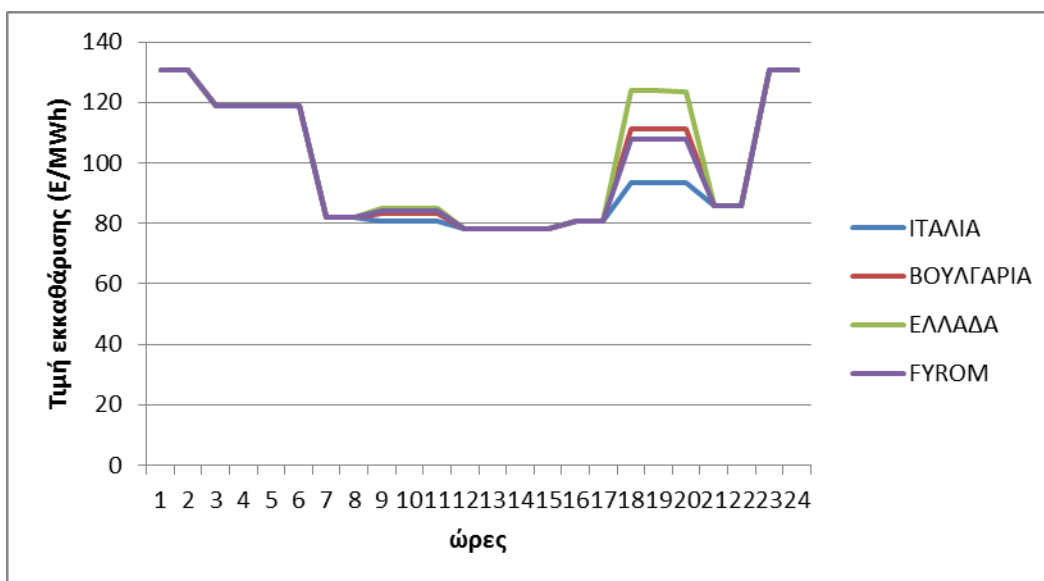
Πίνακας 8: ωριαία επιφόρτιση γραμμών διασύνδεσης μεταξύ των προς μελέτη χωρών σε MWh για τις ημέρες 1 και 6

	Καθαρή θέση σε MW (ημέρα1)					Καθαρή θέση σε MW (ημέρα6)			
	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM		ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM
1	4332,11	-585,39	191,09	-332,38	121	4187,02	-923,09	1268,67	-27,47
2	4332,11	-585,39	190,09	-331,38	122	4187,40	-923,09	1268,28	-27,47
3	5599,37	-1138,26	829,75	-386,35	123	6607,90	-985,21	-88,71	-772,04
4	5599,37	-1138,26	829,75	-386,35	124	6607,90	-985,21	-88,71	-772,04
5	5606,65	-1138,26	822,48	-386,35	125	6607,90	-985,21	-88,71	-772,04
6	5599,37	-1138,26	829,75	-386,35	126	6607,90	-985,21	-88,73	-772,03
7	5734,18	-909,14	-290,70	442,70	127	3960,23	-1387,72	1251,97	-180,70
8	5734,18	-909,14	-290,70	442,70	128	3960,23	-1387,72	1251,97	-180,70
9	3701,53	-246,29	414,03	637,54	129	4646,17	-1082,58	-508,98	26,85
10	3701,53	-246,29	414,03	637,54	130	4646,17	-1082,58	-508,98	26,85
11	3701,53	-246,29	414,03	637,54	131	4646,17	-1082,58	-508,98	26,85
12	3374,10	-691,84	17,08	501,21	132	2513,08	-1035,46	-219,69	-701,00
13	3374,10	-691,84	17,08	501,21	133	2513,04	-1035,46	-210,97	-709,67
14	3368,31	-691,84	22,87	501,21	134	2513,04	-1035,46	-210,97	-709,67
15	3374,10	-691,84	17,08	501,21	135	2513,59	-1035,46	-317,97	-603,24
16	5120,45	-647,38	-587,65	464,77	136	4689,94	-977,26	-511,46	110,89
17	5120,45	-647,38	-587,65	464,77	137	4689,94	-977,26	-511,46	110,89
18	3384,94	-1015,61	1279,63	640,29	138	147,66	-1830,36	1384,30	92,22
19	3384,94	-1015,61	1279,63	640,29	139	147,66	-1830,36	1384,30	92,22
20	3384,94	-1015,61	1279,63	640,29	140	147,60	-1830,36	1384,35	92,22
21	3329,11	-1031,82	1182,75	559,71	141	1135,51	-1291,36	283,16	158,39
22	3329,11	-1031,82	1182,75	559,71	142	1135,51	-1291,36	283,16	158,39
23	4332,11	-585,39	190,09	-331,38	143	4187,02	-923,09	1268,67	-27,47
24	4332,11	-585,39	190,09	-331,38	144	4187,02	-923,09	1268,67	-27,47

Πίνακας 9: Καθαρές θέσεις σε MW των προς μελέτη χωρών για την πρώτη και την έκτη ημέρα με επισήμανση κόκκινου χρώματος για τις ακραίες τιμές εισαγωγών ή εξαγωγών που συμβάλλουν στην απόξευση των τιμών των αγορών και με πράσινο τις τιμές που πετυχαίνουν ο αντίθετο

8.2. Επίλυση της αγοράς για το έτος 2020 με την ενσωμάτωση συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος για τις χώρες: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM

Μετά την επίλυση του μοντέλου με ενσωματωμένες τις προσφορές MIC έχουμε για την πρώτη μέρα:



διάγραμμα 7: Τιμές εκκαθάρισης (market clearing prices) για την πρώτη ημέρα του 2020 για τις χώρες Ιταλία, Ελλάδα, Βουλγαρία FYROM με ενσωματωμένους περιορισμούς συνθήκης ελαχίστου εισοδήματος

	Ωριαία επιφόρτιση γραμμών σε MW για τη μέρα 1						
	k163GRBG	k164GRFY	k165GRFY	k166GRIT	k226BGFY	k227BGFY	k228BGFY
1	-184,80	-124,50	-151,61	300,00	3,73	3,73	36,47
2	-199,72	-109,47	-133,31	300,00	6,89	6,89	67,41
3	-273,21	-131,01	-159,54	-223,22	11,57	11,57	113,12
4	-265,82	-125,79	-153,18	-253,01	11,45	11,45	111,94
5	-257,19	-116,62	-142,01	-300,00	11,65	11,65	113,98
6	-348,61	-180,36	-219,64	58,40	13,25	13,25	129,62
7	-372,94	-111,74	-136,06	-300,00	23,44	23,44	229,29
8	-372,94	-112,46	-136,94	-300,00	23,36	23,36	228,48
9	-310,43	-103,83	-126,44	-300,00	18,28	18,28	178,78
10	-310,43	-103,83	-126,44	-300,00	18,28	18,28	178,78
11	-310,43	-103,83	-126,44	-300,00	18,28	18,28	178,78
12	-233,95	-59,15	-72,03	-300,00	15,95	15,95	156,04
13	-213,47	-63,03	-76,75	-300,00	13,53	13,53	132,28
14	-215,65	-62,18	-75,72	-300,00	13,83	13,83	135,29
15	-192,35	-67,84	-82,62	-300,00	10,93	10,93	106,86
16	-223,53	-56,99	-69,40	-300,00	15,19	15,19	148,56
17	-217,46	-58,46	-71,19	-300,00	14,43	14,43	141,16
18	-460,70	-140,45	-171,04	-300,00	28,68	28,68	280,53
19	-460,70	-140,45	-171,04	-300,00	28,68	28,68	280,53
20	-460,70	-140,45	-171,04	-300,00	28,68	28,68	280,53
21	-336,44	-90,51	-110,22	-143,17	22,32	22,32	218,33
22	-336,37	-90,46	-110,16	-143,42	22,32	22,32	218,31
23	-186,87	-124,51	-151,63	300,00	3,93	3,93	38,43
24	-175,91	-121,38	-147,80	271,86	3,22	3,22	31,53

Πίνακας 10: ωριαία επιφόρτιση γραμμών διασύνδεσης μεταξύ των προς μελέτη χωρών σε MW για τη μέρα 1 με συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος

	Καθαρή θέση σε MW (ημέρα1)			
	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM
1	4130,61	-580,31	287,14	-232,02
2	3927,33	-580,31	287,14	-28,73
3	5365,26	-1135,77	919,10	-244,08
4	5365,26	-1135,77	919,10	-244,08
5	5365,26	-1135,77	919,10	-244,08
6	5365,26	-1135,77	919,10	-244,08
7	4129,49	-747,62	1164,22	430,94
8	4129,49	-747,62	1164,22	430,94
9	3138,62	-360,91	1120,96	608,14
10	3138,62	-360,91	1120,96	608,14
11	3138,62	-360,91	1120,96	608,14
12	2424,82	-524,12	798,65	501,21
13	2424,82	-524,12	798,65	501,21
14	2424,82	-524,12	798,65	501,21
15	2424,82	-524,12	798,65	501,21
16	3559,04	-477,11	803,50	464,77
17	3559,04	-477,11	803,50	464,77
18	3431,36	-1115,48	1374,58	598,79
19	3431,36	-1115,48	1374,58	598,79
20	3431,36	-1115,48	1374,58	598,79
21	3786,32	-1146,44	869,56	530,31
22	3786,32	-1146,44	869,56	530,31
23	4138,67	-580,31	287,14	-240,08
24	4155,20	-580,31	287,14	-256,61

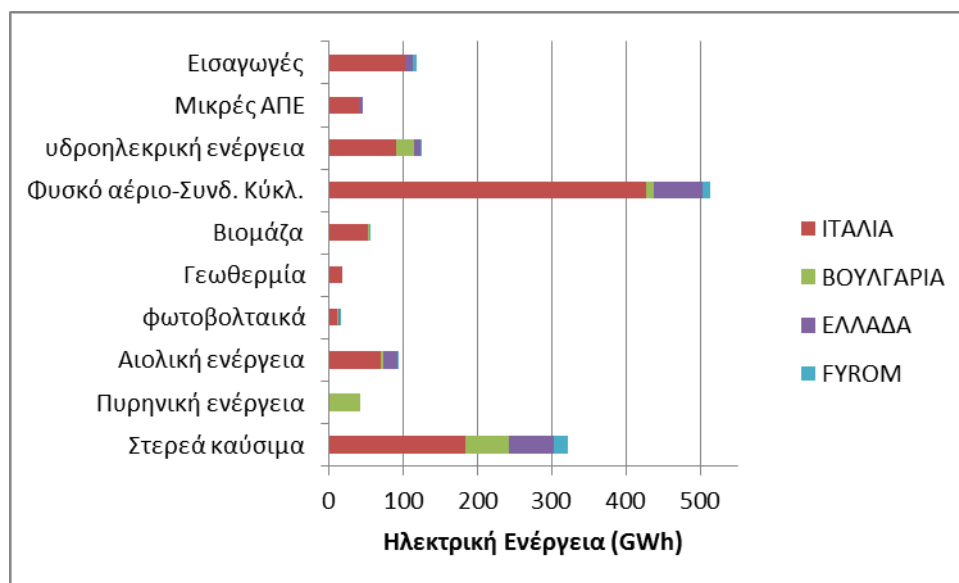
Πίνακας 11: Καθαρές θέσεις σε MW των προς μελέτη χωρών για την πρώτη ημέρα με συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος

Πίνακας μέσης ωριαίας τιμής εκκαθάρισης ανά χώρα (€/MWh)				
	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM
χωρίς την ενσωμάτωση MIC	87,47	87,86	88,14	87,94
με την ενσωμάτωση MIC	97,14	99,70	101,48	99,38

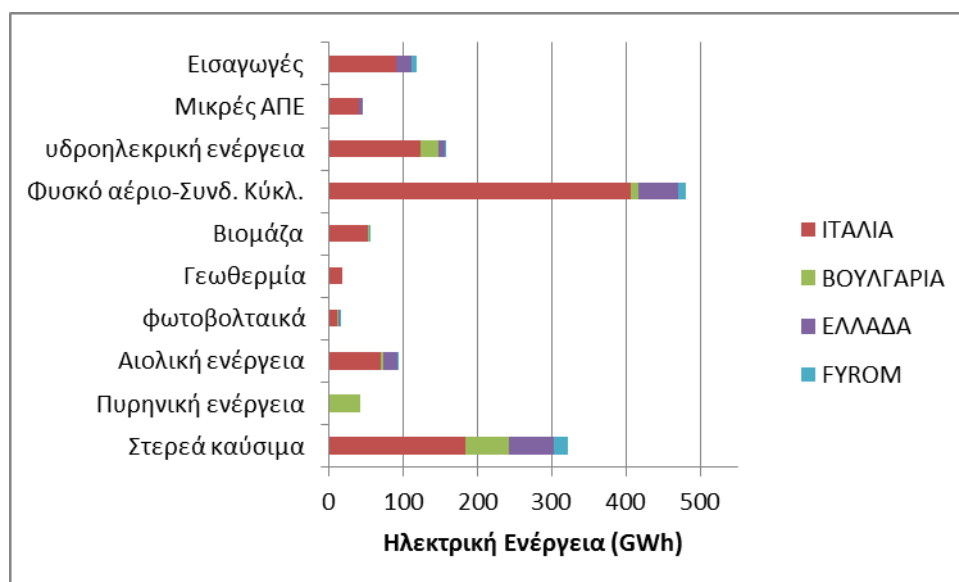
Πίνακας 12: μεταβολή στη μέση τιμή εκκαθάρισης των χωρών μεταξύ των δύο σεναρίων για το 2020

Παρατηρείται αύξηση των τιμών εκκαθάρισης αφού πλέον οι μονάδες που εντάσσονταν στην τελευταία σειρά φόρτισης και υπάγονται στην κατηγορία των μονάδων συνθήκης ελαχίστου εισοδήματος MIC τώρα έχουν αυξήσει τις τιμές προσφοράς τους ώστε να δύνανται να ανακτήσουν τα κόστη ενεργοποίησής τους. Οι αλλαγές στις τιμές γίνονται πολύ πιο έντονες τις ώρες που αλλάζει η ημέρα σε νύχτα και έτσι σταματάει η έγχυση ισχύος από φωτοβολταϊκά ενώ παράλληλα αυξάνεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Τις ώρες αυτές δημιουργείται ανάγκη για ευέλικτες μονάδες που μπορούν να αυξήσουν γρήγορα την παραγόμενη ισχύ τους. Η κατηγορία αυτών των μονάδων απαρτίζεται κυρίως από μονάδες φυσικού αερίου ή μονάδες

συνδυασμένου κύκλου οι οποίες υπάγονται στις μονάδες που υποβάλλουν προσφορές ελαχίστου εισοδήματος. Έτσι όπως βλέπουμε στο διάγραμμα 7 έχουμε εκείνες τις ώρες τη μεγαλύτερη μεταβολή η οποία διαφαίνεται καλύτερα και αν το δούμε σε αντιπαραβολή με το διάγραμμα 4. Οι καθαρές θέσεις και οι φορτίσεις των γραμμών μεταξύ των προς μελέτη χωρών μεταβάλλονται ελάχιστα.



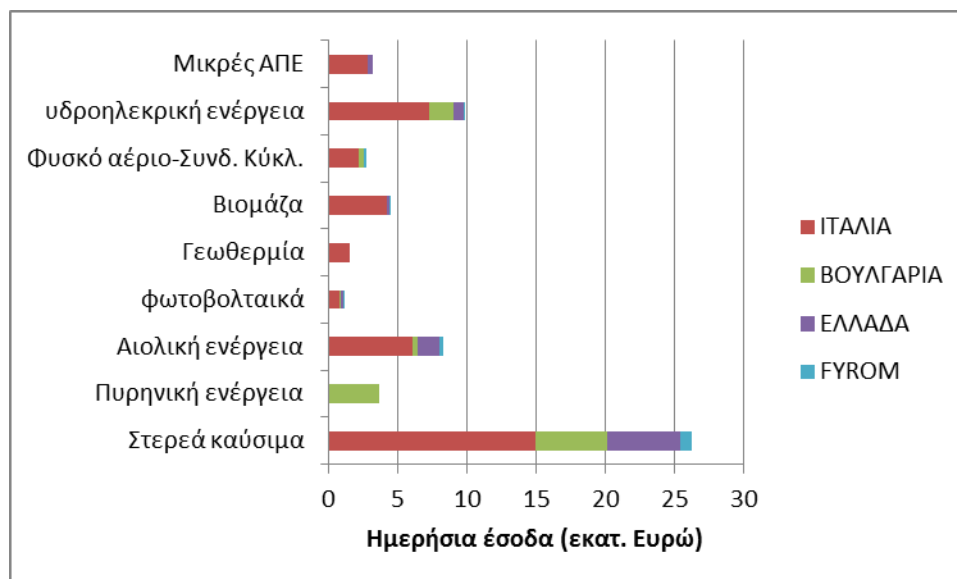
Πίνακας 13: Ημερήσια αποδεκτή προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία καυσίμου μονάδας παραγωγής και καθαρές εισαγωγές (GWh) χωρίς την ενσωμάτωση ελαχίστου εισοδήματος για το έτος 2020



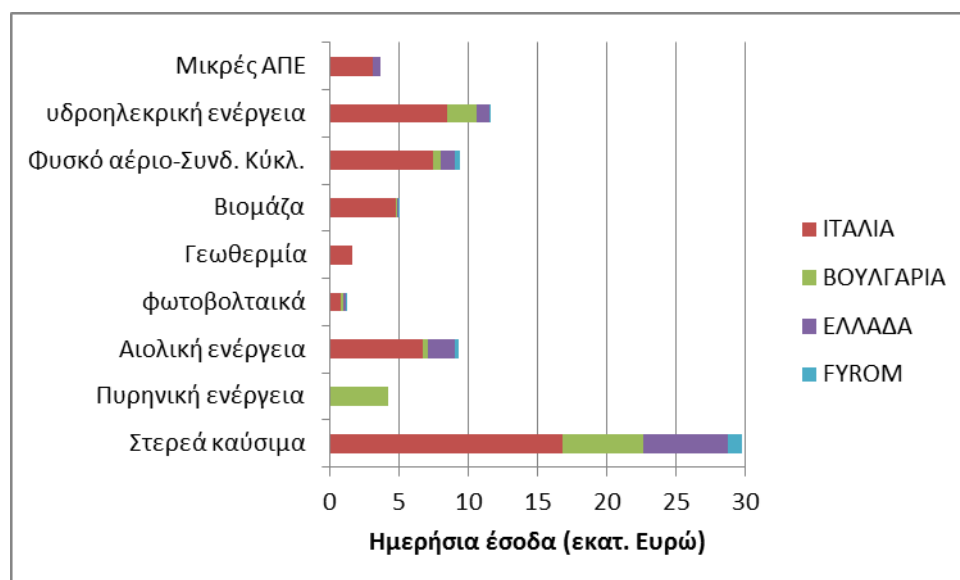
Πίνακας 14: Ημερήσια αποδεκτή προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία καυσίμου μονάδας παραγωγής και καθαρές εισαγωγές (GWh) μετά την ενσωμάτωση ελαχίστου εισοδήματος για το έτος 2020

Παρατηρείται πως οι αποδεκτές μονάδες συνδυασμένου κύκλου και φυσικού αερίου είναι λιγότερες καθώς έχουν αυξήσει την τιμή προσφοράς τους ώστε να δύνανται να ανακτήσουν τα κόστη τους και παράλληλα ο αλγόριθμος τους επιτρέπει την ένταξη

μόνο όταν δύνανται να το πετύχουν αυτό, γεγονός που οδηγεί σε απόσυρση μεριδίου μονάδων ελαχίστου εισοδήματος από το πρόγραμμα λειτουργίας των μονάδων. Παράλληλα σε ορισμένες περιπτώσεις όπου η υδροηλεκτρική ενέργεια δεν χρησιμοποιούταν στο μέγιστο της δυναμικότητάς της, πλέον το κάνει καθώς γίνεται προσπάθεια αντιστάθμισης των πολύ υψηλών τιμών εκκαθάρισης που διαμορφώνονται με την ενσωμάτωση των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος των μονάδων αιχμής.



Πίνακας 15: Ημερήσια έσοδα αποδεκτών μονάδων προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία καυσίμου μονάδας χωρίς την ενσωμάτωση συνθήκης ελαχίστου εισοδήματος για το έτος 2020 (για τις MIC είναι επιπλέον του κόστους ενεργοποίησης)

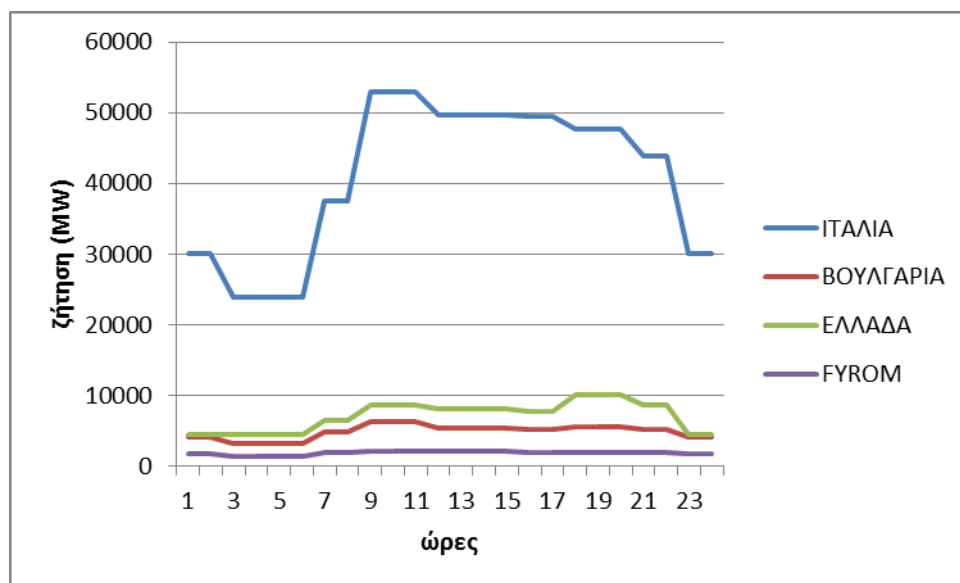


Πίνακας 16: Ημερήσια έσοδα αποδεκτών μονάδων προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία καυσίμου μονάδας μετά την ενσωμάτωση συνθήκης ελαχίστου εισοδήματος για το έτος 2020 (για τις MIC είναι επιπλέον του κόστους ενεργοποίησης)

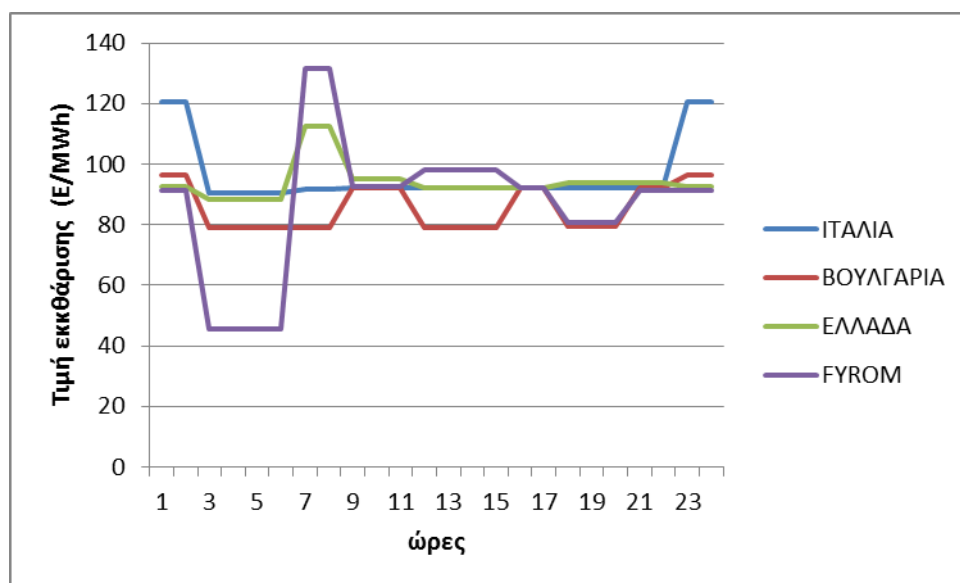
Από τους παραπάνω πίνακες που αφορούν τα έσοδα των αποδεκτών μονάδων παρατηρείται πως οι μονάδες φυσικού αερίου και συνδυασμένου κύκλου που γίνονται αποδεκτές αυξάνουν τα έσοδά τους. Αυτό είναι εύλογο καθώς η ένταξή τους κρίνεται απαραίτητη στις ώρες αιχμής και με την αύξηση των τιμών προσφοράς τους που γίνεται κατά την ενσωμάτωση στο μοντέλο των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος, καθίστανται ικανές να αποκομίσουν μεγαλύτερα έσοδα και να ανακτήσουν τόσο τα κόστη τους, όσο και επιπλέον κέρδος. Σημειώνεται πως μαζί με τις μονάδες αυτές αυξάνουν τα έσοδά τους και οι μονάδες που είναι σε χαμηλότερη σειρά φόρτισης όπως αλώστε ήταν αναμενόμενο αφού έχουν χαμηλότερο μεταβλητό κόστος και η τιμή εκκαθάρισης αυξάνεται, με σημαντικές αυξήσεις στα έσοδα των μονάδων στερεών καυσίμων που είναι χαμηλά στη σειρά φόρτισης. Αυτό υφίσταται πιο έντονα στις χώρες που χρησιμοποιούν πολλές μονάδες που υπάγονται στην κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος όπως η Ιταλία, ενώ σε άλλες που βασίζουν την παραγωγή τους σε μονάδες χαμηλότερου μεταβλητού κόστους, όπως αυτές της πυρηνικής ενέργειας και του λιγνίτη στη Βουλγαρία και δεν έχουν υψηλή τιμή εκκαθάρισης, δεν παρατηρείται τόσο έντονη αύξηση εσόδων. Από τις 118 προσφορές ελαχίστου εισοδήματος γίνονται αποδεκτές και ταυτόχρονα ικανές να ανακτήσουν τα κόστη τους 66. Πρόκειται κυρίως για μικρές και ευέλικτες μονάδες οι οποίες εντάσσονται στις ώρες αιχμής 9-11 το πρωί για να καλύψουν τη ζήτηση και το βράδυ στην αλλαγή ημέρας-νύχτας μετά την ώρα 18 όπου πάλι αυξάνει με παράλληλη μείωση έγχυσης ισχύος από μονάδες ανανεώσιμης τεχνολογίας. Μεγαλύτερη συμμετοχή μονάδων ελαχίστου εισοδήματος έχει η Ιταλία καθώς έχει και περισσότερες μονάδες φυσικού αερίου και συνδυασμένου κύκλου από τις υπόλοιπες χώρες.

8.3. Επίλυση της αγοράς για το έτος 2030 χωρίς ενσωματωμένες συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος

Παρατίθεται η ωριαία καμπύλη ζήτησης για την προς ανάλυση μέρα του σεναρίου καθώς και οι ωριαίες τιμές εκκαθάρισης της εκάστοτε περιοχής:



διάγραμμα 8: Καμπύλη ζήτησης για την πρώτη ημέρα του 2030 για τις χώρες Ιταλία, Ελλάδα, Βουλγαρία FYROM



διάγραμμα 9: Τιμές εκκαθάρισης (market clearing prices) για την πρώτη ημέρα του 2030 για τις χώρες Ιταλία, Ελλάδα, Βουλγαρία FYROM

Όπως και για το έτος 2020 έτσι και για το 2030 παρατηρείται πως τα διαγράμματα των τιμών εκκαθάρισης των προς μελέτη χωρών ακολουθούν τις καμπύλες της ζήτησής τους με εξαίρεση πάλι τις ώρες που υφίσταται σύζευξη των αγορών όπου οι τιμές προσεγγίζουν η μια την άλλη και τείνουν να εξισωθούν, πράγμα που συμβαίνει όταν επαρκεί η διασυνοριακή ικανότητα διασύνδεσης όπου και έχουμε σύζευξη αγορών.

Οι χώρες ανταλλάσσουν ενέργεια πάλι σύμφωνα με το μηχανισμό των εμμέσων δημοπρασιών όπου αυτές με τις χαμηλότερες τιμές εκκαθάρισης εξάγουν σε αυτές με τις μεγαλύτερες. Πιο συγκεκριμένα η Βουλγαρία αποτελεί χώρα που μονίμως εξάγει λόγω των χαμηλότερων οριακών τιμών συστήματος που ορίζονται από τις χαμηλού μεταβλητού κόστους λιγνιτικές της μονάδες και τις μονάδες πυρηνικής ενέργειας, αλλά και λόγω της λιγότερης ζήτησης σε σχέση με τις άλλες χώρες. Συνεχώς εξάγει ενέργεια στην Ελλάδα εκτός από τις ώρες 11-2 που η δεύτερη έχει τη χαμηλότερή της ζήτηση και αφού την καλύπτει η Ελλάδα εξάγει σε όλες τις γειτονικές της χώρες ενέργεια σε ανταγωνιστικά χαμηλές τιμές αφού πλέον οριακή τιμή συστήματος ορίζουν οι μεγάλες λιγνιτικές της μονάδες. Τις ώρες 7-8 που αρχίζει να αυξάνεται σε όλες τις χώρες η ζήτηση μεγαλώνει απότομα στη Βουλγαρία η τιμή εκκαθάρισης αφού καλείται να καλύψει τόσο τη ζήτησή της ίδιας όσο και μέσω εξαγωγών τη ζήτηση άλλων χωρών. Μειώνεται ελάχιστα η εγχώρια παραγωγή της μέσω ανεμογεννητριών και έτσι εντάσσει στο πρόγραμμα λειτουργίας τις μονάδες συνδυασμένου κύκλου που προσφέρουν ενέργεια σε υψηλή τιμή και μεγιστοποιείται η τιμή εκκαθάρισής της ενώ παράλληλα χρησιμοποιεί και της μονάδες υδροηλεκτρικής παραγωγής της για να αντισταθμίσει τη ζήτηση. Μειώνονται επίσης όλες οι εξαγωγές της πέραν από αυτές στην Ελλάδα που και σε αυτή έχει αυξηθεί απότομα η ζήτηση. Οι δυο εναπομένουσες χώρες εισάγουν ηλεκτρική ενέργεια από Βουλγαρία ενώ η Ελλάδα εισάγει όσο τα όρια της επιτρέπουν και από Ιταλία. Με το να εξάγει ενέργεια η FYROM στην Ελλάδα αυτές τις ώρες οδηγείται σε ακόμα υψηλότερες τιμές εκκαθάρισης αλλά επειδή η ζήτηση στην Ελλάδα είναι τριπλάσια και ο αλγόριθμος επιλύει το πρόβλημα με βάση την γενική ευημερία είναι πιο συμφέρουσα κίνηση να μην ανεβεί πολύ η τιμή της Ελλάδας γιατί πολλαπλασιασμένη με τη ζήτηση προκύπτει παραπάνω ζημία σε σχέση με αυτή που θα προέκυπτε με μονομερή άνοδο της τιμής της Ελλάδας. Παράλληλα εκείνες τις ώρες η FYROM εντάσσει στο πρόγραμμα λειτουργίας τις μονάδες αιχμής της οι οποίες συμβάλλουν επίσης στην άνοδο τις οριακής τιμής συστήματος της αφού την καθορίζουν.

Η Βουλγαρία εξάγει ενέργεια σε όλες τις χώρες με τις οποίες είναι συνδεδεμένη και αυτό συνεπάγεται αύξηση της τιμής εκκαθάρισής της (μηχανισμός εμμέσων δημοπρασιών). Όταν αρχίζει να μειώνεται η ζήτηση στην Ελλάδα ακολουθεί την πτώση και η οριακή τιμή της και έτσι εξάγει στις άλλες χώρες ενώ όταν αρχίζει ελαφρώς να αυξάνεται γίνεται το αντίθετο.

Η Ιταλία είναι χώρα που μονίμως εισάγει ηλεκτρική ενέργεια λόγω των υψηλών οριακών τιμών συστήματος που ορίζονται από τις μονάδες φυσικού αερίου και συνδυασμένου κύκλου που χρησιμοποιεί, αλλά και λόγω της υψηλότερης ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια που έχει σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες. Παρόλα αυτά τις πρωινές ώρες αιχμής φορτίου 9-11 αφού έχει εντάξει μονάδες που παράγουν αρκετή ισχύ για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της και σε ανταγωνιστικές τιμές σε σχέση με τις γειτονικές της χώρες είναι σε θέση να εξάγει σε αυτές που αυξάνεται πάρα πολύ και απότομα η ζήτησή τους όπως στην Ελλάδα. Επίσης όσο προχωράνε οι ώρες τις ημέρας και εντάσσονται στην έγχυση ισχύος τα φωτοβολταϊκά καθώς και με την εισαγωγή ισχύος από την φθηνότερη Ελλάδα πέφτει η τιμή ισορροπίας της και τείνει να εξισωθεί με των άλλων χωρών. Όσον αφορά τη FYROM βλέπουμε πως τις πρωινές ώρες 2-6 που έχει αρκετά χαμηλή ζήτηση, δύναται να την καλύψει με τη χρήση των μονάδων ανανεώσιμης τεχνολογίας της (ΑΠΕ) και με έγχυση ισχύος από μονάδες που χρησιμοποιούν λιγνίτη. Έτσι η τιμή εκκαθάρισής της είναι αρκετά χαμηλή για τις ώρες αυτές και μπορεί να εξάγει ενέργεια στις γειτονικές της.

	Οριαία επιφόρτιση γραμμών σε MW για τη μέρα εξέτασης του 2030							
	k163GRBG	k164GRFY	k165GRFY	k166GRIT	k226BGFY	k227BGFY	k228BGFY	k356GRIT
1	53,48	94,08	114,57	271,38	5,54	5,54	54,21	200,93
2	53,48	94,08	114,57	271,38	5,54	5,54	54,21	200,93
3	-422,17	-127,32	-155,04	300,00	26,44	26,44	258,62	-117,59
4	-422,17	-127,32	-155,04	300,00	26,44	26,44	258,62	-117,59
5	-422,17	-127,32	-155,04	300,00	26,44	26,44	258,62	-117,59
6	-422,17	-127,32	-155,04	300,00	26,44	26,44	258,62	-117,59
7	-214,59	-93,78	-114,20	-300,00	10,12	10,12	99,03	15,50
8	-200,77	-81,32	-99,03	-300,00	10,20	10,20	99,81	21,03
9	-421,91	-179,23	-218,26	-300,00	20,50	20,50	200,45	-200,00
10	-421,91	-179,16	-218,17	-300,00	20,50	20,50	200,53	-200,00
11	-421,91	-179,23	-218,26	-300,00	20,49	20,49	200,45	-200,00
12	-24,60	55,55	67,65	124,77	8,72	8,72	85,33	118,44
13	-24,60	55,55	67,65	124,77	8,72	8,72	85,33	118,44
14	-24,60	55,55	67,65	124,77	8,72	8,72	85,33	118,44
15	-24,60	55,55	67,65	124,77	8,72	8,72	85,33	118,44
16	-85,25	47,33	57,63	300,00	13,67	13,67	133,71	102,05
17	-85,74	47,17	57,44	300,00	13,70	13,70	134,00	103,15
18	-508,75	-167,97	-204,54	-300,00	30,21	30,21	295,44	-132,42
19	-508,75	-167,97	-204,54	-300,00	30,21	30,21	295,44	-132,42
20	-508,75	-167,97	-204,54	-300,00	30,21	30,21	295,44	-132,42
21	-434,01	-180,36	-219,64	-300,00	21,54	21,54	210,67	-163,47
22	-434,01	-180,36	-219,64	-300,00	21,54	21,54	210,67	-163,47
23	53,48	94,08	114,57	271,38	5,54	5,54	54,21	200,93
24	53,44	94,07	114,56	271,22	5,55	5,55	54,24	201,09

Πίνακας 17: οριαία επιφόρτιση γραμμών διασύνδεσης μεταξύ των προς μελέτη χωρών σε MWh για τη μέρα 1 του 2030 χωρίς συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος

	Ωριαίες τιμές εκκαθάρισης ανά χώρα(E/MWh)			
	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM
1	120,54	96,53	92,47	91,47
2	120,54	96,53	92,47	91,47
3	90,43	79,10	88,50	45,50
4	90,43	79,10	88,50	45,50
5	90,43	79,10	88,50	45,50
6	90,43	79,10	88,50	45,50
7	91,73	79,20	112,68	131,58
8	91,73	79,20	112,68	131,58
9	92,16	92,14	95,23	92,60
10	92,16	92,14	95,23	92,60
11	92,16	92,14	95,23	92,60
12	92,20	79,00	92,20	98,26
13	92,20	79,00	92,20	98,26
14	92,20	79,00	92,20	98,26
15	92,20	79,00	92,20	98,26
16	92,26	92,26	92,26	92,26
17	92,26	92,26	92,26	92,26
18	92,26	79,60	94,09	80,63
19	92,26	79,60	94,09	80,63
20	92,26	79,60	94,09	80,63
21	92,16	92,24	93,69	91,39
22	92,16	92,24	93,69	91,39
23	120,54	96,53	92,47	91,47
24	120,54	96,53	92,47	91,47

Πίνακας 18: τιμές εκκαθάρισης ανά περιοχή για τη πρώτη μέρα του 2030. Με πράσινο υποδεικνύονται οι ώρες σύζευξης (coupling)

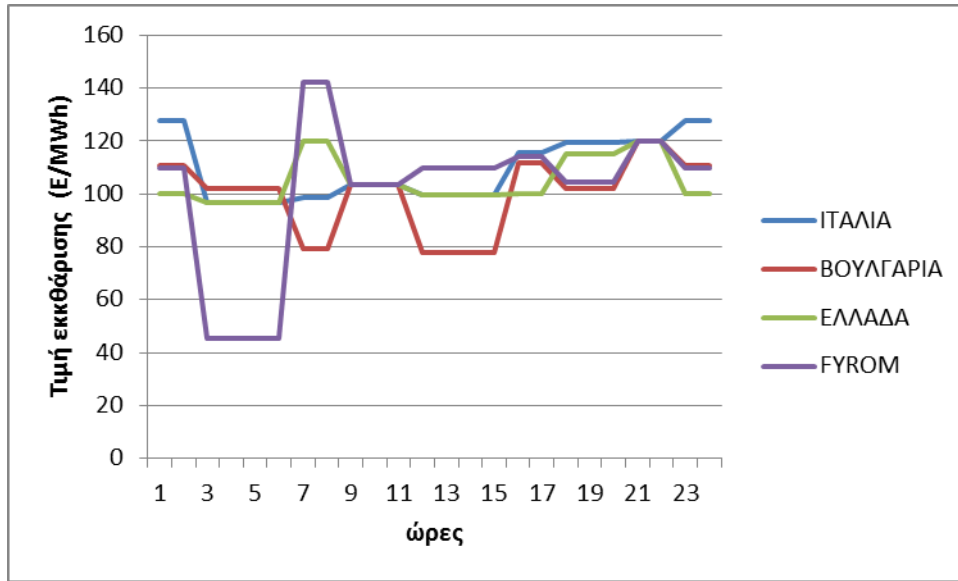
Παρατηρούμε πως σύζευξη αγορών έχουμε τις ώρες 16-17 δηλαδή λίγο μετά την αιχμή φορτίου αφού συμμετέχουν πλέον στην έγχυση οι περισσότερες μονάδες των χωρών, έχει σταθεροποιηθεί η καμπύλη ζήτησης και πλέον αφού επαρκούν τα όρια των γραμμών διασύνδεσης των χωρών διατηρείται σταθερό και ισχυρό το συνολικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ρυθμιστικών ανταλλαγών ισχύος. Παράλληλα κοντά στη σύζευξη φτάνουν οι χώρες τις ώρες 9-11 και 21-23 όπου έχουμε αιχμή φορτίου και ενεργοποιούνται οι περισσότερες μονάδες τους, αλλά η απότομη μεταβολή σε ζήτηση οδηγεί σε προσπάθεια για κάλυψη από πολλές διασυννοριακές ανταλλαγές ισχύος που εν τέλει καταλήγουν σε συμφόρηση των γραμμών και κατακερματισμό της ενοποιημένης αγοράς. Σημειώνεται πως οι τιμές εκκαθάρισης είναι αυξημένες σε σχέση με το έτος 2020 παρόλο που έχουμε μικρή μείωση στην μέση ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό οφείλεται στην μεταβολή του τρόπου τιμολόγησης των μονάδων όπως υποδεικνύεται στο διάγραμμα 2 όπου έχουμε αυξημένες τιμές προσφοράς κατά τη διάρκεια της ημέρας που και η ζήτηση είναι αυξημένη, εν αντιθέσει του έτους 2020 που έχουμε αυξημένες τιμές προσφοράς τις νυχτερινές ώρες όπου η ζήτηση είναι χαμηλότερη.

	Καθαρή θέση σε Mw ημέρα του 2030			
	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM
1	3630,39	-1000,53	-1010,22	-296,62
2	3630,39	-1000,53	-1010,22	-296,62
3	756,10	-902,55	777,64	510,36
4	756,10	-902,55	777,64	510,36
5	756,10	-902,55	777,64	510,36
6	756,10	-902,55	777,64	510,36
7	3659,97	-442,01	770,11	-362,56
8	3666,65	-423,66	705,13	-322,62
9	-557,02	-933,79	1624,40	166,41
10	-556,85	-933,79	1624,24	166,41
11	-557,02	-933,79	1624,40	166,41
12	4023,00	-509,81	-559,33	-18,29
13	4023,00	-509,81	-559,33	-18,29
14	4023,00	-509,81	-559,33	-18,29
15	4023,00	-509,81	-559,33	-18,29
16	2436,15	-982,43	-558,62	34,78
17	2436,15	-982,43	-558,62	34,78
18	3541,90	-1560,49	1600,84	498,06
19	3541,90	-1560,49	1600,84	498,06
20	3541,90	-1560,49	1600,84	498,06
21	975,68	-1721,24	1539,43	-20,09
22	975,68	-1721,24	1539,43	-20,09
23	3630,39	-1000,53	-1010,22	-296,62
24	3630,34	-1000,53	-1010,17	-296,62

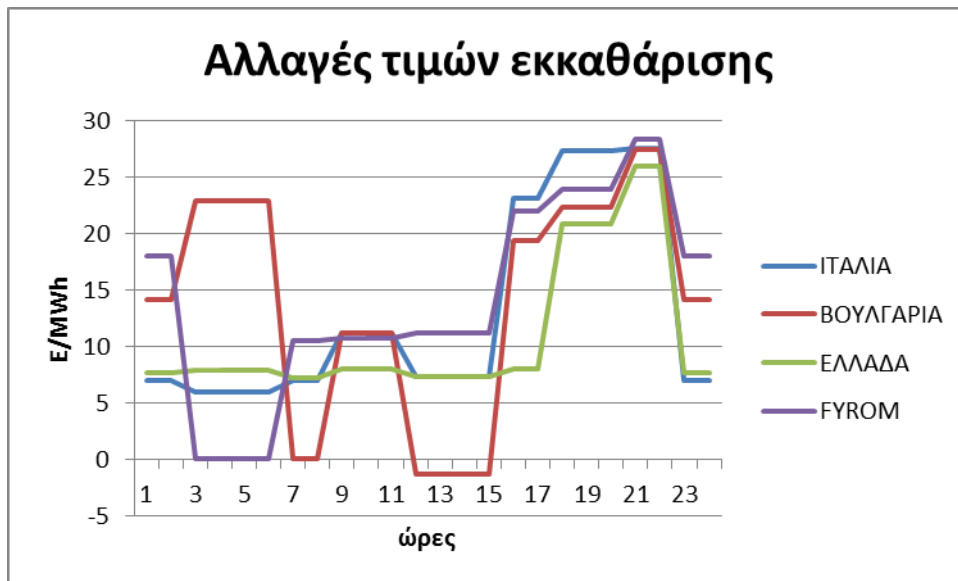
Πίνακας 19: Καθαρές θέσεις σε MW των προς μελέτη χωρών για την πρώτη ημέρα του 2030 χωρίς συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος

8.4. Επίλυση της αγοράς για το έτος 2030 με ενσωματωμένες συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος

Μετά την επίλυση του μοντέλου με ενσωματωμένες τις προσφορές MIC έχουμε:



διάγραμμα 10: Τιμές εκκαθάρισης (market clearing prices) για την ημέρα του σεναρίου 2030 για τις χώρες Ιταλία, Ελλάδα, Βουλγαρία FYROM μετά την ενσωμάτωση των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος



διάγραμμα 11: καμπύλες που υποδεικνύουν πως αλλάζουν ωριαία οι τιμές εκκαθάρισης (market clearing prices) για την ημέρα του σεναρίου 2030 στις χώρες Ιταλία, Ελλάδα, Βουλγαρία FYROM μετά την ενσωμάτωση των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος

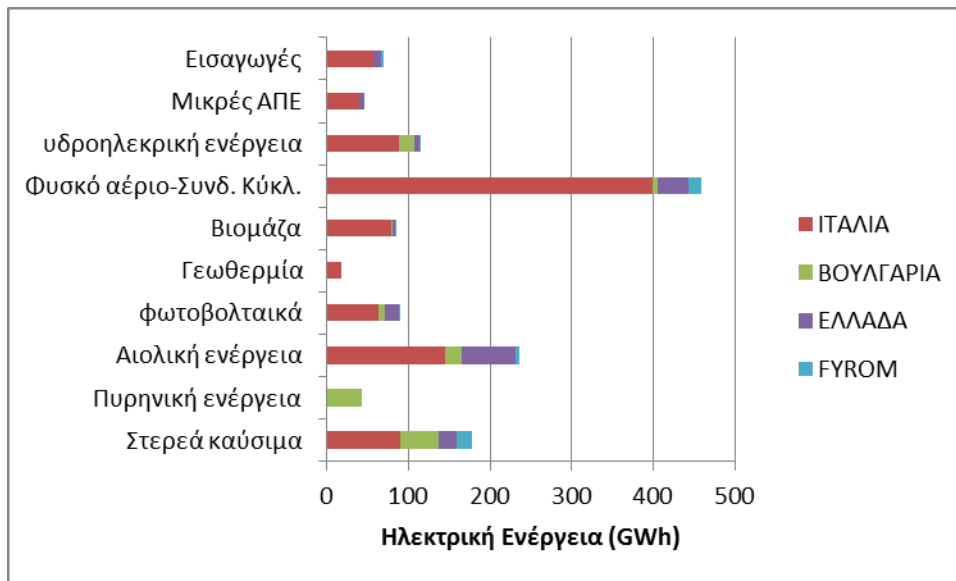
	Ωριαίες τιμές εκκαθάρισης ανά χώρα (€/MWh)			
	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM
1	127,50	110,66	100,13	109,51
2	127,50	110,66	100,13	109,51
3	96,44	102,00	96,44	45,50
4	96,44	102,00	96,44	45,50
5	96,44	101,96	96,44	45,50
6	96,44	102,00	96,44	45,50
7	98,72	79,30	119,90	142,10
8	98,72	79,30	119,90	142,10
9	103,30	103,30	103,30	103,30
10	103,30	103,30	103,30	103,30
11	103,30	103,30	103,30	103,30
12	99,48	77,66	99,48	109,51
13	99,48	77,66	99,48	109,51
14	99,48	77,66	99,48	109,51
15	99,48	77,66	99,48	109,51
16	115,34	111,67	100,23	114,31
17	115,34	111,67	100,23	114,31
18	119,62	101,96	114,99	104,56
19	119,62	101,96	114,99	104,56
20	119,62	101,96	114,99	104,56
21	119,72	119,72	119,72	119,72
22	119,72	119,72	119,72	119,72
23	127,50	110,66	100,13	109,51
24	127,50	110,66	100,13	109,51

Πίνακας 20: τιμές εκκαθάρισης ανά περιοχή για τη μέρα του σεναρίου 2030 μετά την ενσωμάτωση των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος. Με πράσινο υποδεικνύονται οι ώρες σύζευξης

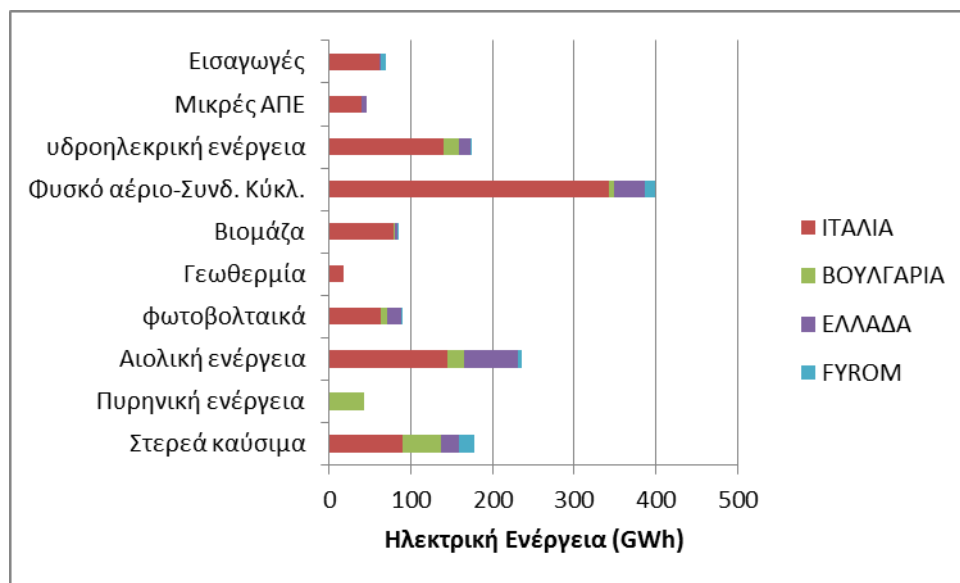
Πίνακας μέσης ωριαίας τιμής εκκαθάρισης ανά χώρα (€/MWh)				
	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM
χωρίς την ενσωμάτωση MIC	96,59	85,88	94,08	87,13
με την ενσωμάτωση MIC	109,58	99,93	104,95	101,41

Πίνακας 21: μεταβολή στη μέση τιμή εκκαθάρισης των χωρών μεταξύ των δύο σεναρίων για το 2030

Μετά την ενσωμάτωση στο μοντέλο των περιορισμών ελαχίστου εισοδήματος MIC παρατηρούμε όπως και στο σενάριο του 2020 να αυξάνονται όλες οι τιμές εκκαθάρισης των χωρών αφού για να ενταχθούν στο πρόγραμμα λειτουργίας των μονάδων αυτές που υπάγονται στην κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος αυξάνουν την τιμή προσφοράς τους, με άμεσο αποτέλεσμα όποτε γίνεται αποδεκτή η ένταξή τους να υφίσταται αύξηση της τιμής εκκαθάρισης. Προηγουμένως ο αλγόριθμος τις αντιμετώπιζε σαν απλές ωριαίες προσφορές και έτσι μπορούσε να τις χρησιμοποιήσει χωρίς να λαμβάνει υπ όψει τα κόστη που προέκυπταν από την ενεργοποίησή τους. Τώρα εκτός του ότι θα προσφέρουν στην έγχυση ισχύος μόνο όταν δύνανται να ανακτήσουν τα κόστη τους θα έχουν και υψηλότερες τιμές προσφοράς για να τα ανακτήσουν με αποτέλεσμα όταν ορίζουν οριακή τιμή συστήματος να είναι μεγαλύτερη από προηγουμένως.



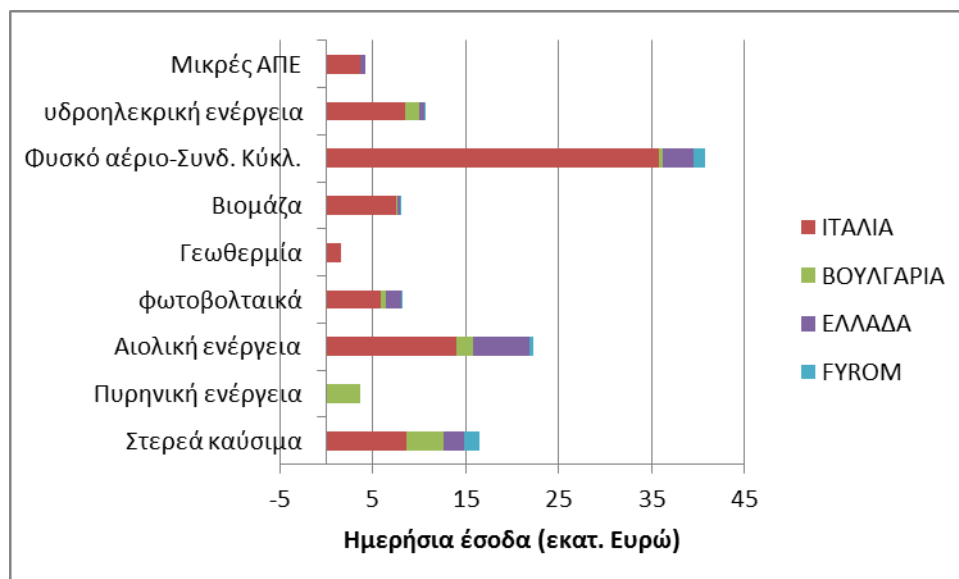
Πίνακας 22: Ημερήσια έσοδα αποδεκτών μονάδων προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία καυσίμου μονάδας χωρίς την ενσωμάτωση συνθήκης ελαχίστου εισοδήματος για το έτος 2030 (για τις MIC είναι επιπλέον του κόστους ενεργοποίησης)



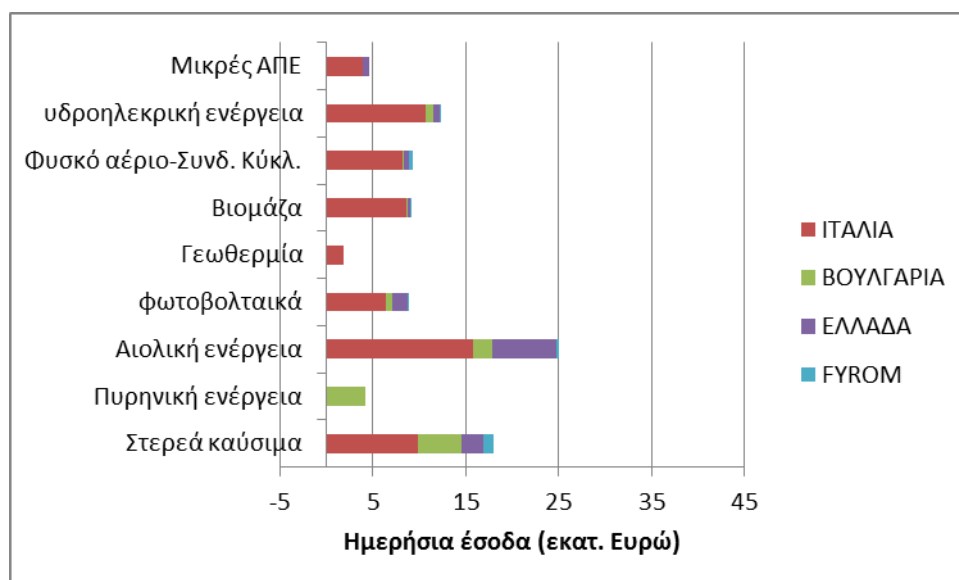
Πίνακας 23: Ημερήσια έσοδα αποδεκτών μονάδων προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία καυσίμου μονάδας μετά την ενσωμάτωση συνθήκης ελαχίστου εισοδήματος για το έτος 2030 (για τις MIC είναι επιπλέον του κόστους ενεργοποίησης)

Παρατηρείται πως με την εισαγωγή των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος και με την αύξηση στην τιμολόγηση των προσφορών έγχυσης για τις μονάδες αυτές πλέον μεγάλο τους μερίδιο δεν επιλέγεται από τον αλγόριθμο για να συμμετάσχει στο πρόγραμμα λειτουργίας των μονάδων αφού η αυξημένη τιμή που υποβάλλουν τις προσφορές τους θα οδηγήσει σε πολύ υψηλές τιμές εκκαθάρισης και σημαντική μείωση του συνολικού κοινωνικού πλεονάσματος. Η αγορά λειτουργεί σε καθεστώς υψηλού ανταγωνισμού και έτσι δεν ευνοούνται οι μονάδες με υπερβολικά υψηλές τιμές προσφοράς και για αυτό δεν εντάσσονται στην έγχυση ισχύος. Σε αυτή την

κατεύθυνση ο αλγόριθμος αναζητά άλλους τρόπους για να καλύψει τη ζήτηση όπως με την πλήρη χρησιμοποίηση όλων των υδροηλεκτρικών μονάδων, επιλογή των μονάδων με το χαμηλότερο μεταβλητό κόστος ανάμεσα σε αυτές που υπάγονται στην κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος, και αύξηση των εισαγωγών στις χώρες της Ελλάδας, Ιταλίας και FYROM με παράλληλη αύξηση εξαγωγών στην Βουλγαρία που δεν διαθέτει πολλές μονάδες ελαχίστου εισοδήματος με συνέπεια να μην υφίσταται αυτή την άμεση επίδραση στις τιμές ισορροπίας της.



Πίνακας 24: Ημερήσια έσοδα αποδεκτών μονάδων προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία καυσίμου μονάδας χωρίς την ενσωμάτωση συνθήκης ελαχίστου εισοδήματος για το έτος 2030



Πίνακας 25: Ημερήσια έσοδα αποδεκτών μονάδων προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία καυσίμου μονάδας μετά την ενσωμάτωση συνθήκης ελαχίστου εισοδήματος για το έτος 2030

Όσον αφορά τα έσοδα, με την απομάκρυνση πολλών μονάδων φυσικού αερίου και συνδυασμένου κύκλου που υπάγονται στην κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος και έχουν αυξήσει πολύ τις τιμές προσφοράς τους κατά την ενσωμάτωσή τους στο μοντέλο, είναι εύλογη και η μείωση των εσόδων τους. Παρόλα αυτά οι υψηλές τιμές εκκαθάρισης από αυτές οδηγούν όπως και το 2020 σε μεγαλύτερα έσοδα των μονάδων που βρίσκονται σε χαμηλότερη σειρά φόρτισης. Τις ώρες που παρουσιάζεται αιχμή στις χώρες που διαθέτουν πολλές μονάδες κατηγορίας ελαχίστου εισοδήματος, αυξάνονται οι εισαγωγές όπως φαίνεται και στον πίνακα 26 (ώρες 18 – 20) και έτσι οι μονάδες αυτές που θα μπορούσαν να αποκομίζουν περισσότερα έσοδα, με το να τίθενται εκτός λειτουργίας λόγω υπερβολικά αυξημένης τιμής προσφοράς, χάνουν αυτήν την ευκαιρία.

Σε μια πιο βαθειά ανάλυση των συνολικών αποτελεσμάτων του σεναρίου αυτού δύναται να παρατηρηθούν τα παρακάτω. Στη FYROM τις ώρες 3-6 δεν συμβαίνουν ουσιαστικές μεταβολές στις τιμές της αφού ακόμα καθορίζονται από την συμμετοχή των μονάδων ανανεώσιμης τεχνολογίας και των λιγνιτικών μονάδες όπως και στο σενάριο χωρίς συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος της ίδιας ημέρας. Αντίστοιχα η τιμή της Βουλγαρίας δεν μεταβάλλεται στις ώρες 7-8 σε σχέση με πριν αφού μειώνει τις εξαγωγές της απέναντι στις άλλες χώρες που εκείνη τη στιγμή αυξάνουν πολύ οριακή τιμή συστήματος αλλά παράλληλα εντάσσουν μονάδες οι οποίες για να συμφέρει να παράγουν, συμμετέχουν για αρκετές ώρες στην έγχυση και έτσι καλύπτουν τη ζήτηση. Αναλυτικότερα συγκρίνοντας τη FYROM χωρίς προσφορές συνθήκης ελαχίστου εισοδήματος και με, βλέπουμε πως από τις δυο κατηγορίες μονάδων MIC που διαθέτει, θέτει εκτός λειτουργίας κάποιες μικρές μονάδες που κοστίζουν πολύ ενώ παράγουν λίγη σχετικά ισχύ συγκεκριμένα τις ώρες 7-17 και λίγο στις πρωινές ώρες. Παράλληλα αυξάνει κατά πολύ τις εισαγωγές της από Ελλάδα και Βουλγαρία ενώ σε περιπτώσεις που εξήγαγε πλέον εισάγει ηλεκτρική ισχύ. Εντάσσει μικρές μονάδες χαμηλού μεταβλητού κόστους στις ώρες 18 – 20 η οποίες ρίχνοντας την τιμή ισορροπίας την καθιστούν ικανή να εξάγει εκείνες τις ώρες. Γενικά στη FYROM μειώνεται η χρήση των μονάδων ελαχίστου εισοδήματος όπου είναι δυνατό και δεν τους επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται στο μέγιστο της εγκατεστημένης ισχύος τους αλλά μέχρι μερικά βήματα πριν αφού οι τιμές που προκύπτουν είναι πολύ αυξημένες. Στην Βουλγαρία βλέπουμε μια αύξηση της τιμής εκκαθάρισης στις ώρες 3-6 και αυτό επειδή εξάγει ακριβώς τα ίδια ποσά ενέργειας με την περίπτωση που δεν εξετάζουμε τις συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος αλλά αυτή τη φορά οι χώρες στις οποίες εξάγει ισορροπούν σε υψηλότερη τιμή από πριν και έτσι ανεβαίνει παραπάνω και η δικιά της ενώ παράλληλα εντάσσει σε λειτουργία μεγάλη μονάδα συνδυασμένου κύκλου που υπάγεται στις προσφορές ελαχίστου εισοδήματος και έχει υψηλή τιμή προσφοράς. Για να μπορέσει να ανακόψει την μεγάλη αύξηση τιμής εντάσσει στην έγχυση ισχύος μονάδες πυρηνικής ενέργειας και λιγνίτη. Τη νύχτα που παύουν να εγχέουν ισχύ τα φωτοβολταϊκά ενώ συμβαίνει παράλληλη αύξηση της ζήτησης αυξάνονται οι τιμές εκκαθάρισης αφού πλέον εντάσσονται στο πρόγραμμα λειτουργίας οι ευέλικτες μονάδες αιχμής για να καλύψουν τη ζήτηση των οποίων οι προσφορές υπάγονται στη συνθήκη ελαχίστου εισοδήματος. Στις ώρες αυτές

βλέπουμε την Ελλάδα να εξάγει στην Ιταλία καθώς η δεύτερη έχει πολλές μονάδες που υπάγονται σε προσφορές ελαχίστου εισοδήματος και έτσι καθίσταται πολύ ακριβή η χρήση τους. Στις ώρες 12-15 μειώνεται η ζήτηση στην Βουλγαρία και στην Ιταλία ελαφρώς και οι μονάδες που υπάγονται στην κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος και γίνονται αποδεκτές αφορούν μεγάλες σχετικά μονάδες οπότε καλύπτεται η ζήτηση και μειώνονται εισαγωγές από πλευρά Ιταλίας, ενώ μειώνονται και οι εξαγωγές από πλευρά Βουλγαρίας. Έτσι διαμορφώνονται αντίστοιχα ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές στην Ιταλία και μικρότερες στη Βουλγαρία καθώς επίσης υφίσταται σύζευξη Ελλάδας – Ιταλίας αφού επαρκεί η μεταξύ τους διασύνδεση. Τέλος σημειώνεται πως ενώ πριν είχαμε δυο ώρες στις οποίες όλες οι αγορές είχαν ενοποιηθεί σε μια τώρα έχουμε πέντε ώρες στις οποίες είναι συζευγμένες οι αγορές των τεσσάρων χωρών καθώς με την άνοδο των τιμών και την ένταξη των ακριβότερων μονάδων διαφέρουν κατά λίγο οι τιμές εκκαθάρισης των χωρών και αφού επαρκούν οι διασυνδέσεις και η ισχύς που διαμοιράζεται είναι λίγη καθιστά τις αγορές των χωρών ικανές να συζευχθούν.

	Καθαρή θέση σε Mw ημέρα του 2030 χωρίς συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος					Καθαρή θέση σε Mw ημέρα του 2030 με συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος			
	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM		ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM
1	3630,39	-1000,53	-1010,22	-296,62	1	3651,94	-1104,51	-1112,26	-112,14
2	3630,39	-1000,53	-1010,22	-296,62	2	3651,99	-1104,51	-1112,37	-112,09
3	756,10	-902,55	777,64	510,36	3	673,65	-902,55	860,08	510,36
4	756,10	-902,55	777,64	510,36	4	673,65	-902,55	860,08	510,36
5	756,10	-902,55	777,64	510,36	5	673,65	-902,55	860,08	510,36
6	756,10	-902,55	777,64	510,36	6	673,65	-902,55	860,08	510,36
7	3659,97	-442,01	770,11	-362,56	7	3684,86	-373,65	528,11	-213,82
8	3666,65	-423,66	705,13	-322,62	8	3681,26	-383,55	563,14	-235,35
9	-557,02	-933,79	1624,40	166,41	9	-426,51	-1053,49	1029,70	750,30
10	-556,85	-933,79	1624,24	166,41	10	-426,51	-1053,49	1029,70	750,30
11	-557,02	-933,79	1624,40	166,41	11	-426,51	-1053,49	1029,70	750,30
12	4023,00	-509,81	-559,33	-18,29	12	3741,64	-421,35	-558,91	174,20
13	4023,00	-509,81	-559,33	-18,29	13	3741,64	-421,35	-558,91	174,20
14	4023,00	-509,81	-559,33	-18,29	14	3741,64	-421,35	-558,91	174,20
15	4023,00	-509,81	-559,33	-18,29	15	3741,64	-421,35	-558,91	174,20
16	2436,15	-982,43	-558,62	34,78	16	2968,72	-1102,13	-1089,50	152,78
17	2436,15	-982,43	-558,62	34,78	17	2968,72	-1102,13	-1089,50	152,78
18	3541,90	-1560,49	1600,84	498,06	18	4152,91	-1534,08	992,82	468,66
19	3541,90	-1560,49	1600,84	498,06	19	4152,91	-1534,08	992,82	468,66
20	3541,90	-1560,49	1600,84	498,06	20	4152,91	-1534,08	992,82	468,66
21	975,68	-1721,24	1539,43	-20,09	21	2440,76	-1840,94	76,05	97,91
22	975,68	-1721,24	1539,43	-20,09	22	2440,76	-1840,94	76,05	97,91
23	3630,39	-1000,53	-1010,22	-296,62	23	3651,99	-1104,51	-1112,37	-112,09
24	3630,34	-1000,53	-1010,17	-296,62	24	3651,99	-1104,51	-1112,37	-112,09

Πίνακας 26: καθαρές θέσεις χωρών Ιταλίας, Βουλγαρίας, Ελλάδας και FYROM σε MW χωρίς και με συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος

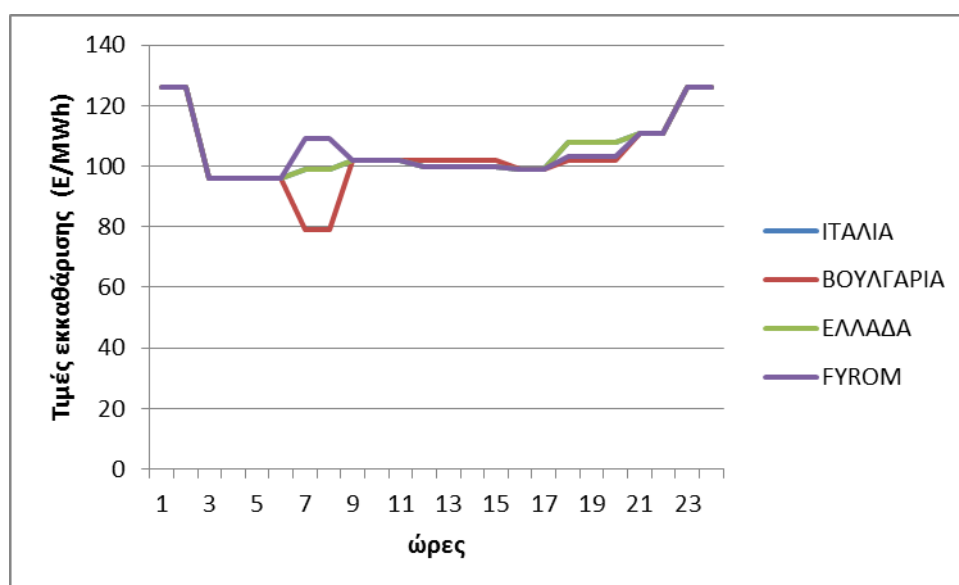
Παρατηρείται πως οι αποδεκτές μονάδες ελαχίστου εισοδήματος είναι μόνο 22 από τις 121 που είναι δηλωμένες. Είναι σαφώς μικρότερο ποσοστό από τις αποδεκτές του 2020 (66/118). Βλέπουμε πως οι ανάγκες σε υψηλή ζήτηση και ταυτόχρονα υψηλές τιμές προσφοράς έγχυσης ισχύος από τις μονάδες ελαχίστου εισοδήματος οδήγησαν στην μείωση της ένταξης μονάδων ελαχίστου εισοδήματος πέραν λίγων και μεγάλων. Αυτές καλύπτουν ανάγκες τόσο για ηλεκτρική ισχύ όσο και ευελιξία. Οι εισαγωγές ισχύος αυξάνονται προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση και να αντισταθμιστεί η απενεργοποίηση των μονάδων ενώ παράλληλα αυξάνεται και η έγχυση ισχύος από υδροηλεκτρικές μονάδες.

	Ωριαία επιφόρτιση γραμμών σε MW για τη μέρα εξέτασης του 2030							
	k163GRBG	k164GRFY	k165GRFY	k166GRIT	k226BGFY	k227BGFY	k228BGFY	k356GRIT
1	57,36	125,26	152,53	261,50	8,72	8,72	85,31	210,80
2	57,41	125,28	152,55	261,66	8,72	8,72	85,29	210,65
3	-422,17	-127,32	-155,04	217,55	26,44	26,44	258,62	-117,59
4	-422,17	-127,32	-155,04	217,55	26,44	26,44	258,62	-117,59
5	-422,17	-127,32	-155,04	217,55	26,44	26,44	258,62	-117,59
6	-422,17	-127,32	-155,04	217,55	26,44	26,44	258,62	-117,59
7	-163,10	-47,38	-57,69	-300,00	10,42	10,42	101,94	36,07
8	-170,56	-54,10	-65,87	-300,00	10,38	10,38	101,52	33,10
9	-354,32	-51,96	-63,28	-300,00	28,45	28,45	278,30	-107,05
10	-317,63	-50,12	-61,03	-300,00	25,11	25,11	245,54	-154,95
11	-354,60	-51,97	-63,29	-300,00	28,48	28,48	278,56	-106,74
12	42,03	115,61	140,78	-188,81	9,11	9,11	89,10	145,06
13	42,03	115,61	140,78	-188,81	9,11	9,11	89,10	145,06
14	42,03	115,61	140,78	-188,81	9,11	9,11	89,10	145,06
15	42,03	115,61	140,78	-188,81	9,11	9,11	89,10	145,06
16	17,48	140,08	170,58	297,05	14,28	14,28	139,70	175,26
17	17,48	140,08	170,58	297,05	14,28	14,28	139,70	175,26
18	-505,67	-170,09	-207,12	300,00	29,67	29,67	290,14	-124,01
19	-505,67	-170,09	-207,12	300,00	29,67	29,67	290,14	-124,01
20	-505,67	-170,09	-207,12	300,00	29,67	29,67	290,14	-124,01
21	-211,44	4,03	4,91	-36,34	20,98	20,98	205,18	78,75
22	-209,77	4,32	5,27	-31,15	20,85	20,85	203,91	71,04
23	57,41	125,28	152,55	261,66	8,72	8,72	85,29	210,65
24	57,41	125,28	152,55	261,66	8,72	8,72	85,29	210,65

Πίνακας 27: ωριαία επιφόρτιση γραμμών διασύνδεσης μεταξύ των προς μελέτη χωρών σε MWh για τη μέρα σεναρίου του 2030 με συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος

8.5.Σενάριο επενδύσεων σε διασυνδετικές γραμμές μεταξύ των χωρών: Ελλάδα, Βουλγαρία, Ιταλία, FYROM για το έτος 2030

Χρησιμοποιώντας σαν βάση το σενάριο ζήτησης της πρώτης ημέρας του 2030 με ενσωματωμένες τις συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος έγιναν μελέτες πάνω στο διασυνοριακό δίκτυο γραμμών μεταξύ των τεσσάρων προς μελέτη χωρών. Για το σενάριο αυτό διευρύνθηκαν κατά ένα πολύ μεγάλο νούμερο (100 GW) τα αρχικά όρια διασυνδετικής ικανότητας του μοντέλου δηλαδή οι μεταβλητές $tm_{k,tr}$, $tx_{k,tr}$ και $intmax_{int,tr}$ για το δίκτυο των χωρών της Ελλάδας, Βουλγαρίας, Ιταλίας και FYROM. Έτσι κατά την επίλυση του μοντέλου έχουμε α παρακάτω αποτελέσματα:



διάγραμμα 12: Τιμές εκκαθάρισης (market clearing prices) για την ημέρα του σεναρίου επενδύσεων για τις χώρες Ιταλία, Ελλάδα, Βουλγαρία FYROM

	Ωριαίες τιμές εκκαθάρισης ανά χώρα(E/Mwh)			
	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM
1	126,00	126,00	126,00	126,00
2	126,00	126,00	126,00	126,00
3	96,00	96,00	96,00	96,00
4	96,00	96,00	96,00	96,00
5	96,00	96,00	96,00	96,00
6	96,00	96,00	96,00	96,00
7	99,00	79,00	99,00	109,00
8	99,00	79,00	99,00	109,00
9	102,00	102,00	102,00	102,00
10	102,00	102,00	102,00	102,00
11	102,00	102,00	102,00	102,00
12	100,00	102,00	100,00	100,00
13	100,00	102,00	100,00	100,00
14	100,00	102,00	100,00	100,00
15	100,00	102,00	100,00	100,00
16	99,00	99,00	99,00	99,00
17	99,00	99,00	99,00	99,00
18	108,00	102,00	108,00	103,00
19	108,00	102,00	108,00	103,00
20	108,00	102,00	108,00	103,00
21	111,00	111,00	111,00	111,00
22	111,00	111,00	111,00	111,00
23	126,00	126,00	126,00	126,00
24	126,00	126,00	126,00	126,00

Πίνακας 28: τιμές εκκαθάρισης ανά περιοχή για τη μέρα του σεναρίου επενδύσεων. Με πράσινο υποδεικνύονται οι ώρες σύζευξης

Με μια πρώτη ματιά παρατηρούμε πως έχουμε πολύ περισσότερες ώρες σύζευξη αγορών μεταξύ των τεσσάρων χωρών, πράγμα εύλογο αφού πλέον η φόρτιση των διασυνδεδετικών γραμμών δεν περιορίζεται όπως στις προηγούμενες επιλύσεις του μοντέλου και έτσι επειδή το δίκτυο επαρκεί οι χώρες που ανταλλάσσουν ενέργεια είναι συζευγμένες και άρα έχουν την ίδια τιμή εκκαθάρισης. Συγκρίνοντας τους πίνακες 28 και 20 διαφαίνεται η μεγάλη αλλαγή στις ώρες ενοποίησης. Μελετώντας τις φορτίσεις στις γραμμές των χωρών και τις καθαρές τους θέσεις μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα.

	Ωριαίες φορτίσεις ανά γραμμή σε MW χωρίς επενδύσεις								Ωριαίες φορτίσεις ανά γραμμή σε MW με επενδύσεις							
	k163GRBG	k164GRFY	k165GRFY	k166GRIT	k226BGFY	k227BGFY	k228BGFY	k356GRIT	k163GRBG	k164GRFY	k165GRFY	k166GRIT	k226BGFY	k227BGFY	k228BGFY	k356GRIT
1	57,36	125,26	152,53	261,50	8,72	8,72	85,31	210,80	-55,91	9,33	11,37	3743,11	6,49	6,49	63,48	-3,20
2	57,41	125,28	152,55	261,66	8,72	8,72	85,29	210,65	-83,83	-2,75	-3,35	3767,73	7,82	7,82	76,49	46,75
3	-422,17	-127,32	-155,04	217,55	26,44	26,44	258,62	-117,59	-96,71	-10,68	-13,00	-583,20	8,17	8,17	79,88	6,14
4	-422,17	-127,32	-155,04	217,55	26,44	26,44	258,62	-117,59	-9,90	39,12	47,63	-892,55	5,42	5,42	53,04	24,80
5	-422,17	-127,32	-155,04	217,55	26,44	26,44	258,62	-117,59	-63,75	4,89	5,96	-690,64	6,74	6,74	65,96	15,28
6	-422,17	-127,32	-155,04	217,55	26,44	26,44	258,62	-117,59	0,00	45,43	55,32	-929,99	5,18	5,18	50,69	26,78
7	-163,10	-47,38	-57,69	-300,00	10,42	10,42	101,94	36,07	52,64	147,07	179,09	-3088,14	11,67	11,67	114,13	122,26
8	-170,56	-54,10	-65,87	-300,00	10,38	10,38	101,52	33,10	52,64	147,07	179,09	-3088,14	11,67	11,67	114,13	122,26
9	-354,32	-51,96	-63,28	-300,00	28,45	28,45	278,30	-107,05	65,70	152,01	185,11	-2924,06	10,97	10,97	107,25	8,12
10	-317,63	-50,12	-61,03	-300,00	25,11	25,11	245,54	-154,95	0,00	110,89	135,04	-2677,44	12,65	12,65	123,73	-5,97
11	-354,60	-51,97	-63,29	-300,00	28,48	28,48	278,56	-106,74	6,97	105,24	128,16	-2655,66	11,33	11,33	110,81	-14,88
12	42,03	115,61	140,78	-188,81	9,11	9,11	89,10	145,06	97,74	156,90	191,06	-161,33	8,41	8,41	82,30	148,77
13	42,03	115,61	140,78	-188,81	9,11	9,11	89,10	145,06	97,74	156,90	191,06	-161,33	8,41	8,41	82,30	148,77
14	42,03	115,61	140,78	-188,81	9,11	9,11	89,10	145,06	97,74	156,90	191,06	-161,33	8,41	8,41	82,30	148,77
15	42,03	115,61	140,78	-188,81	9,11	9,11	89,10	145,06	97,74	156,90	191,06	-161,33	8,41	8,41	82,30	148,77
16	17,48	140,08	170,58	297,05	14,28	14,28	139,70	175,26	-42,64	82,20	100,10	589,96	13,52	13,52	132,18	26,59
17	17,48	140,08	170,58	297,05	14,28	14,28	139,70	175,26	-35,36	82,00	99,85	597,40	12,79	12,79	125,05	12,10
18	-505,67	-170,09	-207,12	300,00	29,67	29,67	290,14	-124,01	-423,52	-129,19	-157,32	-613,92	26,36	26,36	257,81	-118,33
19	-505,67	-170,09	-207,12	300,00	29,67	29,67	290,14	-124,01	-423,52	-129,19	-157,32	-613,92	26,36	26,36	257,81	-118,33
20	-505,67	-170,09	-207,12	300,00	29,67	29,67	290,14	-124,01	-423,52	-129,19	-157,32	-613,92	26,36	26,36	257,81	-118,33
21	-211,44	4,03	4,91	-36,34	20,98	20,98	205,18	78,75	-216,66	-16,19	-19,72	110,65	19,18	19,18	187,56	4,98
22	-209,77	4,32	5,27	-31,15	20,85	20,85	203,91	71,04	-180,46	9,63	11,73	-66,76	18,61	18,61	182,01	40,45
23	57,41	125,28	152,55	261,66	8,72	8,72	85,29	210,65	-141,50	-74,69	-90,95	4100,65	5,21	5,21	50,96	22,38
24	57,41	125,28	152,55	261,66	8,72	8,72	85,29	210,65	-192,99	-63,25	-77,02	4168,60	11,51	11,51	112,59	0,00

Πίνακας 29: ωριαία ροή ηλεκτρικής ενέργειας σε MW για την περίπτωση χωρίς και με επενδύσεις στο δίκτυο.

Παρατηρούμε πως παρόλο που αφέθηκαν ελεύθερα τα όρια διασύνδεσης, οι προς μελέτη χώρες κάνουν ανταλλαγές ισχύος που δεν ξεπερνούν τα πραγματικά δοθέντα όρια με μόνη εξαίρεση την DC γραμμή μεταξύ Ελλάδας και Ιταλίας. Το αποτέλεσμα ουσιαστικά υποδεικνύει πως βελτιωτικές αλλαγές στο ήδη υπάρχον διασυνοριακό δίκτυο ενδείκνυται να γίνουν στη διασύνδεση μεταξύ των δύο αυτών χωρών. Αυτό είναι εύλογο καθώς η Ιταλία έχει υπερπολλαπλάσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την Ελλάδα και διαφορετικό μείγμα μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος με αυξημένα σταθερά και μεταβλητά κόστη, όπως στις μονάδες φυσικού αερίου και συνδυασμένου κύκλου. Λόγω των δυο γεγονότων αυτών οι τιμές ισορροπίας της αγοράς της τείνουν να είναι πολύ υψηλότερες από αυτές της Ελλάδας οπότε με μεγαλύτερες ανταλλαγές ισχύος από αυτή θα εισάγει ενέργεια σε χαμηλότερες τιμές μεγιστοποιώντας το κοινωνικό της πλεόνασμα αλλά και μέσω της ενοποίησης των αγορών των δύο χωρών θα μεγιστοποιείται και το συνολικό τους πλεόνασμα. Παρατηρώντας τις φορτίσεις των γραμμών εξάγεται το συμπέρασμα ότι το υπάρχον δίκτυο είναι ικανοποιητικό και οι ροές ισχύος μεταξύ των προς μελέτη χωρών δεν ξεπερνούν τις τιμές της ήδη υπάρχουσας εγκατεστημένης ικανότητας. Στην περίπτωση αυτή δεν συμπεριλαμβάνεται η γραμμή διασύνδεσης Ελλάδας – Ιταλίας η οποία στο σενάριο αυτό μεταφέρει μεγαλύτερο μέγεθος ισχύος από αυτό της εγκατεστημένης διασυνδετικής της ικανότητας. Έτσι παρατηρώντας τις αλλαγές στις

καθαρές θέσεις των χωρών και στις φορτίσεις στις γραμμές διακρίνουμε πως ενώ σε όλες τις γραμμές η μεταφορά ισχύος άλλαξε σχετικά κατά λίγο αλλά ποτέ δεν ξεπέρασε τα όρια του πραγματικού δικτύου, στην περίπτωση της ανταλλαγής ισχύος Ελλάδας – Ιταλίας έχουμε σχεδόν δεκαπλασιασμό της προκύπτουσας φόρτισης. Συνεπώς θα πρέπει οι κινήσεις για επενδύσεις να γίνουν προς αυτή την κατεύθυνση, δηλαδή σε επενδύσεις επιπλέον ικανότητας διασύνδεσης πάνω στις γραμμές μεταφοράς Ελλάδας – Ιταλίας. Η ήδη υπάρχουσα διασύνδεση συνίσταται από μια γραμμή DC διασυνδετικής ικανότητας 500 MW. Συνεπώς θα γίνει μελέτη των μεταβολών που θα προκύψουν από την αύξησή της.

	Καθαρή θέση σε Mw ημέρα του 2030 χωρίς επενδύσεις				Καθαρή θέση σε Mw ημέρα του 2030 με επενδύσεις			
	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM	ΙΤΑΛΙΑ	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΕΛΛΑΔΑ	FYROM
1	3651,94	-1104,51	-1112,26	-112,14	5757,21	-608,92	-3793,23	-32,04
2	3651,99	-1104,51	-1112,37	-112,09	5757,21	-608,92	-3793,23	-32,04
3	673,65	-902,55	860,08	510,36	855,89	-347,28	656,06	76,87
4	673,65	-902,55	860,08	510,36	855,89	-347,28	656,06	76,87
5	673,65	-902,55	860,08	510,36	855,89	-347,28	656,06	76,87
6	673,65	-902,55	860,08	510,36	855,89	-347,28	656,06	76,87
7	3684,86	-373,65	528,11	-213,82	1001,05	-87,20	2302,24	409,42
8	3681,26	-383,55	563,14	-235,35	1001,05	-87,20	2302,24	409,42
9	-426,51	-1053,49	1029,70	750,30	-2557,01	-154,33	2261,05	750,30
10	-426,51	-1053,49	1029,70	750,30	-2557,01	-154,33	2261,05	750,30
11	-426,51	-1053,49	1029,70	750,30	-2557,01	-154,33	2261,05	750,30
12	3741,64	-421,35	-558,91	174,20	3637,15	-320,31	-797,38	316,11
13	3741,64	-421,35	-558,91	174,20	3637,15	-320,31	-797,38	316,11
14	3741,64	-421,35	-558,91	174,20	3637,15	-320,31	-797,38	316,11
15	3741,64	-421,35	-558,91	174,20	3637,15	-320,31	-797,38	316,11
16	2968,72	-1102,13	-1089,50	152,78	1374,27	-166,72	-896,35	618,67
17	2968,72	-1102,13	-1089,50	152,78	1374,27	-166,72	-896,35	618,67
18	4152,91	-1534,08	992,82	468,66	3238,51	-1323,43	1652,83	512,40
19	4152,91	-1534,08	992,82	468,66	3238,51	-1323,43	1652,83	512,40
20	4152,91	-1534,08	992,82	468,66	3238,51	-1323,43	1652,83	512,40
21	2440,76	-1840,94	76,05	97,91	1669,93	-1317,47	107,02	314,30
22	2440,76	-1840,94	76,05	97,91	1669,93	-1317,47	107,02	314,30
23	3651,99	-1104,51	-1112,37	-112,09	6055,43	-608,92	-3793,23	-330,26
24	3651,99	-1104,51	-1112,37	-112,09	5815,35	-608,92	-3793,23	-90,18

Πίνακας 30: καθαρές θέσεις χωρών Ιταλίας, Βουλγαρίας, Ελλάδας και FYROM σε MW χωρίς και με επενδύσεις πάνω στις γραμμές

Στη συνέχεια θα γίνει ανάλυση στο πόση διασυνδετική ικανότητα θα πρέπει να εγκατασταθεί και κατά πόσο συμφέρει οικονομικά ως επένδυση σύμφωνα με ορθολογικά κριτήρια.

Επιλύοντας το μοντέλο με πολύ μεγάλα όρια διασυνδετικής ικανότητας για όλες τις ημέρες του 2030 και εξετάζοντας τις προκύπτουσες ροές ισχύος παρατηρήθηκε ότι η μεγαλύτερη φόρτιση για την DC γραμμή Ελλάδα-Ιταλίας ήταν 5,5 GW. Συνεπώς εξετάστηκε η επένδυση σε γραμμές επιπλέον ισχύος 5 GW μεταξύ των δύο αυτών χωρών. Πολλαπλασιάζοντας την προκύπτουσα τιμή εκκαθάρισης της κάθε χώρας με την ωριαία ζήτηση και συγκρίνοντάς τη στη περίπτωση με επενδύσεις και χωρίς, μπορεί να βρεθεί η διαφορά στα γινόμενα η οποία θα αποτελεί έσοδο σε περίπτωση χαμηλότερων τιμών εκκαθάρισης μιας και η ζήτηση είναι ανελαστική με αποτέλεσμα η ισχύς να αγοράζεται σε οποιαδήποτε τιμή.

Πράγματι, για την πρώτη ημέρα δημιουργούνται έσοδα της τάξης των 4.756.835 ευρώ, ενώ για τη δεύτερη και την τρίτη μέρα αντίστοιχα 8.361.547, 2.325.540. Υπολογίζοντάς τα για όλες τις ημέρες και πολλαπλασιάζοντας τα με τη συχνότητα εμφάνισης των ημερών μέσα στο έτος καταλήγουμε να έχουμε συνολικά ετήσια έσοδα 1.104.157.640 ευρώ. Εγείρεται τώρα το ερώτημα κατά πόσο συμφέρει όντως να επενδύσουμε λοιπόν σε γραμμές διασυνδετικής ικανότητας 5 GW. Το κόστος για την υλοποίηση ενός τέτοιου επενδυτικού σχεδίου ανέρχεται στο ποσό των 5.000.000.000 ευρώ, ο χρονικός ορίζοντας της επένδυσης υπολογίζεται να είναι 30 έτη και το επιτόκιο αναγωγής 8%. Με αυτά τα στοιχεία μπορεί να εφαρμοστεί το κριτήριο της παρούσας αξίας και να αξιολογηθεί έτσι η επένδυση.

$$KPA_{5GW} = -K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{KTPt}{(1+k)^t} = -5000000000 + \sum_{t=1}^{30} \frac{1.104.157.640}{(1+0,08)^t}$$

$$= 7.430.367.486 \text{ ευρώ} > 0 \text{ άρα προκρίνεται}$$

Με τη χρήση του κριτηρίου ελαχίστου βαθμού απόδοσης (EBA) έχουμε:

$$K_{v(5GW)} = K_{v-1(5GW)} - K_{v-1(5GW)} * \frac{K_{v-2(5GW)} - K_{v-1(5GW)}}{KPA_{v-2(5GW)} - KPA_{v-1(5GW)}} = 0,22$$

ή 22% > 8% άρα προκρίνεται

Συνεπώς η επένδυση αυτή συμφέρει να γίνει. Ικανοποιώντας με αυτή την επένδυση τα όρια της μεγαλύτερης παρατηρούμενης ροής ισχύος κατά τις διασυνοριακές ανταλλαγές μεταξύ Ελλάδας – Ιταλίας εκτιμάται πως αυτή η επένδυση θα είναι και η πιο συμφέρουσα. Παρόλα αυτά θα εξεταστεί κατά πόσο αυτό ισχύει δοκιμάζοντας να επενδύσουμε σε μικρότερες και μεγαλύτερες γραμμές συνολικής ισχύος και να εξάγουμε συμπεράσματα. Έτσι επιλέγονται και εξετάζονται οι επενδύσεις σε γραμμές

συνολικής ισχύος 6,5 GW, 3,5 GW και 0,5GW. Προκύπτουν αντίστοιχα ετήσια έσοδα: 1.052.981.200 ευρώ, 599.286.200 ευρώ και 240.539.407 ευρώ και αντίστοιχα επενδυτικά κόστη: 6.500.000.000 ευρώ, 3.500.000.000 ευρώ και 500.000.000 ευρώ. Το επιτόκιο αναγωγής παραμένει 8% και ο χρονικός ορίζοντας της επένδυσης 30 χρόνια. Με αυτά τα δεδομένα μπορούν να υπολογιστούν οι παρούσες αξίες και οι EBA για την εκάστοτε επένδυση.

$$KPA_{6,5GW} = -K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{KTPt}{(1+k)^t} = -6500000000 + \sum_{t=1}^{30} \frac{1.052.981.200}{(1+0,08)^t}$$

$$= 5.354.220.704 \text{ ευρώ} > 0 \text{ άρα προκρίνεται}$$

$$K_{v(6,5GW)} = K_{v-1(6,5GW)} - K_{v-1(6,5GW)} * \frac{K_{v-2(6,5GW)} - K_{v-1(6,5GW)}}{KPA_{v-2(6,5GW)} - KPA_{v-1(6,5GW)}} = 0,16$$

ή 16% > 8% άρα προκρίνεται

$$KPA_{3,5GW} = -K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{KTPt}{(1+k)^t} = -3500000000 + \sum_{t=1}^{30} \frac{599.286.200}{(1+0,08)^t}$$

$$= 3.246.631.948 \text{ ευρώ} > 0 \text{ άρα προκρίνεται}$$

$$K_{v(3,5GW)} = K_{v-1(3,5GW)} - K_{v-1(3,5GW)} * \frac{K_{v-2(3,5GW)} - K_{v-1(3,5GW)}}{KPA_{v-2(3,5GW)} - KPA_{v-1(3,5GW)}} = 0,169$$

ή 16,9% > 8% άρα προκρίνεται

$$KPA_{0,5GW} = -K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{KTPt}{(1+k)^t} = -5000000000 + \sum_{t=1}^{30} \frac{240.539.407}{(1+0,08)^t}$$

$$= 2.207.935.947 \text{ ευρώ} > 0 \text{ άρα προκρίνεται}$$

$$K_{v(0,5GW)} = K_{v-1(0,5GW)} - K_{v-1(0,5GW)} * \frac{K_{v-2(0,5GW)} - K_{v-1(0,5GW)}}{KPA_{v-2(0,5GW)} - KPA_{v-1(0,5GW)}} = 0,481$$

ή 48,1% > 8% άρα προκρίνεται

Παρατηρείται πως όλες οι επενδύσεις έχουν θετικές ΚΠΑ και οι EBA τους είναι μεγαλύτεροι του επιτοκίου αναγωγής γεγονός που υποδεικνύουν πως όλες οι

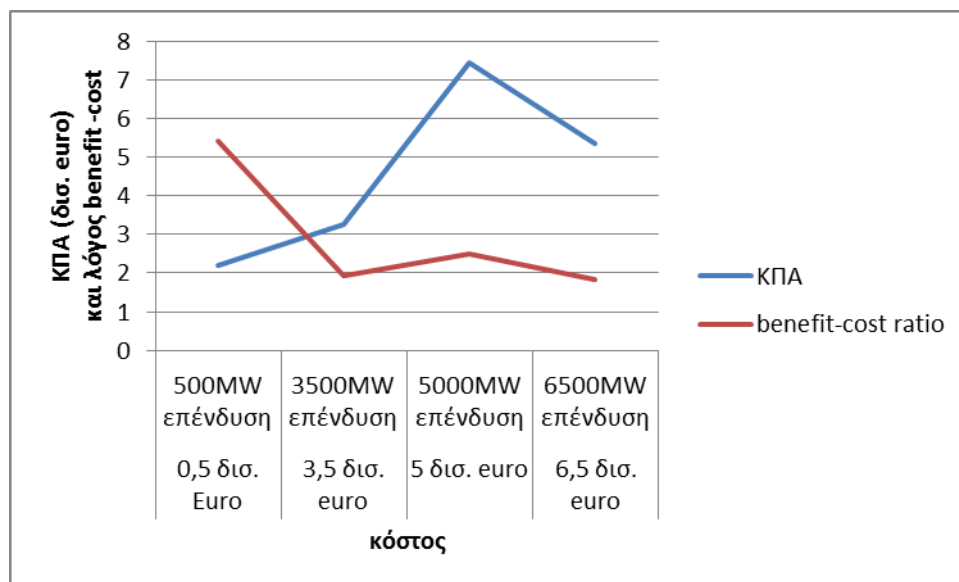
επενδύσεις είναι συμφέρουσες. Παρόλα αυτά είναι αλληλοαποκλειόμενες οπότε μία μόνο θα πρέπει να επιλεχτεί. Η περίοδος επανάκτησης κόστους για τις επενδύσεις των 6,5 GW, 5 GW, 3,5 GW και 0,5 GW είναι αντίστοιχα 9 χρόνια, 6 χρόνια, 7 και 3 χρόνια. Θα υπολογίσουμε τώρα και τους λόγους οφέλους-κόστους των επενδύσεων:

$$\Delta KO_{6,5Gw} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{KTPt}{(1+k)^t}}{K_0} = \frac{\sum_{t=1}^{30} \frac{1.104.157.640}{(1+0,08)^t}}{5000000} = 1,8237$$

$$\Delta KO_{5Gw} = \frac{+\sum_{t=1}^n \frac{KTPt}{(1+k)^t}}{K_0} = \frac{\sum_{t=1}^{30} \frac{1.052.981.200}{(1+0,08)^t}}{6500000} = 2,48607$$

$$\Delta KO_{3,5Gw} = \frac{+\sum_{t=1}^n \frac{KTPt}{(1+k)^t}}{K_0} = \frac{\sum_{t=1}^{30} \frac{599.286.200}{(1+0,08)^t}}{3500000} = 1,9276$$

$$\Delta KO_{0,5Gw} = \frac{+\sum_{t=1}^n \frac{KTPt}{(1+k)^t}}{K_0} = \frac{\sum_{t=1}^{30} \frac{240.539.407}{(1+0,08)^t}}{500000} = 5,4159$$



διάγραμμα 13: μεταβολή της ΚΠΑ (σε δισ Ευρώ) ανάλογα με ο επιλεγμένο επενδυτικό σχέδιο. Στο ίδιο διάγραμμα υπάρχει και η μεταβολή του δείκτη οφέλους κόστους για καλύτερη εποπτεία

Η επένδυση που αποφέρει τα περισσότερα έσοδα είναι αδιαμφισβήτητα αυτή σε γραμμές συνολικής ισχύος 5 GW δηλαδή ισχύος στην οποία αν προστεθεί και η ήδη υπάρχουσα εγκατεστημένη ισούται με τη μέγιστη διασυνοριακά ανταλλασσόμενη μεταξύ των δύο χωρών. Η Καθαρή Παρούσα Αξία της ανέρχεται στα 7.430.367.486 ευρώ ξεπερνώντας όλες τις υπόλοιπες. Το αρχικό της κόστος αποπληρώνεται σε μόλις 3 χρόνια και ο ΔΚΟ της υπολογίζεται σε 2,486. Στην περίπτωση λοιπόν που έχουμε τα διαθέσιμα κεφάλαια προς επένδυση συνίσταται να επενδύσουμε σε αυτό το μέγεθος επιπλέον διασυνοριακής ικανότητας. Η περίπτωση επένδυσης σε γραμμές παραπάνω ισχύος αποδεικνύεται μη συμφέρουσα καθώς έχουμε τα ίδια ετήσια έσοδα από την πτώση των τιμών ενέργειας αλλά σημαντικό παραπάνω κόστος επένδυσης προς εξόφληση. Στην περίπτωση που δεν επαρκούν τα κεφάλαια προς επένδυση για γραμμές συνολικής ισχύος 5GW τότε έχουμε τις εξής επιλογές. Στην τάξη των μερικών εκατοντάδων MW ισχύος ο δείκτης οφέλους –κόστους μας δίνει πολύ υψηλή απόδοση επένδυσης καθώς ως επένδυση αποφέρει πολλαπλάσια έσοδα από το κόστος επένδυσης και αποπληρώνεται συντομότερα από κάθε άλλη. Εάν όμως στόχος μας είναι η μεγιστοποίηση των εσόδων και διαθέτουμε παραπάνω κεφάλαια προς επένδυση θα χρησιμοποιήσουμε όσο περισσότερα γίνεται σε γραμμές διασυνδετικής ισχύος μέχρι τα 5 GW.

8.6.Συμπεράσματα

Η αδυναμία ανάκτησης του σταθερού κόστους αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τη μακροχρόνια εξέλιξη του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος καθώς αποτρέπει μελλοντικές επενδύσεις για αυτό και χρησιμοποιήθηκε ως ρυθμιστική παρέμβαση στην χονδρεμπορική αγορά η δυνατότητα υποβολής προσφορών με συνθήκες ελαχίστου εισοδήματος. Οι μονάδες που κάνουν υποβολή τέτοιων προσφορών εντάσσονται στο πρόγραμμα λειτουργίας των μονάδων μόνο όταν διαμορφώνονται τιμές ισορροπίας αγοράς που τους επιτρέπουν να αποκομίσουν έσοδα που θα οδηγήσουν στην ανάκτηση του σταθερού τους κόστους και εν συνεχεία στην δυνατότητα αποκόμισης κέρδους. Με την ενσωμάτωση των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος μετά την επίλυση της αγοράς παρατηρούνται σημαντικές αυξήσεις στις τιμές εκκαθάρισης των χωρών στις οποίες μετέχουν οι μονάδες της κατηγορίας αυτής στο πρόγραμμα λειτουργίας των μονάδων. Αυτό είναι εύλογο καθώς οι μονάδες που υποβάλλουν προσφορές υπό τις συνθήκες αυτές προκειμένου να δύνανται να ανακτήσουν τα κόστη τους αυξάνουν την τιμή της υποβληθείσας προσφοράς τους και με την ένταξή τους στο τέλος της σειράς φόρτισης των μονάδων καθορίζουν την οριακή τιμή της περιοχής. Σε καταστάσεις υψηλής ζήτησης για την οποία κοστίζει ακριβά η περικοπή φορτίου, δημιουργείται ανάγκη για ένταξη ευέλικτων μονάδων που θα ικανοποιήσουν τη ζήτηση και έτσι καθίσταται ικανή η συμμετοχή των μονάδων ελαχίστου εισοδήματος στο πρόγραμμα λειτουργίας παρόλο που υποβάλλουν προσφορές σε υψηλές τιμές. Η αγορά λειτουργεί υπό καθεστώς ανταγωνισμού και έτσι σε περίπτωση που ανεβούν οι τιμές προσφοράς τους

υπερβολικά τότε παύουν να επιλέγονται για ένταξη στο πρόγραμμα λειτουργίας των μονάδων, ενώ αναζητούνται άλλοι τρόποι κάλυψης της ζήτησης όπως παρατηρείται και στο σενάριο του έτους 2030, που γίνεται χρήση όλης της δυναμικότητας των υδροηλεκτρικών μονάδων και αύξηση των εισαγωγών κατά τις ώρες αιχμής. Συνεπώς κατά την αύξηση των τιμών προσφοράς των μονάδων θα πρέπει να λαμβάνεται υπ όψει ότι δεν πρέπει να φτάνουν σε υπερβολικά υψηλές τιμές. Κατά την εξέταση των αποτελεσμάτων όλες οι αποδεκτές μονάδες που υπάγονται στην κατηγορία ελαχίστου εισοδήματος ανακτούν τα κόστη τους και αποκομίζουν κέρδη πράγμα εύλογο αφού αυτό αποτελεί συνθήκη για να τερματιστεί η λειτουργία του αλγορίθμου. Καθοριστικός παράγοντας στην αποδοχή τους, αποτελεί η ανάγκη ικανοποίησης υψηλής ζήτησης και η ανάγκη για ευελιξία, ιδιότητα που παρουσιάζουν οι μονάδες που υποβάλουν τέτοιου είδους προσφορές. Γενικότερα με την ενσωμάτωση των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος παρατηρείται μείωση στην συμμετοχή των μονάδων που υπάγονται στην κατηγορία αυτή, στο συγκεκριμένο μοντέλο οι μονάδες συνδυασμένου κύκλου και φυσικού αερίου, και παράλληλη αναζήτηση εναλλακτικών τρόπων κάλυψης της ζήτησης. Όταν οι τιμές προσφοράς επιτρέπουν στις μονάδες ελαχίστου εισοδήματος να ενταχθούν στην έγχυση ισχύος τότε αυτές δύνανται να αυξήσουν τα έσοδά τους και να καλύψουν τα κόστη ενεργοποίησής τους όπως έγινε και στο σενάριο του έτους 2020. Η ενσωμάτωση των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος πέραν της εξασφάλισης της ανάκτησης του κόστους των μονάδων της κατηγορίας της οδηγεί και σε αύξηση εσόδων για τις μονάδες που έχουν ενταχθεί σε χαμηλότερη σειρά φόρτισης από αυτές. Μετά την γενική αύξηση των τιμών εκκαθάρισης που είχε ως αποτέλεσμα η ενσωμάτωση των συνθηκών ελαχίστου εισοδήματος, ανεξάρτητα από το εάν οι μονάδες ελαχίστου εισοδήματος έγιναν αποδεκτές σε μικρό ή μεγάλο βαθμό όπως έγινε αντίστοιχα για τα έτη 2030 και 2020, λόγω χαμηλότερου μεταβλητού κόστους οι υπόλοιπες μονάδες με χαμηλότερη σειρά φόρτισης θα ανακτούν κόστος κατά αναλογία προς τη διαφορά του μεταβλητού τους κόστους από εκείνο των μονάδων που εντάσσονται τελευταίες. Μέσω της σύζευξης των αγορών ελαχιστοποιείται το κόστος παραγωγής της κάθε περιοχής και η επιλογή των μονάδων γίνεται με τέτοιο κριτήριο ώστε να καταλήξουν οι αγορές σε αύξηση του συνολικού πλεονάσματος. Σημαντικό ρόλο σε αυτό διαδραματίζει η επαρκής διασύνδεση των χωρών με τις γειτονικές τους. Στο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε παρατηρήθηκε πως για ημέρες που οι προς μελέτη χώρες αλληλεπιδρούσαν μέσω εισαγωγών και εξαγωγών με χώρες εξωγενείς του μοντέλου κάλυπταν ένα μερίδιο της ζήτησής τους κατά αυτό τον τρόπο, και μετά έμενε να ανταλλαχθεί λίγη ποσότητα ισχύος μεταξύ των προς μελέτη χωρών με αποτέλεσμα να επαρκούν οι διασυνδέσεις τους και να ενοποιούνται οι αγορές τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σενάριο της ημέρας 1 του έτους 2020 όπου συνέβη αυτό το γεγονός και έτσι υπήρξε πολύωρη σύζευξη αγορών. Όσον αφορά τις επενδύσεις πάνω σε γραμμές διασύνδεσης στο διασυννοριακό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας παρατηρείται πως επενδύοντας σε γραμμές διασύνδεσης μεταξύ Ελλάδας – Ιταλίας οδηγούμαστε σε ενοποίηση των αγορών των δύο αυτών χωρών αλλά και των υπολοίπων προς μελέτη χωρών. Η Ιταλία έχει πολύ μεγαλύτερη ζήτηση από τις υπόλοιπες χώρες και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι διαθέτει πολλές μονάδες

υψηλού μεταβλητού κόστους οδηγείται σε υψηλές τιμές εκκαθάρισης. Συνεπώς αφού στο παρών μοντέλο μελετάται η διασύνδεσή της μόνο με τις τρεις υπόλοιπες χώρες, και εν προκειμένω συνδέεται μόνο με την Ελλάδα, δύναται να εισάγει ενέργεια σε φθηνότερη τιμή μέσω αυτής. Συνεπώς με την αύξηση της μεταξύ τους διασυνδετικής ικανότητας είναι εύλογο να οδηγούμαστε σε σύζευξη των επιμέρους αγορών και σε μεγαλύτερα κοινωνικά πλεονάσματα. Μελετώντας τα έσοδα που αποφέρει η σύνδεση αυτών των αγορών οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως συμφέρει να γίνουν επενδύσεις μεγάλης διασυνδετικής ικανότητας μεταξύ Ελλάδας – Ιταλίας καθώς τα κόστη ανακτώνται σύντομα και αποκομίζονται και επιπλέον κέρδη. Πιο συγκεκριμένα επενδύοντας στην DC γραμμή διασύνδεσης Ελλάδας – Ιταλίας παρατηρήθηκε πως επενδύσεις σε γραμμές ικανότητας φόρτισης της τάξεως των εκατοντάδων MW αποδεικνύονται πολύ αποδοτικές καθώς αποσβένουν τα κόστη τους εντός ολίγων ετών και αποκομίζουν έσοδα υπερπολλαπλάσια του κόστους επένδυσης. Παρόλα αυτά για μεγιστοποίηση των εσόδων και του κοινωνικού οφέλους σε περίπτωση που υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα προς επένδυση κεφάλαια, οι ενδεδειγμένες προς υλοποίηση επενδύσεις είναι αυτές που ισοδυναμούν με τη μέγιστη δυνατή φόρτιση των γραμμών που υπολογίζει το μοντέλο προ-ημερήσιων αγορών. Σε εγκατάσταση γραμμών παραπάνω όμως ικανότητας φόρτισης από αυτή τα έσοδα πλέον μειώνονται και οδηγούμαστε σε λιγότερα οφέλη και περιττά κόστη.

8.7.Επεκτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική μελέτη έγιναν πάνω στην ενοποιημένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας των χωρών Ελλάδας, Ιταλίας, Βουλγαρίας και FYROM ενώ οι υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος ροής φορτίου και για στις περισσότερες λειτουργίες λήφθηκαν υπ όψει σαν εξωγενείς παράγοντες. Συνεπώς μια κατεύθυνση επέκτασης του μοντέλου θα μπορούσε να είναι το να συμπεριληφθούν όσο δυνατόν περισσότερες χώρες και να γίνει επίλυση του μοντέλου για την πλειοψηφία των περιοχών που απαρτίζουν το Ευρωπαϊκό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτό το πλαίσιο θα μπορούσε να εξεταστεί ξανά η εφαρμογή των περιορισμών ελαχίστου εισοδήματος και να γίνει διασταύρωση των συμπερασμάτων. Παράλληλα θα ήταν χρήσιμο να διεξαχθεί μελέτη επενδύσεων σε γραμμές διασύνδεσης σε όλο το ευρωπαϊκό δίκτυο και να αναλυθεί ο τρόπος που επηρεάζεται η συμπεριφορά της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από την αύξηση διασυνδετικής ικανότητας από περιοχή σε περιοχή, τόσο για την AC διασύνδεση όσο και για την DC καθώς και το πώς θα μεταβληθεί η συνολική ευημερία των συμμετεχόντων χωρών αλλά και η ευημερία της κάθε χώρας ξεχωριστά. Επίσης θα μπορούσε να δοθεί και έμφαση σε οφέλη των επενδύσεων που δεν διαφαίνονται άμεσα ή δεν είναι ευκόλως μετρήσιμα, όπως τα περιβαλλοντικά. Ένα σημαντικό συμπέρασμα που προέκυψε στην παρούσα διπλωματική είναι πως μετά από μια πολύ υψηλή τιμολόγηση των προσφορών που κάνουν οι μονάδες ελαχίστου εισοδήματος μπορεί να οδηγηθούν στο να μη γίνονται αποδεκτές καθώς

δεν τους το επιτρέπει το καθεστώς ανταγωνισμού υπό το οποίο λειτουργεί η αγορά. Θα μπορούσε λοιπόν να γίνει μια ανάλυση ευαισθησίας στις τιμές προσφοράς που κάνουν οι μονάδες αυτές υποβολή και να ερευνηθεί ποια είναι η μέγιστη τιμή που τις καθιστά ικανές να γίνουν αποδεκτές και παράλληλα να αποκομίσουν υψηλότερα δυνατά έσοδα. Μια διαφορετική κατεύθυνση επέκτασης του μοντέλου δύναται να αποτελέσει και η ακόλουθη. Αντί της μελέτης του μοντέλου με ζήτηση μορφής ανελαστικής καμπύλης που κλήθηκε να καλυφθεί από τις μονάδες προσφοράς έγχυσης ηλεκτρικής ισχύος, να γίνει μελέτη συμπεριφοράς του μοντέλου στην περίπτωση ελαστικής ζήτησης. Έτσι θα μπορέσει να μελετηθεί η απόκριση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας υπό μια διαφορετική σκοπιά.

Βιβλιογραφία

1. ΑΔΜΗΕ, *Εγχειρίδιο λεξιλογίου Έκδοση 5.0*, Νοέμβριος 2012.
2. ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ, *Χάρτης πορείας για τη μετάβαση σε μια ανταγωνιστική οικονομία χαμηλών επιπέδων ανθρακούχων εκπομπών το 2050*, 8 Μαρτίου 2011.
3. Κανναβού, Μ., *Μοντέλο Προσομοίωσης του Προβλήματος Κατανομής των Μονάδων Παραγωγής του Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας και εφαρμογές σε μεγάλη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σεπτέμβριος 2014.
4. Κάπρος, Π. και Κ. Ντελκής, *Οικονομική Ανάλυση Επιχειρήσεων*, Αθήνα, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2007.
5. Κάπρος, Π., *Μοντέλα Μαθηματικού Προγραμματισμού*, Αθήνα, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2008.
6. Μπούμης, Ι., *Μοντέλο Ενοποίησης των Προ-Ημερήσιων Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας και εφαρμογή στις χώρες της Ελλάδας, της Fyrom, της Βουλγαρίας και της Ιταλίας*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιανουάριος 2016.
7. Cornélusse, B., *How the European day-ahead electricity market works*, October 2014 available at www.montefiore.ulg.ac.be/~cornelusse/material/CoursEM20141016.pdf (accessed 6 October 2016).
8. Dourbois, G. and P. Biskas, *European Market Coupling Algorithm incorporating clearing conditions of block and complex orders*, submitted to IEEE Eindhoven PowerTech 2015, June 29-July 2, 2015.
9. EPEX Spot – APX – Belpex – Nord Pool Spot – OMIE – Mercatoelettrico (GME) – OTE, *EUPHEMIA public description pcr market coupling algorithm*, 2 October 2013, available at www.mercatoelettrico.org/en/MenuBiblioteca/Documenti/20131108EuphemiaNov2013.pdf (accessed 6 October 2016).
10. EPEX Spot – APX – Belpex – Nord Pool Spot – OMIE – Mercatoelettrico (GME) – OTE, *EUPHEMIA description and functioning*, May 2014.
11. GAMS Development Corporation, *GAMS - The Solver manuals*, September 2014.
12. Hogan, W., *On An “Energy Only” Electricity Market Design for Resource Adequacy*, 23 September 2005, available at www.hks.harvard.edu/fs/whogan/ (accessed 6 October 2016).
13. Madani, M. and M. Van Vyve, *A MIP framework for non-convex uniform price day-ahead electricity auctions v2*, January 2015, available at <https://arxiv.org/abs/1410.4468> (accessed 6 October 2016).
14. Slesiz, Á. and D. Raisz, *Efficient Formulation of Minimum Income Condition Orders on the All-European Power Exchange*, Periodica Polytechnica

- Electrical Engineering and Computer Science, Vol. 59, No. 3, pp. 132-137, 2015. DOI: [10.3311/PPee.8582](https://doi.org/10.3311/PPee.8582) (accessed 6 October 2016).
15. U.S. Energy Information Administration, *Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants*, April 2013 available at www.eia.gov/forecasts/capitalcost/pdf/updated_capcost.pdf (accessed 6 October 2016).