



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

**Βέλτιστη Διαχείριση Αποφάσεων με χρήση Εργαλείων Θεωρίας  
Παιγνίων σε Περιβάλλον Απελευθερωμένης Ενεργειακής Αγοράς**

*Policies in Liberalised Energy Market using Game Theory Tools*

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Νικόλαος Χρ. Κακογιάννης

Αθήνα, Ιούνιος 2015





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## Βέλτιστη Διαχείριση Αποφάσεων με χρήση Εργαλείων Θεωρίας Παιγνίων σε Περιβάλλον Απελευθερωμένης Ενεργειακής Αγοράς

*Policies in Liberalised Energy Market using Game Theory Tools*

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Νικόλαος Χρ. Κακογιάννης

Συμβουλευτική Επιτροπή : Γεώργιος Π. Παπαβασιλόπουλος

Κωνσταντίνος Σπ. Τζαφέστας

Γεώργιος Κορρές

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 31<sup>η</sup> Μήνα Έτος.

.....  
Γεώργιος Π. Παπαβασιλόπουλος  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Κωνσταντίνος Τζαφέστας  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Γιώργος Κορρές  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Ιωάννης Ζιώμας  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Ευάγγελος Διαλυνάς  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Χρήστος Αλεξάκης  
Καθηγητής Παν. Πειραιά

Αθήνα, Ιούνιος 2015

.....

Κακογιάννης Χρ. Νικόλαος

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

Copyright © **Νικόλαος Χρ. Κακογιάννης**  
**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

Το βασικό ζητούμενο σε όλα τα επίπεδα διαχείρισης και αποφάσεων είναι το «βέλτιστο». Σε όλα τα επίπεδα διοίκησης το ζητούμενο είναι το optimization με την σπατάλη των ελάχιστων πόρων και μεγιστοποίηση του κέρδους / αποτελέσματος. Σκοπός των όλο και πιο σύνθετων διαδικασιών της σύγχρονης οικονομίας και του επιχειρείν είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους με ελαχιστοποίηση ρίσκου και άλλων παραμέτρων. Όμως σε ένα δυναμικό σύστημα με είσοδο (input) τις αποφάσεις του εκάστοτε decision maker και έξοδο (output) τα κέρδη και τις απώλειες των μελών αυτού του συστήματος, οι παράμετροι που καθορίζουν όλα τα παραπάνω δεν είναι πάντα ούτε απόλυτα μετρήσιμοι, ούτε απόλυτα αντικειμενικοί.

Στη συγκεκριμένη διατριβή γίνεται αναλυτική παρουσίαση των βασικών εργαλείων game theory ενώ σε συνδυασμό με το δυναμικό προγραμματισμό προχωρούμε στην ανάπτυξη ενός εργαλείου αποφάσεων με γνώμονα το κέρδος και τις απώλειες των παικτών του συστήματος. Παρουσιάζονται τα σημεία ισορροπίας κατά Nash και Stackelberg ενώ στη συνέχεια γίνεται προσαρμογή του μοντέλου στην αγορά ενέργειας. Συγκεκριμένα γίνεται παρουσίαση διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας. Στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση στατικής μελέτης αλληλεπίδρασης μεταξύ των διαφορετικών παραγωγών ενέργειας αλλά και του διαχειριστή του δικτύου. Ειδικότερα με δεδομένα από υπαρκτές επενδύσεις στο τομέα της ενέργειας γίνεται μια τεχνική και χρηματοοικονομική ανάλυση της λειτουργίας αυτών των παραγωγών ενέργειας (παίκτες). Στο στατικό αυτό σύστημα λειτουργίας και αλληλοεπίδρασης με το διαχειριστή του δικτύου εισάγονται και ποσοτικοποιούνται έννοιες μη μετρήσιμες (περιβαλλοντικό και κοινωνικό αποτύπωμα). Τέλος παρουσιάζονται μεμονωμένοι τρόποι βέλτιστης ενεργειακής διαχείρισης υδάτινων πόρων αλλά και η εφαρμογή του integer programming στη λήψη αποφάσεων στον ενεργειακό τομέα.

Η διατριβή ξεκινάει στο Κεφάλαιο 1 με την παρουσίαση των βασικών αρχών της Θεωρίας Παιγνίων ενώ στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 2 γίνεται παρουσίαση του Ελληνικού Δικτύου Ενέργειας και των βασικών δομών λειτουργίας του. Στα κεφάλαια 3 και 4 εξειδικεύεται η λύση ισορροπίας του Nash ενώ αναπτύσσεται ένα δυναμικό μοντέλο διαχείρισης αποφάσεων με feedback nash solutions ενώ πραγματοποιούνται runs αλλάζοντας παραμέτρους του συστήματος και εξάγονται συμπεράσματα από τα gains και losses των παικτών. Στα κεφάλαια 5 και 6 γίνεται η αντίστοιχη μελέτη και ανάπτυξη μοντέλου κατά ισορροπία Stackelberg. Στο κεφάλαιο 7 αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας της ελληνικής αγοράς ενέργειας ενώ αναλύονται οι βασικοί τεχνικοί και επενδυτικοί δείκτες των βασικών τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας. Στη συνέχεια εφαρμόζονται στατικά παραδείγματα εισόδου τους στο δίκτυο και κάλυψης αναγκών ενέργειας του δικτύου. Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζεται μια διαφορετική προσέγγιση διαχείρισης υδάτινων πόρων με βέλτιστο τρόπο μέσω γραμμικής βελτιστοποίησης ενώ στο κεφάλαιο 9 παρουσιάζεται μια ακόμα μέθοδος διαχείρισης αποφάσεων μέσω πολυκριτηριακών αποφάσεων. Στο τέλος της διατριβής ορίζονται τα συμπεράσματα και οι στόχοι της μελλοντικής έρευνας.

**Η δημιουργία εργαλείων εφαρμογής πολιτικών και στρατηγικών αποφάσεων σε ευαίσθητους τομείς όπως η ενέργεια είναι ο στόχος της διατριβής αλλά και η εξέλιξη και βελτιστοποίηση του θα αποτελέσει το βασικό αντικείμενο του περαιτέρω ερευνητικού μου έργου.**

### Λέξεις Κλειδιά

Βελτιστοποίηση, Θεωρία Παιγνίων, Αγορά Ενέργειας, Τεχνοοικονομικοί Δείκτες  
Επενδύσεων ΑΠΕ

## **Abstract**

The main goal of management and decision making processes is the “optimal”. At all administration levels the basic priority is the operational optimization with the minimum waste of resources and maximization of the profit / outcome. Purpose of the increasingly complex processes of the modern economy and business models is to maximize profit but simultaneously by minimizing the risk and other parameters. But in a system with input the decisions of a maker and output gains and losses of the members of this system, the parameters that define all of the above is not always or entirely measurable, nor totally objective.

In the thesis, it are developed the basic game theory tools and dynamic control tools. A decision policy making system is developed by using Nash and Stackelberg equilibrium points. Also different energy resources are presented by implying a static case study for their vertical and horizontal integration with the power network by making measurable some quantitative parameters of the energy sources.

At Chapter 1 the basic Game Theory Principles are presents. At Chapter 2 is presented the Greek Power Distribution System. At Chapters 3 and 4 a dynamic model with feedback Nash Theory solutions is developed and the same at chapters 5 and 6 for Stackelberg Theory. At chapter 7 the basic energy sources and their technical and investment flags are developed. At chapter 8 is developed an water management method taking into consideration the energy consumption and chapter 9 presents a multi criteria method of evaluation energy investments. At the end of the thesis are presented the conclusions and the future research goals.

**The development of an implementing policies tools and strategic decisions making tools in sensitive sectors such as energy is the goal of my thesis and the development and optimization will be the main subject of my research work.**

### **Key words**

Optimization , Game Theory Tools, Energy Market , Technoeconomics flags for RES  
Investmnets

# Περιεχόμενα

Περίληψη - Abstract .....	
Εισαγωγή Διατριβής .....	1
1 Κεφάλαιο 1: Game Theory , βασικές αρχές κ παραδείγματα .....	5
1.1 Γενικές Έννοιες .....	5
1.2 Actions and Strategy .....	6
1.3 Δύο Παίχτες – Noncooperative zero-sum game .....	8
1.4 Μικτές στρατηγικές (mixed strategies zero sum games) .....	10
1.5 Minimax Λύση .....	11
1.6 Saddle point σημείο ισορροπίας σε παιχνίδι μίας κίνησης (single-act game) .....	11
1.7 Μικτές Στρατηγικές Bimatrix Παιχνιδιών .....	11
1.8 Σημείο ισορροπίας Stackelberg (Stackelberg Equilibrium Solution) .....	12
1.9 Δυναμικός Προγραμματισμός .....	12
1.10 Γραμμική τετραγωνική λύση (Linear Quadratic Solution – Optimal Control Problem) .....	13
2 Κεφάλαιο 2: Τρόπος λειτουργίας εθνικού δικτύου ηλεκτρισμού. Παραδείγματα από τον Ευρωπαϊκό χώρο .....	15
2.1 Εισαγωγή .....	15
2.2 Αγοράς Ενέργειας – Εφαρμογή της θεωρίας Παιγνίων .....	15
2.3 Δομή της Ελληνικής Αγοράς Ηλεκτρισμού .....	16
2.4 Αγορά Μακροχρόνιας Διαθεσιμότητας Ισχύος .....	17
2.5 Αγορά Μακροχρόνιων ΦΔΜ στις Διασυνδέσεις .....	17
2.6 Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (Χονδρεμπορική Αγορά) .....	19
2.7 Αγορά Εξισορρόπησης Ενέργειας .....	20
2.8 Βασικοί Συμμετέχοντες στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	21
2.9 Κατανομή Πραγματικού Χρόνου .....	21
2.10 Ανάπτυξη και Συντήρηση του Συστήματος Μεταφοράς .....	22
2.11 Ο Λειτουργός της Αγοράς (ΛΑΓΗΕ Α.Ε.) .....	22
2.12 Ο Διαχειριστής του Δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.) .....	23
2.13 Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) .....	23
2.14 Δραστηριότητες της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	24
2.15 Χρονικός Ορίζοντας Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού .....	26
2.16 Περιορισμοί .....	29
2.17 Κανόνας Αποσύνδεσης – Χειρισμού Προσφορών με Ίδια Τιμή .....	30
2.18 Αποτελέσματα Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού .....	31
2.19 Η Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ) .....	33
2.20 Ανάλυση Διασυννοριακών Αγοραπωλησιών Ενέργειας. Παράδειγμα Βουλγαρίας .....	35
2.21 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΕΥΡΩΠΑΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ – ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ ΜΗ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	39
2.22 Περίπτωση 2 – Ισλανδία .....	45
2.23 Περίπτωση 3 – Κανάρια νησιά-Ελ Ιέρρο (Canary islands-El Hierro) .....	47

2.24	Περίπτωση 3 - Ελ Ιέρρο-El Hierro .....	49
2.25	Περίπτωση 4 – νήσος Φλόρες (Αζόρες, Πορτογαλία)/Flores island (Azores, Portugal)	51
3	Κεφάλαιο 3: Θεωρία Παιγνίων – Εφαρμογή Nash.....	55
3.1	Γενικές Έννοιες .....	55
3.2	Open-Loop and Feedback Nash and Saddle-Point Equilibria for Dynamic Games .....	56
3.3	Open-loop Nash equilibria για Linear Quadratic Games .....	57
3.4	Closed-loop Nash equilibria για Linear Quadratic Games .....	57
3.5	Επίλυση Δυναμικού Παιχνιδιού Διακριτού Χρόνου - Nash .....	58
3.6	Εφαρμογή μελέτης .....	59
3.6.1	Εξισώσεις κατάστασης και κόστη .....	60
3.7	Λύση Feedback Nash .....	60
4	Κεφάλαιο 4 : Εφαρμογή του αλγορίθμου Nash σε περιβάλλον με ένα κεντρικό μεγάλο παίκτη και πέντε μικρούς. Συμπεράσματα – Προσομοίωση αγοράς ενέργειας. ....	65
4.1	Βασικές εξισώσεις μοντέλου – Επεξήγηση ρόλων .....	65
4.2	Τρεξίματα του μοντέλου και επεξήγηση παραμέτρων.....	66
4.2.1	Μεταβολή της παραμέτρου a – Συμπεράσματα .....	66
4.2.2	Μεταβολή της παραμέτρου b.....	68
4.2.3	Μεταβολή της παραμέτρου q του major παίκτη.....	69
4.2.4	Μεταβολή της παραμέτρου q του minor παίκτη.....	71
5	Κεφάλαιο 5 : Θεωρία Παιγνίων – Εφαρμογή Stackelberg .....	73
5.1	Γενικές Εξισώσεις .....	73
6	Κεφάλαιο 6 : Εφαρμογή του αλγορίθμου Stackelberg σε περιβάλλον με ένα κεντρικό μεγάλο παίκτη και πέντε μικρούς. Συμπεράσματα – Προσομοίωση αγοράς ενέργειας.....	77
6.1	Γενικές Αρχές μοντέλου.....	77
6.2	Βασικές Εξισώσεις και παράμετροι συστήματος.....	77
6.3	Αποτελέσματα και Συμπεράσματα .....	78
6.3.1	Μεταβολή της παραμέτρου a – Συμπεράσματα .....	78
6.3.2	Μεταβολή της παραμέτρου b – Συμπεράσματα .....	80
7	Κεφάλαιο 7: Εφαρμογή σε απελευθερωμένη αγορά ενέργειας με εισαγωγή παραγωγών διαφορετικών χαρακτηριστικών (static case) .....	83
7.1	Εισαγωγή - Γενική Περιγραφή Ελληνικής Αγοράς .....	83
7.2	Εγγυημένες Τιμές και Κόστη Εγκατάστασης Τεχνολογιών .....	84
7.3	Στατική Μελέτη Εφαρμογής .....	88
7.4	Παρουσίαση Διαφορετικών Τεχνολογιών Παραγωγής Ενέργειας .....	91
7.4.1	Αιολικό Πάρκο.....	91
7.4.2	Φωτοβολταϊκό Πάρκο.....	93
7.4.3	Μονάδα Ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμη ύλη Βιομάζα.....	95
7.4.4	Μονάδα Ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμη ύλη Λιγνίτη .....	97
7.4.5	Δοκιμαστικό run αλγορίθμου – Ανάπτυξη Εφαρμογής.....	99
8	Κεφάλαιο 8 : Εφαρμογή: Ενεργειακή βελτιστοποίηση λειτουργίας υδρευτικού συστήματος με εφαρμογή στη ΔΕΥΑΧ Χανίων.....	103
8.1	Εισαγωγή.....	103



8.2	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΩΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ-ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ .....	104
8.3	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ .....	105
8.4	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ-ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	106
8.5	ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	110
9	Κεφάλαιο 9: Πολυκριτηριακές αποφάσεις για ενεργειακές επενδύσεις και εκκαθάριση της αγοράς	117
9.1	Εισαγωγή.....	117
9.2	Διατύπωση του προβλήματος.....	118
9.3	Εισαγωγικό παράδειγμα .....	118
9.4	Αντικειμενική συνάρτηση και περιορισμοί .....	120
9.5	Αξιολόγηση λύσεων.....	121
9.6	Μέθοδος επίλυσης.....	121
9.6.1	Πρόβλημα 1: Ικανοποιησιμότητα .....	121
9.6.2	Πρόβλημα 2a: Γραμμικός Ακέραιος Προγραμματισμός .....	122
9.7	Πρόβλημα 3: Πολυκριτηριακός Ακέραιος Προγραμματισμός .....	123
9.8	Παραδείγματα .....	123
9.8.1	Παραδείγματα για το Πρόβλημα 1 .....	123
9.8.2	Παραδείγματα για το Πρόβλημα 2 .....	125
9.8.3	Παραδείγματα για το Πρόβλημα 3 .....	126
9.9	Ευσαιθησία/Σταθερότητα.....	127
9.10	Συμπεράσματα και επεκτάσεις .....	128
10	Κεφάλαιο 10 :Συμπεράσματα – Μελλοντικοί Ερευνητικοί Στόχοι.....	129
	Παράρτημα Α - Κώδικας Java .....	131
	Παράρτημα Β.....	161
	Παράρτημα Γ .....	167
	REFERENCES .....	169

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η θεωρία παιγνίων είναι ένα δημοφιλές μαθηματικό εργαλείο το οποίο βρίσκει εφαρμογές σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας. Θεωρίες της βιολογικής εξέλιξης, τακτικές σε τυχερά παιχνίδια, πολιτικές αποφάσεις και στρατηγικές αποφάσεις σε απελευθερωμένες και μη αγορές, ακόμα και ζητήματα της προσωπική καθημερινής μας ζωής αποτελούν μόνο μερικές από τις εφαρμογές της θεωρίας παιγνίων.

Εργαλεία που προκύπτουν από εφαρμογές και μοντέλα της θεωρίας παιγνίων μαθηματοποιούν και προσωμειώνουν καταστάσεις συνεργασίας και ανταγωνισμού, σύγκρουσης και στρατηγικής.

*Η δυνατότητα μαθηματοποίησης ποιοτικών χαρακτηριστικών και “συμπεριφορικών” μεταβλητών μέσω της θεωρίας παιγνίων αποτέλεσε το ισχυρότερο κίνητρο για την επιλογή του αντικειμένου του thesis μου.*

Το επόμενο βήμα μετά τη θεωρητική δουλειά και έρευνα αποτέλεσε η επιλογή του πεδίου πάνω στο οποία θα εφαρμοζόταν το μοντέλο και το αποτέλεσμα της θεωρητικής έρευνας.

Στη συγκεκριμένη διατριβή γίνεται αναλυτική παρουσίαση των βασικών εργαλείων game theory ενώ σε συνδυασμό με το δυναμικό προγραμματισμό προχωρούμε στην ανάπτυξη ενός εργαλείου αποφάσεων με γνώμονα το κέρδος και τις απώλειες των παικτών του συστήματος. Παρουσιάζονται τα σημεία ισορροπίας κατά Nash και Stackelberg ενώ στη συνέχεια γίνεται προσαρμογή του μοντέλου στην αγορά ενέργειας. Συγκεκριμένα γίνεται παρουσίαση διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας. Στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση στατικής μελέτης αλληλεπίδρασης μεταξύ των διαφορετικών παραγωγών ενέργειας αλλά και του διαχειριστή του δικτύου. Ειδικότερα με δεδομένα από υπαρκτές επενδύσεις στο τομέα της ενέργειας γίνεται μια τεχνική και χρηματοοικονομική ανάλυση της λειτουργίας αυτών των παραγωγών ενέργειας (παίκτες). Στο στατικό αυτό σύστημα λειτουργίας και αλληλεπίδρασης με το διαχειριστή του δικτύου εισάγονται και ποσοτικοποιούνται έννοιες μη μετρήσιμες (περιβαλλοντικό και κοινωνικό αποτύπωμα). Τέλος παρουσιάζονται μεμονωμένοι τρόποι βέλτιστης ενεργειακής διαχείρισης υδάτινων πόρων αλλά και η εφαρμογή του integer programming στη λήψη αποφάσεων στον ενεργειακό τομέα.

Ο τομέας της ενέργειας και της διαχείρισης της αγοράς ενέργειας συγκεντρώνει όλα τα αναγκαία χαρακτηριστικά που τον κάνουν ελκυστικό για διαχρονική αναλυτική έρευνα. Η Ελληνική αγορά ενέργειας μέσα από την ποικιλία των παραγωγών ισχύος, την υψηλή διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λόγω των ιδανικών κλιματολογικών συνθηκών της, το σημαντικό γεωπολιτικό ρόλο της, τις διασυνδέσεις με τις γειτονικές χώρες, την οικονομική κρίση που επίσης έχει επηρεάσει τον ενεργειακό κλάδο και την μεταβατική διαδικασία της αγοράς και την επικείμενη ιδιωτικοποίηση της, προσφέρει κρίσιμα και ενδιαφέροντα σημεία προς διερεύνηση.

Η διαχείριση της Ελληνικής Αγοράς Ενέργειας έχει αυτή τη στιγμή 3 βασικούς πυλώνες. Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) και ο ρυθμιστικός της ρόλος αποτελούν την πηγή των κανόνων λειτουργίας και τυχόν αλλαγών στην αγορά ενώ ο ΑΔΜΗΕ και ο ΛΑΓΗΕ αποτελούν τους εκτελεστικούς βραχίονες της Πολιτείας (τεχνικό και οικονομικό βραχίονα).

➤ **ΡΑΕ:** Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), η οποία συγκροτήθηκε τον Ιούλιο του 2000, αποτελεί ανεξάρτητη διοικητική αρχή, στην οποία έχει ανατεθεί η παρακολούθηση της αγοράς ενέργειας, όπως αυτή αναπτύσσεται – τόσο μονοσήμαντα στην Ελληνική αγορά - όσο και όπως αυτή λειτουργεί και αναπτύσσεται σε σχέση με τις ξένες αγορές ενέργειας, και ιδίως με αυτές με τις οποίες διασυνδέεται.

Η παρακολούθηση της τιμολόγησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και η αρμοδιότητα της ΡΑΕ είτε να θεσπίσει αρχές και κανόνες, είτε να γνωμοδοτήσει σχετικά, συνιστά μείζονος σημασίας αρμοδιότητα, η άσκηση της οποίας προϋποθέτει σφαιρική και βέβαιη αντίληψη των δεδομένων που επικρατούν στην αγορά.

➤ **ΛΑΓΗΕ:** Ο ‘Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ’ εφαρμόζει τους κανόνες για τη λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με τις διατάξεις του νόμου 4001/2011 και των κατ’ εξουσιοδότηση αυτού εκδιδόμενων πράξεων και ιδίως τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό.

Στο πλαίσιο του σκοπού του, ο Λειτουργός της Αγοράς ασκεί, ιδίως, τις ακόλουθες αρμοδιότητες:

(α) Διενεργεί τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό

(β) Συνεργάζεται με τον Διαχειριστή του ΕΣΜΗΕ σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και του Κώδικα Διαχείρισης του ΕΣΜΗΕ.

(γ) Τηρεί ειδικό Μητρώο Συμμετεχόντων στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας και εγγράφει τους Συμμετέχοντες, σύμφωνα με τις ειδικότερες διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.

(δ) Παρέχει έγκαιρα και με κάθε πρόσφορο τρόπο στους Συμμετέχοντες στην Αγορά αυτή Ηλεκτρικής Ενέργειας τις απαραίτητες πληροφορίες για τη συμμετοχή τους στην Αγορά.

(ε) Αποφεύγει κάθε διάκριση μεταξύ των Συμμετεχόντων στην Αγορά Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και εφαρμόζει κατά την παροχή των υπηρεσιών του διαφανή, αντικειμενικά και αμερόληπτα κριτήρια.

(στ) Συμμετέχει σε κοινές επιχειρήσεις, ιδίως με διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς, καθώς και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενέργειας και άλλους ανάλογους φορείς, με στόχο τη δημιουργία περιφερειακών αγορών στο πλαίσιο της εσωτερικής αγοράς ενέργειας.

(ζ) Εισπράττει από τους Συμμετέχοντες τέλη για τη διαχείριση και λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και τηρεί τους αναγκαίους λογαριασμούς, σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.

(η) Συμμετέχει σε ενώσεις, οργανώσεις ή εταιρείες, μέλη των οποίων είναι λειτουργοί αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες έχουν σκοπό την επεξεργασία και διαμόρφωση κανόνων κοινής δράσης που συντείνουν, στο πλαίσιο της κοινοτικής νομοθεσίας, στη δημιουργία ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

(θ) Συνάπτει συμβάσεις πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τα προβλεπόμενα στο άρθρο 12 του ν. 3468/2006 που παράγονται από εγκαταστάσεις ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ, εφόσον οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται στο Σύστημα είτε απευθείας είτε μέσω του Δικτύου, και καταβάλλει τις πληρωμές που προβλέπονται στις συμβάσεις αυτές. Τα ποσά που καταβάλλονται στους αντισυμβαλλόμενους ανακτώνται κατά τα προβλεπόμενα στο άρθρο 143 του Ν. 4001/2011.

(ι) Διενεργεί τη διευθέτηση των χρηματικών συναλλαγών στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού σε συνεργασία με τους Διαχειριστές του ΕΣΜΗΕ και του ΕΔΔΗΕ.

➤ **ΑΔΜΗΕ:** Ο ΑΔΜΗΕ ως Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ) έχει στόχο τη διασφάλιση ότι η μακροχρόνια ικανότητα του Συστήματος ανταποκρίνεται σε εύλογες ανάγκες για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, υπό οικονομικά βιώσιμες συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη την προστασία του περιβάλλοντος ενώ φροντίζει για την παροχή πρόσβασης στο Σύστημα στους κατόχους άδειας παραγωγής, προμήθειας ή εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας, σε όσους έχουν νόμιμα εξαιρεθεί από την υποχρέωση κατοχής τέτοιων αδειών.

Έχοντας κατανοήσει τον ακριβή ρόλο και αρμοδιότητες των βασικών ρυθμιστών της Ελληνικής Ενεργειακής Αγοράς θα προχωρήσουμε στην ανάπτυξη ενός μοντέλου αλληλεπίδρασης των βασικών διαμορφωτών των κανόνων της αγοράς αλλά και των καταναλωτών / παραγωγών ισχύος που μπαίνουν και βγαίνουν στο σύστημα έχοντας ο κάθε παίκτης από αυτούς ξεχωριστά και ιδιαίτερα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά.

## Διάρθρωση Κεφαλαίων Διατριβής

- Στο **Κεφάλαιο 1** υπάρχει μια παρουσίαση των βασικών αρχών και εργαλείων game theory. Γίνεται αναφορά στη χρησιμότητα της θεωρίας για τη λήψη αποφάσεων και τονίζεται η ανάγκη για τη δημιουργία ενός καινούριου τρόπου λήψης αποφάσεων με την εισαγωγή ποιοτικών κριτηρίων. Τέλος γίνεται αναφορά σε βασικές εφαρμογές της καθημερινότητας και γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στη case study της διαχείρισης του δικτύου ενέργειας.
- Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται μια εκτενής αναφορά στο τρόπο λειτουργίας του Ελληνικού Δικτύου Διανομής και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Παρουσιάζεται ο τρόπος επιλογής παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας, ο τρόπος τιμολόγησης της παραγόμενης ενέργειας και τα κριτήρια που εφαρμόζει ο ΛΑΓΗΕ. Παράλληλα γίνεται παρουσίαση του τρόπου εισαγωγής και εξαγωγής δικαιωμάτων ενέργειας ενώ παρουσιάζονται περιπτώσεις λειτουργίας αυτόνομων μη διασυνδεδεμένων συστημάτων στην Ευρώπη.
- Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται αναλυτική παρουσίαση του μοντέλου Nash. Αναπτύσσεται ένα custom μοντέλο εύρεσης Nash Equilibriums ενώ γίνονται runs του κώδικα εξάγοντας αποτελέσματα. Μέσα από τα αποτελέσματα και των υπολογισμών των gains και losses των παικτών εξάγονται συμπεράσματα.
- Στο **Κεφάλαιο 4** τονίζεται η σημασία εφαρμογής του μοντέλου Nash στο τομέα της ενέργειας. Από την εκτέλεση των runs προκύπτουν συμπεράσματα για κερδισμένους και χαμένους.
- Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται αναλυτική παρουσίαση του μοντέλου Stackelberg. Αναπτύσσεται ένα custom μοντέλο εύρεσης Stackelberg Equilibriums ενώ γίνονται runs του κώδικα εξάγοντας αποτελέσματα. Μέσα από τα αποτελέσματα και των υπολογισμών των gains και losses των παικτών εξάγονται συμπεράσματα.
- Στο **Κεφάλαιο 6** τονίζεται η σημασία εφαρμογής του μοντέλου Stackelberg στο τομέα της ενέργειας. Από την εκτέλεση των runs προκύπτουν συμπεράσματα για κερδισμένους και χαμένους.
- Στο **Κεφάλαιο 7** αναλύονται οι προοπτικές εφαρμογής των μαθηματικών μοντέλων στην Ελληνική Αγορά Ενέργειας και συγκεκριμένα σε απελευθερωμένο μοντέλο. Παραμετροποιούνται και δημιουργούνται προφίλ για τους βασικούς παραγωγούς ενέργειας με τελείως διαφοροποιημένο τρόπο από ότι γίνεται αυτή τη στιγμή. Γίνεται ανάλυση του νέου τρόπου λειτουργίας με εργαλείο τη θεωρία παιγνίων και αναλύεται η ανάγκη διαφοροποίησης της ενεργειακής πολιτικής σε βάθος 50 ετών λαμβάνονται υπόψη τις νέες προτεραιότητες της ευρωπαϊκής πολιτικής (περιβάλλον), γεωπολιτικές εξελίξεις που σχετίζονται με το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο και τη διείσδυση των ΑΠΕ.
- Στο **Κεφάλαιο 8** παρουσιάζεται μια εφαρμογή βέλτιστης ενεργειακής διαχείρισης υδάτινων πόρων με εφαρμογή στο σύστημα ύδρευσης και άρδευσης του νομού Χανίων Κρήτης.
- Στο **Κεφάλαιο 9** παρουσιάζεται μελέτη εφαρμογής για πολυκριτηριακές αποφάσεις για ενεργειακές επενδύσεις και εκκαθάριση της αγοράς.
- Στο **Κεφάλαιο 10** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διδακτορικής διατριβής, η χρησιμότητα και η καινοτομία του ερευνητικού έργου του συγγραφέα ενώ οριοθετούνται οι στόχοι για το μελλοντικό ερευνητικό του έργο
- Τέλος στο παράρτημα υπάρχει λίστα των διεθνών συνεδρίων που πήρε μέρος ο Συγγραφέας, λίστα των επιστημονικών άρθρων σε διεθνή περιοδικά και τέλος παρουσιάζονται οι πηγαίοι κώδικες περιβάλλοντος Matlab και Java που χρησιμοποιήθηκαν.

## Κεφάλαιο 1

### Game Theory, βασικές αρχές και παραδείγματα

#### 1.1 Γενικές Έννοιες

Ο ανταγωνισμός και η επίτευξη στόχων είναι δομικό χαρακτηριστικό της ανθρώπινης φύσης. Στη συντριπτική πλειοψηφία ο στόχος δεν είναι μια μονοσήμαντη έννοια αλλά η κατάκτηση του αποκτάει αξία είτε με τη συνεργασία είτε με τον ανταγωνισμό και τη σύγκρουση.

Η επίτευξη στόχων και η διαχείριση καταστάσεων έχουν πολλά πιθανά εργαλεία να αναλυθούν όπως μαθηματικά μοντέλα και έννοιες όπως η τύχη και η μεθοδικότητα.

Η Θεωρία Παιγνίων προσφέρει το ιδανικό εργαλείο ανάλυσης καταστάσεων ανταγωνισμού ή συνεργασίας αλλά και ποσοτικοποίησης εννοιών όπως η στρατηγική.

Συγκεκριμένα **Θεωρία παιγνίων (Game Theory)** είναι ο κλάδος της μαθηματικής επιστήμης που μελετάει την λήψη στρατηγικών αποφάσεων σε καταστάσεις **σύγκρουσης και συνεργασίας**. Το Game Theory έχει εφαρμογές στην οικονομία, στην πολιτική και την ανθρώπινη ιστορία, στη βιολογία, στην πληροφορική, σε αγορές όπως η ενέργεια και το χρηματιστήριο. Αν κάποιος αναλογιστεί όλες τις δυνατότητες και τα εργαλεία αυτής της επιστήμης θα αντιληφθεί ότι έχει εφαρμογή στην καθημερινότητα ακόμα και στις διαπροσωπικές σχέσεις του καθενός ατόμου ξεχωριστά.

Η Θεωρία Παιγνίων περιλαμβάνει συνδυασμό αποφάσεων και κινήσεων πολλών παραγόντων. Σε περίπτωση που η σειρά των κινήσεων-αποφάσεων έχει σημασία για το τελικό αποτέλεσμα τότε το σύστημα ονομάζεται **δυναμικό (dynamic)**.

Όταν ο κάθε παίκτης επιδιώκει το αποκλειστικό δικό του όφελος και είναι σε ευθεία αντίθεση και σύγκρουση με το όφελος των υπολοίπων τότε το σύστημα ονομάζεται «**μη συνεργάσιμο (noncooperative)**».

Οι ατομικοί παράγοντες που εμπλέκονται στο σύστημα αποφάσεων ονομάζονται **παίχτες (players)** ή **λήπτες αποφάσεων (decision makers)**.

Συνδυάζοντας το Game Theory με Θεωρία Βέλτιστου Ελέγχου (Optimal Control Theory) προκύπτουν εργαλεία Δυναμικής Θεωρίας Παιγνίων (Dynamic Game Theory) όπου παρουσιάζονται πάνω από ένας decision maker, με ξεχωριστές εξισώσεις κόστους (cost function) και πρόσβαση σε διαφορετικό όγκο πληροφορίας.

Βασική διαφοροποίηση μεταξύ μοντέλων του Game Theory είναι αυτά που το άθροισμα των εξισώσεων κόστους είναι μηδενική (**zero-sum games**) και αυτά που δεν είναι μηδενική (**nonzero-sum games**). Δηλαδή σε καταστάσεις όπου το κέρδος του ενός παίκτη συνεπάγεται ισόποση απώλεια του άλλου παίκτη. Με το συμβολισμό  $u_i$ , και  $J_i$  συμβολίζουμε τη απόφαση και την συνάρτηση κόστους / ωφέλειας αντίστοιχα των παιχτών  $P_i$ .

Στην ουσία σε ένα **nonzero-sum game** παιχνίδι δεν επιτρέπεται κάποιου είδους διαπραγμάτευση ή συνεννόηση μεταξύ των παιχτών καθώς το κέρδος του ενός είναι η άμεση απώλεια του άλλου. Όμως σε πολλά είδη εφαρμογών game theory η αμοιβαία συνεργασία και συνεννόηση μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερο κοινό αποτέλεσμα.

Σε τέτοιου είδους «παιχνίδια» δημιουργούμε μια κοινή εξίσωση κόστους που το κοινό όφελος συμπίπτει με το ατομικό όφελος με αποτέλεσμα την κοινή προσπάθεια και συνεννόηση.

## 1.2 Actions and Strategy

Εδώ πρέπει να διαχωρίσουμε την έννοια μεταξύ της των ενεργειών ή ελέγχων (**actions**) και των στρατηγικών (**strategies ή decision rules**) [ref 2].

Όταν οι επόμενες επιλογές-κινήσεις εξαρτώνται από δεδομένα ή παραμέτρους, οι οποίες πιθανόν δεν είναι γνωστές ακόμα στον παίχτη και δεν μπορεί να τις επηρεάσει, τότε αυτό ονομάζεται στρατηγική ή κανόνας αποφάσεων (**strategy or decision rule**) ή διαφορετικά η λογική διαδικασία βάση της οποίας αποφασίζει ο παίκτης.

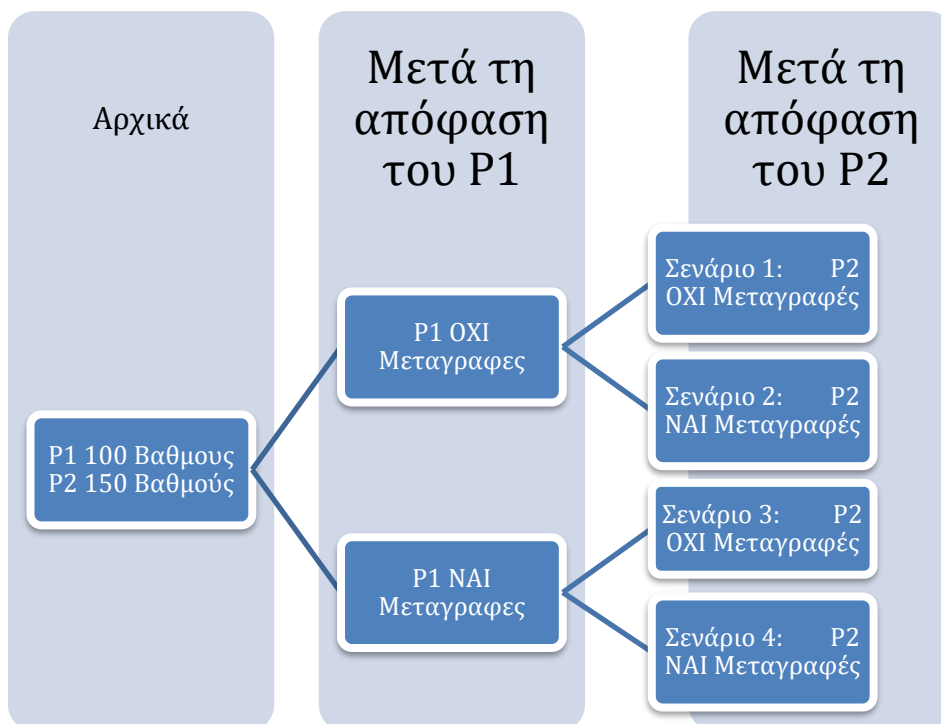
Οι τιμές που περιέχουν τα decision rules (strategies) λέγονται **actions**. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να έχουν ντετερμινιστικό χαρακτήρα (επιλογές άλλων παιχτών) ή στοχαστικό χαρακτήρα (πιθανότητες).

*Εισαγωγικό Παράδειγμα:*

Στο προς εξέταση παράδειγμα μας έχουμε δυο αθλητικές ομάδες που έχουν ίδιους βαθμολογικούς στόχους. Με βάση το ύψος των μεταγραφών που θα κάνει η κάθε ομάδα συγκεντρώνει λιγότερους ή περισσότερους βαθμούς στο πρωτάθλημα.

Αρχικά η κάθε ομάδα έχει συγκεκριμένη βαθμολογία. Η ομάδα P1 έχει 100 βαθμούς και η ομάδα P2 έχει 150 βαθμούς. Μέσω των μεταγραφών θέλουν να αυξήσουν τους πόντους της βαθμολογίας τους. Η κάθε μεταγραφή όμως στοιχίζει.

Αρχικά θεωρούμε ότι στην πρώτη περίοδο ολοκληρώνεται το παιχνίδι. Πρώτα πρέπει να αποφασίσει ο P1 αν θα προχωρήσει σε μεταγραφή ή όχι και στη συνέχεια θα αποφασίσει ο P2. Στο πιο κάτω διάγραμμα σε κάθε κόμβο φαίνεται αν προχωράει σε μεταγραφές ή όχι αρχικά ο P1 και στη συνέχεια ο P2. Το κόστος μεταγραφής το αντιστοιχούμε σε 30 πόντους.



Σχήμα 1.1 Διάγραμμα Αποφάσεων

Αρχικά ο **P1** έχει 100 πόντους και ο **P2** έχει 150 πόντους.

- **Σενάριο 1:** P1-> 80 πόντους , P2 -> 125 πόντους
- **Σενάριο 2:** P1-> 75 πόντους , P2 -> 160 πόντους
- **Σενάριο 3:** P1-> 115 πόντους , P2 -> 120 πόντους
- **Σενάριο 4:** P1-> 95 πόντους , P2 -> 145 πόντους

Στο συγκεκριμένο παιχνίδι ο P2 γνωρίζει αν ο P1 θα κάνει μεταγραφή και στη συνέχεια αποφασίζει ο ίδιος τι θα κάνει. Στη συγκεκριμένη περίπτωση είτε κάνει μεταγραφή είτε όχι ο P1 , είναι προς όφελος του P2 να κάνει μεταγραφές σε κάθε περίπτωση.

Μια παραλλαγή του συγκεκριμένου παιχνιδιού είναι να αποφασίζουν ταυτόχρονα οι δύο παίκτες αν θα κάνουν μεταγραφή ή όχι ή ισοδύναμα να μην έχει γνώση ο ένας των κινήσεων του άλλου. Σε αυτή την περίπτωση έστω ότι έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

- **Σενάριο 1:** P1-> 80 πόντους , P2-> 125 πόντου
- **Σενάριο 2:** P1-> 75 πόντους , P2-> 160 πόντους
- **Σενάριο 3:** P1-> 115 πόντους , P2-> 120 πόντους
- **Σενάριο 4:** P1-> 95 πόντους , P2-> 145 πόντους

Βλέπουμε ότι το τέταρτο σενάριο , δηλαδή το να κάνουν μεταγραφή και οι 2, είναι ένα **Nash σημείο ισορροπίας, δηλαδή κανείς δε μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω την κατάσταση του χωρίς τη μεταβολή απόφασης και του άλλου παίχτη.**

Η ίδια λογική μπορεί να ακολουθηθεί και για περισσότερα στάδια και με παραλλαγές για το επίπεδο γνώσης του ενός παίχτη για τις κινήσεις του άλλου παίχτη.

Η εναλλαγή των αποφάσεων, η διαφοροποίηση στο επίπεδο γνώσεις των κινήσεων των «συμπαικτών» εισάγουν την έννοια της βέλτιστης επιλογής , με διαφορετική προσέγγιση όμως από ότι σε ένα κλασικό optimal control σύστημα με ένα παίχτη. Για αυτό το λόγο στη θεωρία παιχνιδιών εισάγεται ή έννοια του βέλτιστου σημείου ισορροπίας Nash ή η έννοια του σημείου Pareto (συνεργατικό σημείο ισορροπίας όπου αποφασίζουν οι παίκτες να ελαχιστοποιήσουν κάποιο άθροισμα objectives).

Μια βασική διαφοροποίηση των “παιχνιδιών” είναι αυτή ανάμεσα στα δυναμικά και στα στατικά.

- Δυναμικό (**dynamic**) χαρακτηρίζεται ένα παιχνίδι όταν η στρατηγική ενός τουλάχιστον παίχτη εξαρτάται από προηγούμενες αποφάσεις / ενέργειες δικές του ή άλλων παιχτών [ref 2].
- Στατικό (**static**) είναι ένα παιχνίδι όταν δεν εξαρτάται από άλλες χρονικές περιόδους αλλά οι παίκτες αποφασίζουν μια φορά ανεξάρτητα από άλλες παραμέτρους. [ref 2]

### 1.3 Δύο Παίχτες – Noncooperative zero-sum game

Τέτοιου είδους παιχνίδια παρουσιάζονται συνήθως σε δύο μορφές:

- I. **Μορφή πίνακα** – normal (matrix) form
- II. **Εκτεταμένη μορφή δένδρου** – extensive tree form

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος παρουσίασης του παιχνιδιού μεταξύ δύο παιχτών **P1** και **P2** είναι μέσω ενός πίνακα διαστάσεων  $m \times n$ . Κάθε στοιχείο του πίνακα αντιπροσωπεύει την **έξοδο** του συστήματος/παιχνιδιού ανάλογα με το συνδυασμό των αποφάσεων των παιχτών.

Οι γραμμές  $m$  είναι οι πιθανές επιλογές (strategies) του παίχτη P1 ενώ οι στήλες  $n$  είναι του P2.

Άρα το στοιχείο του πίνακα  $a_{ij}$  είναι το κέρδος του P1 όταν γίνουν οι επιλογές  $i$  και  $j$  από τους P1 και P2 αντίστοιχα.

Και εφόσον μιλάμε για **zero-sum game** το κέρδος του ενός είναι αντίστοιχη απώλεια του δεύτερου. Στόχευση του P1 είναι η ελαχιστοποίηση της εξόδου (outcome) του συστήματος ενώ η παράλληλη στόχευση του P2 είναι η μεγιστοποίηση.

Ας προσεγγίσουμε μια εκδοχή όπου το «παιχνίδι» θα τρέξει **μια φορά μόνο**. Η λογική αντιμετώπιση του P1 είναι να εξασφαλίσει την ελάχιστη απώλεια του μη μπορώντας να προβλέψει αν θα κινηθεί με ή χωρίς λογική ο P2. Κάτω από αυτό το πρίσμα ο P1 θα διαλέξει τη σειρά  $i^*$  του πίνακα  $A$  όπου το μέγιστο στοιχείο της σειράς  $i$  δεν είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο των υπολοίπων σειρών του πίνακα.

Αυτή είναι η στρατηγική ασφαλείας του P1 και μπορούμε να την αποτυπώσουμε μαθηματικά ως εξής:

$$\bar{V}(A) = \triangleq \max_j a_{i^*j} \leq \max_j a_{ij}, i=1, \dots, m \quad (1.1) \text{ [ref 2]}$$

Κατά αναλογία ο P2 διαλέγει τη στήλη  $j^*$  όπου το ελάχιστο στοιχείο της στήλης  $j$  είναι μικρότερο από το ελάχιστο στοιχείο οποιαδήποτε άλλης στήλης.

Αυτή είναι η στρατηγική ασφαλείας του P2 και μπορούμε να την αποτυπώσουμε μαθηματικά ως εξής:

$$\underline{V}(A) = \triangleq \min_j a_{ij^*} \geq \min_j a_{ij}, j=1, \dots, n \quad (1.2)$$

➤ *Παραδείγματα matrix game zero sum*

Έστω ότι έχουμε το εξής 3x4 Πίνακα.

		<b>P2</b>			
		1	3	3	-2
<b>P1</b>		0	-1	2	1
		-2	2	0	1

Έστω ο P2, ο οποίος θέλει να ,μεγιστοποιήσει το κέρδος του, έχει μια μοναδική «ασφαλή» στρατηγική τη στήλη 3 ( $j=3$ ) εξασφαλίζοντας ένα ελάχιστο κέρδος μηδέν (0). Ο P1 που θέλει να ελαχιστοποιήσει τη ζημιά του έχει 2 πιθανές στρατηγικές ασφαλείας τη γραμμή 2 και τη γραμμή 3. ( $i=2$  ή  $i=3$ ). Αν ο P2 παίξει πρώτος και επιλέξει τη στήλη 3 ο P1 έχει ως μοναδική επιλογή τη σειρά 3 ( $i=3$ ) δίνοντας outcome του παιχνιδιού ίσο με το 0. Αν παίξει πρώτος ο P1 είναι αδιάφορος για ποια από τις 2 δυνατικές επιλογές του κάνει. Αν ο P1 κάνει την επιλογή  $i=2$  ο P2 έχει ως μοναδική επιλογή το  $j=3$ . Αν



ο P1 διαλέξει  $i=3$  , ο P2 επιλέγει  $j=2$ . Το αποτέλεσμα του παιχνιδιού και στις δύο περιπτώσεις είναι δύο (2).

Και στις δύο περιπτώσεις οι παίχτες κοιτώντας πίσω χρονικά τις επιλογές τους δεν έχουν λόγο να μετανιώσουν για τις επιλογές τους άρα έχουμε ισορροπία.

- **Ορισμός σημείου ισορροπίας (equilibrium point):** Δύο διαφορετικές στρατηγικές είναι σε ισορροπία, όταν με τη λήξη του παιχνιδιού και παρατηρώντας το αποτέλεσμα, δεν έχουν λόγο να μετανιώσουν για τις επιλογές τους. [ref 3]

Η διαφορά σε παιχνίδια δύο πινάκων έχει να κάνει με το γεγονός ότι ή απώλεια του ενός παίχτη **δεν είναι αυτόματα κέρδος του άλλου**.

Ένα bimatrix game αποτελείται από δύο ( $m \times n$ ) πίνακες ,  $A = (a_{ij}), B = (b_{ij})$  όπου κάθε ζεύγος τιμών  $(a_{ij}), (b_{ij})$  αντιπροσωπεύει την έξοδο του παιχνιδιού για κάθε παίχτη ξεχωριστά.

Μεταξύ τους δεν υπάρχει κανενός είδους συνεργασία και οι δύο παίχτες λειτουργούν αυτόνομα και ανεξάρτητα.

Σημείο ισορροπίας είναι το ζεύγος των αποφάσεων εκείνων μετά τις οποίες οι 2 παίχτες δεν έχουν κανένα κίνητρο για να αλλάξουν απόφαση.

Συγκεκριμένα ένα ζεύγος στρατηγικών (σειρά  $i^*$  , στήλη  $j^*$  ) αποτελεί σημείο Nash ισορροπίας μη συνεργαζόμενων παιχτών σε ένα bimatrix παιχνίδι  $A = (a_{ij}), B = (b_{ij})$  όταν για οποιοδήποτε συνδυασμό στρατηγικών ισχύει:

$$a_{i^*j^*} \leq a_{ij^*} \text{ και } b_{i^*j^*} \leq b_{i^*j}$$

όπου το ζεύγος  $(a_{i^*j^*}, b_{i^*j^*})$  αποτελεί την έξοδο της μη συνεργαζόμενης Nash ισορροπίας (**Nash equilibrium outcome**).

- *Παραδείγματα matrix game non zero sum*

Έστω το παιχνίδι δύο πινάκων (bimatrix game):

A=

	P2	
P1	1	0
	2	-1

B=

	P2	
P1	2	3
	1	0

Εδώ υπάρχουν δύο σημεία ισορροπίας Nash και συγκεκριμένα (γραμμή 1 , στήλη 1) και (γραμμή 2 , στήλη 2) όπου τα αντίστοιχα αποτελέσματα του παιχνιδιού είναι (1,2) και (-1,0).

## 1.4 Μικτές στρατηγικές (mixed strategies zero sum games)

Σε κάποια παιχνίδια δύο ή περισσότερων παικτών είναι πιθανό να μην υπάρχει σημείο ισορροπίας (equilibrium point). Σε ένα τέτοιο παιχνίδι όπου οι παίκτες οι οποίοι δραστηριοποιούνται ανεξάρτητα μεταξύ τους, προχωρούν σε επιλογή κινήσεων με **βάση στοχαστικά κριτήρια**. Αυτό το σύνολο των επιλογών ονομάζονται μικτές στρατηγικές (mixed strategies). [ref 2]

Σε συνέχεια του προηγούμενου matrix game ο P1 αποφασίζει να διαλέξει κάποια σειρά  $i$  ( $i=1..m$ ) με πιθανότητα επιλογής από πλευράς του της σειράς  $m$  με πιθανότητα  $y_m$ . Αναλόγως ο P2 θα διαλέξει μια στή  $n$  με πιθανότητα  $z_n$ .

Συγκεντρωτικά:

$$u = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ με πιθανότητα } y_1 \\ \dots \dots \\ \dots \dots \\ m \text{ με πιθανότητα } y_m \end{array} \right\}, \sum_{i=1}^m y_i = 1, y_i \geq 0 \quad (1.3)$$

$$v = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ με πιθανότητα } z_1 \\ \dots \dots \\ \dots \dots \\ n \text{ με πιθανότητα } z_n \end{array} \right\}, \sum_{i=1}^n z_i = 1, z_i \geq 0 \quad (1.4)$$

Η συνολική έξοδος του παιχνιδιού λαμβάνοντας υπόψη όπως αναλύθηκαν πιο πάνω τις δύο mixed strategies των παιχτών ( $u, v$ ) είναι:

$$J(y, z) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_i a_{ij} z_j = y'Az \quad (1.5)$$

με τον μεν P1 να επιδιώκει να ελαχιστοποιήσει το  $J$ , το δε P2 να το μεγιστοποιήσει.

- Θεωρώντας  $y^*$  την mixed security strategy του P1 και  $z^*$  του P2 έχουμε saddle point του matrix game  $A$  με μικτές στρατηγικές το  $(y^*, z^*)$  αν ισχύει η ανισότητα:

$$y^{*'}Az \leq y^{*'}Az^* \leq y'Az^* \quad (1.6)$$

ενώ η ποσότητα  $V_m(A) = y^{*'}Az^*$  είναι το **saddle point value** του παιχνιδιού με μικτές στρατηγικές.

## 1.5 Minimax Λύση

Στα bimatrix παιχνίδια υπάρχει επίσης η έννοια των στρατηγικών ασφαλείας (security strategies). Η στρατηγική ασφαλείας του P1 περιλαμβάνει γραμμές-επιλογές του πίνακα A ενώ η στρατηγική ασφαλείας του P2 περιλαμβάνει στήλες-επιλογές του πίνακα B.

Το πιο κλασικό παράδειγμα στη βιβλιογραφία εφαρμογής των παραπάνω είναι το γνωστό ως **δίλημμα του φυλακισμένου**.

Δύο φυλακισμένοι είναι ύποπτοι για κάποιο αδίκημα. Δεν υπάρχουν στοιχεία που να τους ενοχοποιούν.

- ❖ Αν και οι δύο ομολογήσουν θα φυλακιστούν για 10 χρόνια.
- ❖ Αν δεν ομολογήσει κανείς θα φυλακιστούν για 6 χρόνια.
- ❖ Αν μόνο ο ένας καταθέσει και κατηγορήσει τον συγκατηγορούμενο του τότε αυτός θα αφεθεί ελεύθερος και ο άλλος θα φυλακιστεί για 20 χρόνια.

Προφανώς το σημείο ισορροπίας Nash είναι να ομολογήσουν και οι δύο. Το βέλτιστο και για τους δύο βέβαια θα ήταν να μην ομολογήσει κανείς αλλά κάτι τέτοιο θα προϋπόθετα να υπάρξει συνεννόηση και συντονισμός μεταξύ τους αλλά και εμπιστοσύνη. Η τελευταία επιλογή είναι κ ασταθής καθώς υπάρχει το κίνητρο μονομερής άρνησης ομολογίας με μέγιστο όφελος μόνο για τον έναν.

Συμπερασματικά ένα ζεύγος στρατηγικών , σειρά  $i^{\wedge}$  και στήλη  $j^{\wedge}$  , αποτελούν ζευγάρι minimax στρατηγικών σε ένα bimatrix παιχνίδι (A,B) αν και μόνο αν η σειρά  $i^{\wedge}$  αποτελεί security strategy του P1 στο παιχνίδι A και η στήλη  $j^{\wedge}$  αποτελεί security strategy του P2 στο παιχνίδι B.

## 1.6 Saddle point σημείο ισορροπίας σε παιχνίδι μίας κίνησης (single-act game)

Έστω ένα zero-sum game και  $J(\gamma^1, \gamma^2)$  το αριθμητικό αποτέλεσμα του παιχνιδιού το οποίο δηλώνει την απώλεια του P1 και το κέρδος του P2 (zero sum) ενώ  $\gamma^1$  και  $\gamma^2$  είναι οι στρατηγικές του παίκτη 1 και παίκτη 2 αντίστοιχα.

Ένα ζεύγος στρατηγικών ( $\gamma^{1*} \in \Gamma^1, \gamma^{2*} \in \Gamma^2$ ) σε saddle point ισορροπία αν ικανοποιούνται οι κάτωθι ανισότητες για κάθε  $\gamma^1 \in \Gamma^1, \gamma^2 \in \Gamma^2$ :

$$J(\gamma^{1*}, \gamma^2) \leq J(\gamma^{1*}, \gamma^{2*}) \leq J(\gamma^1, \gamma^{2*}) \quad (1.7)$$

όπου  $J(\gamma^{1*}, \gamma^{2*})$  saddle point τιμή του zero sum παιχνιδιού. [ref 3]

## 1.7 Μικτές Στρατηγικές Bimatrix Παιχνιδιών

Ένας ζεύγος στρατηγικών ( $y^*, z^*$ ) αποτελεί ένα noncooperative Nash σημείο ισορροπίας ενός bimatrix παιχνιδιού (A,B) με μεικτές στρατηγικές (mixed strategies) αν ισχύουν τα εξής [ref 2]:

$$y^{*'} Az^* \leq y' Az^* \quad (1.8)$$

$$y^{*'} Bz^* \leq y^{*'} Bz \quad (1.9)$$

ενώ το ζεύγος ( $y^{*'} Az^*, y^{*'} Bz^*$ ) ονομάζεται noncooperative Nash equilibrium outcome του bimatrix παιχνιδιού με mixed strategies.

Κάθε bimatrix παιχνίδι έχει μια τουλάχιστον λύση Nash ισορροπίας σε mixed strategies

## 1.8 Σημείο ισορροπίας Stackelberg (Stackelberg Equilibrium Solution)

Σε αντίθεση με το σημείο ισορροπίας Nash υπάρχουν παιχνίδια όπου ο ένας παίχτης έχει ενισχυμένο ρόλο στο σύστημα λήψης αποφάσεων. Υπάρχει σε πολλές περιπτώσεις ιεραρχική δομή στο σύστημα αποφάσεων.

Σύμφωνα με το μοντέλο Stackelberg ο παίχτης με τον ενισχυμένο ρόλο ονομάζεται **Leader** ενώ οι υπόλοιποι παίχτες ή παίχτης που αντιδρούν στις αποφάσεις του Leader ονομάζονται **Follower(s)**.

Σε ένα παιχνίδι δύο παιχτών πεπερασμένων βημάτων θεωρώ τον P1 Leader και P2 τον Follower.

Μια στρατηγική  $\gamma^{1*} \in \Gamma^1$  του P1 ονομάζεται Stackelberg στρατηγική του Leader αν ισχύει [ref 2]:

$$\max_{\gamma^2 \in R^2(\gamma^{1*})} J^1(\gamma^{1*}, \gamma^2) = \min_{\gamma^1 \in \Gamma^1} \max_{\gamma^2 \in R^2(\gamma^1)} J^1(\gamma^1, \gamma^2) \triangleq J^{1*} \quad (1.10)$$

όπου  $J^{1*}$  είναι το κόστος Stackelberg του Leader.

Σε ένα παιχνίδι κατά Stackelberg το σημείο ισορροπίας μπορεί να μην είναι μοναδικό.

## 1.9 Δυναμικός Προγραμματισμός

Ο δυναμικός προγραμματισμός στηρίζεται στην αρχή της βελτιστοποίησης. Ανεξαρτήτως από τη χρονική στάθμη που θα ξεκινήσει η μελέτη ενός game, με εργαλεία όπως ο δυναμικός προγραμματισμός υπολογίζουμε τη βέλτιστη στρατηγική από εκείνο το σημείο μέχρι το τέλος.

Το σύστημα χαρακτηρίζεται από μια εξίσωση κατάστασης όπου η τωρινή κατάσταση επηρεάζεται από πληροφορίες και του προηγούμενου βήματος. Κάθε στάδιο έχει κάποιο κόστος υλοποίησης ενώ υπάρχει και κάποιο κόστος λήξης.

Στόχος είναι να προσδιοριστεί η στρατηγική ελέγχου που θα οδηγήσει στο ελάχιστο κόστος ανεξαρτήτως πότε θα θεωρήσουμε την χρονική εκκίνηση της στρατηγικής.

## 1.10 Γραμμική τετραγωνική λύση (Linear Quadratic Solution – Optimal Control Problem)

Η εξίσωση κατάστασης έχει τη μορφή:  $\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_k + \mathbf{c}_k$  (1.11)

Ενώ η συνάρτηση κόστους (cost functional) [ref 4]:

$$\mathbf{L}(\mathbf{u}) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K (\mathbf{x}'_{k+1} \mathbf{Q}_{k+1} \mathbf{x}_{k+1} + \mathbf{u}'_k \mathbf{R}_k \mathbf{u}_k) \quad (1.12)$$

Το πιο πάνω πρόβλημα βέλτιστου ελέγχου έχει την εξής μοναδική λύση [ref 1] :

$$\mathbf{u}_k^* = \gamma_k^*(\mathbf{x}_k) = -\mathbf{P}_k \mathbf{S}_{k+1} \mathbf{A}_k \mathbf{x}_k - \mathbf{P}_k (\mathbf{s}_{k+1} + \mathbf{S}_{k+1} \mathbf{c}_k) \quad (1.13)$$

για κάθε  $k \in K$  όπου:

$$\mathbf{P}_k = [\mathbf{R}_k + \mathbf{B}'_k \mathbf{S}_{k+1} \mathbf{B}_k]^{-1} \mathbf{B}'_k \quad (1.14)$$

$$\mathbf{S}_k = \mathbf{Q}_k + \mathbf{A}'_k \mathbf{S}_{k+1} [\mathbf{I} - \mathbf{B}_k \mathbf{P}_k \mathbf{S}_{k+1}] \mathbf{A}_k, \quad \mathbf{S}_{K+1} = \mathbf{Q}_{K+1} \quad (1.15)$$

$$\mathbf{s}_k = \mathbf{A}'_k [\mathbf{I} - \mathbf{B}_k \mathbf{P}_k \mathbf{S}_{k+1}]' [\mathbf{s}_{k+1} + \mathbf{S}_{k+1} \mathbf{c}_k], \quad \mathbf{s}_{K+1} = \mathbf{0} \quad (1.16)$$

Η ελάχιστη τιμή της συνάρτησης κόστους [ref 1]:  $L(\mathbf{u}^*) = \frac{1}{2} \mathbf{x}'_1 \mathbf{S}_1 \mathbf{x}_1 + \mathbf{x}'_1 \mathbf{s}_1 + q_1$  (1.17)

Όπου  $q_1 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K (\mathbf{c}'_k \mathbf{S}_{k+1} \mathbf{c}_k - (\mathbf{s}_{k+1} + \mathbf{S}_{k+1} \mathbf{c}_k)' \mathbf{P}'_k \mathbf{B}'_k (\mathbf{s}_{k+1} + \mathbf{S}_{k+1} \mathbf{c}_k) + 2 \mathbf{c}'_k \mathbf{S}_{k+1})$  (1.18)

Σε περίπτωση που αναλύσουμε πρόβλημα γραμμικού τετραγωνικού δυναμικού βέλτιστου προγραμματισμού με απεριόριστο χρονικό ορίζοντα ( $K \rightarrow \infty$ ) θεωρούμε  $\mathbf{c}_k = \mathbf{0}$  ενώ οι πίνακες

$\mathbf{A}_k, \mathbf{B}_k, \mathbf{Q}_k, \mathbf{R}_k$  είναι ανεξάρτητοι του  $k$ .

Σε αυτή την περίπτωση το πρόβλημα βελτιστοποίησης έχει ως εξής:

$$\min_{\mathbf{u}} \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} (\mathbf{x}'_{k+1} \mathbf{Q} \mathbf{x}_{k+1} + \mathbf{u}'_k \mathbf{R} \mathbf{u}_k), \quad \mathbf{Q} \geq 0, \mathbf{R} > 0 \quad (1.19)$$

με τον περιορισμό:  $\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A} \mathbf{x}_k + \mathbf{B} \mathbf{u}_k$  (1.20)

## Κεφάλαιο 2

### Τρόπος λειτουργίας εθνικού δικτύου ηλεκτρισμού. Παραδείγματα από τον Ευρωπαϊκό χώρο.

#### 2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας της Ελληνικής Αγοράς Ενέργειας. Θα αναλυθούν ο ρόλος και οι πρακτικές των βασικών πυλώνων του συστήματος (ΛΑΓΗΕ, ΡΑΕ, ΑΔΜΗΕ) ενώ θα παρουσιαστούν αντίστοιχα μοντέλα σε αυτόνομα συστήματα στην Ευρώπη.

Στην Ελλάδα το όλο σύστημα διαχείρισης της αγοράς είναι σε μια μεταβατική κατάσταση με στόχο την περαιτέρω απελευθέρωση της αγοράς του αλλά και την ιδιωτικοποίηση φορέων όπως ο ΑΔΜΗΕ. Η μελέτη πάνω στη λειτουργία του συστήματος και η εξοικείωση με τη λειτουργία της αγοράς με οδήγησε στη μαθηματική μοντελοποίηση σειράς προβλημάτων και καταστάσεων όπως αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια και μια αναλυτικότερη αναφορά γίνεται στο τέλος αυτού του κεφαλαίου. Ειδικότερα με οδήγησε στη διατύπωση ειδικής μορφής δυναμικών παιγνίων τα οποία περιγράφουν ορισμένα από τα στοιχεία της αγοράς.

Συγκεκριμένα έγινε προσπάθεια ποιοτικής κατηγοριοποίησης των παιχτών του συστήματος σε παραγωγούς – καταναλωτές αλλά και περαιτέρω διαχωρισμό σε μεγάλους παίχτες όπως η ΔΕΗ και ο ΑΔΜΗΕ και σε μικρούς όπως μικροπαραγωγοί και μικροκαταναλωτές. Επίσης είναι διαφορετικός ο βαθμός επιρροής του καθενός στο σύστημα ενώ έχουν και διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες παραμονής στο σύστημα. Τα διαστήματα αυτά ποικίλουν ανάλογα το παίχτη και είναι συνήθως μικρότερα για τους μικρούς παίχτες σε σύγκριση με τους μεγάλους.

Παίχτες της ίδιας κατηγορίας «παίζουν» **Nash** μεταξύ τους ( ανταγωνιστικά) ενώ οι μεγάλοι παίχτες έχουν ηγεμονικό ρόλο στο σύστημα και εκεί εφαρμόζεται η έννοια **Stackelberg**.

Επιδιώκουμε λύσεις που να προσαρμόζονται στο χρόνο και να διαφοροποιούνται βάσει μελλοντικών προβλέψεων και να μην είναι «δέσμιες» καταστάσεων του παρελθόντος. Οι αποφάσεις προσαρμόζονται με βάση την παρούσα κατάσταση αλλά και των μελλοντικών κερδών άρα θα εφαρμοστούν feedback strategies και όχι open loop ενώ η επίλυση τους γίνεται μέσω dynaming programming.

Η μελέτη μας σχετικά με τη λήψη των αποφάσεων γίνεται σε διακριτούς χρόνους (που ποικίλουν) και όχι σε συνεχή χρόνο.

#### 2.2 Αγοράς Ενέργειας – Εφαρμογή της θεωρίας Παιγνίων

Η αγορά ενέργειας τόσο σε εθνικό όσο σε διεθνές επίπεδο διανύει μια μεταβατική κρίσιμη περίοδο. Παράγοντες όπως:

- ✓ Αύξηση της ζήτησης για ενέργεια
- ✓ Αναδυόμενες οικονομίες και ριζική μετατόπιση του peak της ζήτησης ισχύος σε διαφορετικά κράτη π.χ. Κίνα, Ινδία
- ✓ Περιβαλλοντική επιβάρυνση και διεθνείς συμφωνίες για δεσμευτικούς στόχους εισαγωγής ΑΠΕ στα δίκτυα.
- ✓ Γεωπολιτικά παιχνίδια ισχύος και νέα κοιτάσματα αερίου και πετρελαίου
- ✓ Ενοποίηση αγορών όπως η Ευρωπαϊκή
- ✓ Εθνικά Ζητήματα κυριαρχίας

Κάνουν όλο και πιο σύνθετη την ενεργειακή πολιτική. Κάθε φορέας λήψης αποφάσεων πρέπει να λάβει υπόψη όλα τα παραπάνω. Η ενεργειακή πολιτική τόσο σε εθνικό όσο και ευρωπαϊκό επίπεδο αποτελείται από ένα πολυεπίπεδο πλέγμα αποφάσεων για ζητήματα όπως:

- Ανάπτυξη και αναβάθμιση συστημάτων
- Λειτουργία της αγοράς, ρύθμιση και τιμολόγηση ενέργειας τόσο στην πώληση (βιομηχανικοί, εταιρικοί και οικιακοί καταναλωτές) όσο και στην αγορά από μεγάλους παραγωγούς (ΔΕΗ) έως και τον πιο μικρό παραγωγό (οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα).
- Ρύθμιση κοινωνικών ζητημάτων όπως περιβαλλοντική πολιτική και ζητήματα απασχόλησης
- Ζητήματα ευστάθειας και επάρκειας ισχύος σε απομονωμένα συστήματα (μη διασυνδεδεμένα) όπως τα νησιά

Τις τελευταίες δεκαετίες η ενεργειακή πολιτική, ιδιαίτερα στην Ελλάδα, δεν είχε συγκεκριμένη κατεύθυνση και μακροχρόνια στοχευση. Παρά την ύπαρξη και σχεδιασμό προγραμμάτων ανάπτυξης συστήματος (π.χ. 10ετή ΜΑΣΜ) και την ανάληψη δεσμευτικών στόχων από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για τη διείσδυση συγκεκριμένων τεχνολογιών (π.χ. ΑΠΕ), οι πολιτικές που εφαρμόστηκαν χαρακτηρίζοντας από ευκαιριακές και συγκυριακές αποφάσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η άκριτη χρήση λιγνίτη με σαφή αποτελέσματα στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και μόλυνση συγκεκριμένων περιοχών, υπέρμετρα κίνητρα σε ΑΠΕ όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα με αποτέλεσμα τη δημιουργία υπεραποδόσεων εις βάρος του ισοζυγίου πληρωμών του ΛΑΓΗΕ. Νησιά με υψηλό τουριστικό φόρτο και δεκαπλασιασμό των αναγκών τους από χειμώνα σε καλοκαίρι, παρουσιάζουν σημάδια ενεργειακής έλλειψης στο peak της ζήτησης τους με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα το black out της Σαντορίνης το καλοκαίρι του 2013, του δημοφιλέστερου ελληνικού προορισμού σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η ιδιαίτερη μορφή της Ελληνικής αγοράς και κοινωνίας, ο ιδιαίτερος γεωπολιτικός της ρόλος αλλά και ο πλούτος των φυσικών ενεργειακών πόρων καθιστούν την λήψη ενεργειακών αποφάσεων και πολιτικών δύσκολη και πολυεπίπεδη.

Η εισαγωγή μη αντικειμενικών και άμεσα μετρήσιμων δεικτών αποτελεί αναγκαιότητα. Η ικανότητα της θεωρίας παιγνίων να εκφράσει συσχετισμούς και στρατηγικές αποτελέσει το κυριότερο εργαλείο στην έρευνα μου. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός θεωρητικού μοντέλου λήψης αποφάσεων που η καινοτομία του είναι η δυνατότητα συνδυασμού απόλυτων και αντικειμενικών δεικτών όπως το κόστος (παραγωγής και διάθεσης ισχύος) και η διασφάλιση επιπέδων αναγκάιας ισχύος αλλά και εισαγωγής υποκειμενικών δεικτών και όχι άμεσα μετρήσιμων όπως η περιβαλλοντική η κοινωνική πολιτική.

### 2.3 Δομή της Ελληνικής Αγοράς Ηλεκτρισμού

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της ασφάλειας εφοδιασμού και της οικονομικής βελτιστοποίησης της αγοράς ηλεκτρισμού στην Ελληνική Επικράτεια, απαιτείται ο αποτελεσματικός συνδυασμός μακροχρονίων αποφάσεων για την εγκατάσταση και τη διαθεσιμότητα ισχύος αλλά και βραχυχρονίων αποφάσεων για την ορθή κατανομή των πόρων στον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό (ΗΕΠ).

Στο πλαίσιο αυτό, η Ελληνική Αγορά Ηλεκτρισμού δομείται από τρεις επιμέρους αγορές που είναι διακριτές όσον αφορά τα χρονικά τους πλαίσια αναφοράς:

α. τη **Μακροχρόνια Αγορά** που περιλαμβάνει τις επιμέρους αγορές διαθεσιμότητας ισχύος (Capacity Market), και εκχώρησης μέσω δημοπρασιών, των Μακροχρονίων Φυσικών Δικαιωμάτων Μεταφοράς (ΦΔΜ) στις Διασυνδέσεις με τις όμορες χώρες.

β. τη **Βραχυχρόνια (Χονδρεμπορική) Αγορά** ενέργειας και επικουρικών υπηρεσιών, που προγραμματίζεται βάσει του Ημερησίου Ενεργειακού Προγραμματισμού (HEΠ) (Energy and Ancillary Services Market).

γ. την **“εκ-των-υστέρων” (Ex-Post) Αγορά Εξισορρόπησης ενέργειας** (‘Balancing Market’), η οποία προς το παρόν περιορίζεται στον σε μεταγενέστερο χρόνο υπολογισμό της Οριακής Τιμής αποκλίσεων (ΟΤΑ), με βάση πραγματικά δεδομένα για τις εγχύσεις και τις απομαστεύσεις που έλαβαν χώρα για κάθε παρελθούσα Ημέρα Κατανομής, και στην Εκκαθάριση των Αποκλίσεων των μετρηθέντων (πραγματικών) ποσοτήτων από τις αρχικά προγραμματισθείσες στον HEΠ, με την ΟΤΑ αυτή.

## **2.4 Αγορά Μακροχρόνιας Διαθεσιμότητας Ισχύος**

Ο μηχανισμός της Αγοράς Μακροχρόνιας Διαθεσιμότητας Ισχύος έχει ως στόχο τη μείωση του επιχειρηματικού κινδύνου του Παραγωγού, ο οποίος λαμβάνει αμοιβή έναντι μέρους του κόστους κεφαλαίου επένδυσης, αλλά και του Προμηθευτή ο οποίος εξασφαλίζει την αποφυγή υπερβολικά υψηλών τιμών στην ημερήσια Αγορά Ενέργειας και Επικουρικών Υπηρεσιών (Χονδρεμπορική Αγορά), καθώς μειώνεται ο βραχυχρόνιος κίνδυνος του Παραγωγού.

Η Αγορά Μακροχρόνιας Διαθεσιμότητας Ισχύος δημιουργήθηκε για να εξασφαλίζει την επάρκεια και την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας σε μακροχρόνια βάση αμείβοντας την αξιοπιστία κάθε Μονάδας και υλοποιείται με την έκδοση από κάθε Παραγωγό Αποδεικτικών Διαθεσιμότητας Ισχύος (ΑΔΙ) που αντιστοιχούν στην πραγματική διαθεσιμότητα κάθε Μονάδας του, όπως αυτή προσδιορίζεται από το Διαχειριστή του Συστήματος. Για παράδειγμα, μία Μονάδα με εγκατεστημένη ισχύ 300 MW θα μπορούσε, μετά τον προσδιορισμό της διαθέσιμότητάς της από τον Διαχειριστή του Συστήματος, να εκδώσει ΑΔΙ για 250 MW.

Κάθε Προμηθευτής συνάπτει με τους Παραγωγούς Συμβάσεις Διαθεσιμότητας Ισχύος (ΣΔΙ), με οικονομικούς όρους που συμφωνούνται μεταξύ τους, προκειμένου να καλύψει την Υποχρέωση Επάρκειας Ισχύος που του αναλογεί. Ως σήμερα, και για τη διευκόλυνση των συμμετεχόντων στην αγορά, λειτουργεί παράλληλα και ένας εναλλακτικός μηχανισμός, ο Μεταβατικός Μηχανισμός Διασφάλισης Επαρκούς Ισχύος.

Σύμφωνα με αυτόν, οι κάτοχοι Άδειας Παραγωγής και οι Εκπρόσωποι Φορτίου μπορούν να επιλέξουν να μην συνάψουν απευθείας μεταξύ τους ΣΔΙ, αλλά να απευθυνθούν στον Διαχειριστή του Συστήματος, οπότε οι μεν Εκπρόσωποι Φορτίου υποχρεούνται στην καταβολή ενός τιμήματος ανάλογου της Υποχρέωσης Επάρκειας Ισχύος τους, οι δε Παραγωγοί εισπράτουν χρηματικά ποσά ανάλογα με τη διαθέσιμη ισχύ των ΑΔΙ που έχουν καταθέσει στο σχετικό Μητρώο ΑΔΙ του Διαχειριστή.

## **2.5 Αγορά Μακροχρόνιων ΦΔΜ στις Διασυνδέσεις**

Η αγορά αυτή υλοποιείται μέσω δημοπρασιών για την εκχώρηση ετήσιων και μηνιαίων δικαιωμάτων που οργανώνονται και διεξάγονται σε τακτά διαστήματα από τους Διαχειριστές των Συστημάτων της Ελλάδας και των όμορων χωρών. Οι εγγεγραμμένοι Συμμετέχοντες υποβάλλουν κλειστές, ηλεκτρονικές προσφορές μέσω ειδικής διαδικτυακής εφαρμογής, με κανόνες δημοπράτησης που συμφωνούνται/επικαιροποιούνται κάθε χρόνο από τους εμπλεκόμενους Διαχειριστές των δύο πλευρών κάθε Διασύνδεσης (ή ακόμη και από περισσότερους Διαχειριστές Συστημάτων), και δημοσιεύονται εκ των προτέρων στις ιστοσελίδες τους.





Σχήμα 2.1: Ελληνικό Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ισχύος

## 2.6 Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (Χονδρεμπορική Αγορά)

Ο Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (ΗΕΠ) συνιστά την Προ-Ημερήσια (Day-Ahead) Χονδρεμπορική Αγορά και έχει ως στόχο το βέλτιστο προγραμματισμό της λειτουργίας των θερμικών και υδροηλεκτρικών Μονάδων παραγωγής του Συστήματος, των Μονάδων ΑΠΕ και της διαθέσιμης ενέργειας από εισαγωγές, προκειμένου να καλύπτεται, σε ημερήσια βάση, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από καταναλωτές, η ζήτηση για εξαγωγές ενέργειας από τη χώρα και οι απαραίτητες Επικουρικές Υπηρεσίες. Κάθε Μονάδα παραγωγής υποχρεούται να προσφέρει το σύνολο της διαθεσιμότητάς της, τόσο σε ενέργεια όσο και σε επικουρικές υπηρεσίες στην Χονδρεμπορική Αγορά (ΗΕΠ). Πρόκειται συνεπώς για ένα μοντέλο αγοράς «Υποχρεωτικής Κοινοπραξίας» (Mandatory Pool).

*Υποχρεωτική Κοινοπραξία:* Το μοντέλο της Ελληνικής Αγοράς ΗΕ στο οποίο συναλλάσσεται το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας και των συμπληρωματικών προϊόντων αυτής που θα παραχθούν, θα καταναλωθούν και θα διακινηθούν την επόμενη ημέρα στην αγορά. Όλοι οι συμμετέχοντες στην Ελληνική Αγορά υποχρεούνται να συμμετέχουν στην Υποχρεωτική Κοινοπραξία. Δεν επιτρέπονται φυσικές διμερείς συναλλαγές (physical bilateral transactions) μεταξύ των Συμμετεχόντων της Αγοράς.

Στα πλαίσια του μοντέλου Υποχρεωτικής Κοινοπραξίας, η διαμετακόμιση (transit) ηλεκτρικής ενέργειας από μία περιοχή εκτός Ελλάδος σε μία άλλη, μέσω της Ελληνικής επικράτειας, μπορεί να υλοποιηθεί μόνο μέσω Εισαγωγής (πώλησης) της εν λόγω ενέργειας στην Υποχρεωτική Κοινοπραξία και εξαγωγής (αγοράς) της από αυτή.

Στον ΗΕΠ ενσωματώνονται οι εξής επιμέρους αγορές-μηχανισμοί, οι οποίες βελτιστοποιούνται ταυτόχρονα ώστε να μεγιστοποιείται το κοινωνικό όφελος:

Α) Αγορά Ενέργειας: Καλύπτονται οι ποσοτικές ανάγκες των καταναλωτών σε ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες που αυτή είναι απαραίτητη. Προσφέρουν και αμείβονται οι εγχώριοι Παραγωγοί (θερμικών σταθμών, υδροηλεκτρικών και ΑΠΕ) και οι εισαγωγείς (Εμποροι ή Προμηθευτές). Αγοράζουν οι εκπρόσωποι του εγχώριου φορτίου (Προμηθευτές και Επιλέγοντες Πελάτες) και οι Εξαγωγείς (Προμηθευτές και Παραγωγοί).

Β) Αγορά Επικουρικών Υπηρεσιών: Καλύπτει τις ανάγκες των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας για διασφάλιση της ποιότητας και αξιοπιστίας της τροφοδότησής τους. Προσφέρουν και αμείβονται οι εγχώριοι Παραγωγοί (θερμικών και υδροηλεκτρικών σταθμών).

Αγοράζουν οι εκπρόσωποι του εγχώριου φορτίου (Προμηθευτές και Επιλέγοντες Πελάτες), και οι Εξαγωγείς (Εμποροι, Προμηθευτές και Παραγωγοί).

Γ) Μηχανισμός Αγοράς για την χωροθέτηση της παραγωγής κοντά στα κέντρα κατανάλωσης: Παρέχει κίνητρα χωροθέτησης των νέων Μονάδων κατά το δυνατόν εγγύτερα στην κατανάλωση, στο βαθμό που αυτά είναι πραγματικά αναγκαία. Δεδομένης της υφιστάμενης συγκέντρωσης της παραγωγής στο βορρά, προβλέπεται διαφοροποιημένη αμοιβή για τους Παραγωγούς στο νότο σε περιπτώσεις που παρουσιάζεται συνωστισμός στη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από το βορρά στο νότο κατά τη διάρκεια του ημερήσιου προγραμματισμού. Σημειώνεται ότι οι Διαζωνικοί Περιορισμοί Μεταφοράς δεν ενεργοποιήθηκαν με την έλευση της 5ης Ημέρας Αναφοράς αλλά ενδέχεται να ενεργοποιηθούν κατόπιν νέας σχετικής μελέτης από το Διαχειριστή του Συστήματος και ακόλουθης έγκρισης από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας.

Με την ενσωμάτωση στον ΗΕΠ των απαραίτητων Επικουρικών Υπηρεσιών, των τεχνικών περιορισμών λειτουργίας των Μονάδων παραγωγής και των τεχνικών περιορισμών μεταφοράς του Συστήματος, οι οποίοι ενδεχομένως περιορίζουν την ποσότητα ενέργειας που δύναται να διακινείται από το Βορρά προς το Νότο, αποκαλύπτεται η πραγματική συνολική αξία της

καταναλισκόμενη ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελληνική Επικράτεια, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα ποσοτικά (όγκος και χρόνος κατανάλωσης) όσο και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της (συχνότητα, τάση και απαιτούμενη αξιοπιστία παροχής σε κάθε καταναλωτή).

**Η τιμή στην οποία εκκαθαρίζεται η αγορά ενέργειας του ΗΕΠ (Οριακή Τιμή Συστήματος ή ΟΤΣ), αποτελεί την ενιαία τιμή στην οποία οι Προμηθευτές και οι Έμποροι αγοράζουν την ενέργεια που αναμένουν ότι θα απορροφήσουν από το Σύστημα οι Πελάτες τους και αμείβονται αντίστοιχα οι Παραγωγοί και οι Εισαγωγείς.**

Η διασφάλιση, της αξιοπιστίας και της διαφάνειας υπολογισμού της τιμής αυτής, είναι απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη, σε επόμενη φάση, δευτερογενούς αγοράς πλήθους άλλων συμπληρωματικών προϊόντων (π.χ. παράγωγα, προθεσμιακές συμβάσεις αγοράς και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας).

Η Οριακή Τιμή του Συστήματος, αφενός μεν συνιστά την τιμή Εκκαθάρισης των συναλλαγών σε ημερήσια βάση, αφετέρου δε επιτρέπει την ανάπτυξη καμπυλών αναφοράς. Αυτές αποτελούν σημείο αναφοράς ως προς την χρηματοοικονομική διαχείριση της Αγοράς ΗΕ και την υποκείμενη αξία για επιπλέον συμπληρωματικά προϊόντα όπως, για παράδειγμα, προϊόντα αντιστάθμισης, προθεσμιακά προϊόντα, παράγωγα και άλλα σύνθετα προϊόντα τα οποία θα εξυπηρετούν ειδικές ανάγκες των Συμμετεχόντων.

## **2.7 Αγορά Εξισορρόπησης Ενέργειας**

Στο σημερινό μοντέλο λειτουργίας της Ελληνικής Αγοράς ΗΕ, η Αγορά Εξισορρόπησης Ενέργειας περιορίζεται στην Εκκαθάριση Αποκλίσεων που διενεργείται από τον Διαχειριστή του Συστήματος (ΑΔΜΗΕ), όπου ως Απόκλιση γενικά θεωρείται οποιαδήποτε διαφορά των προγραμματισθέντων στον ΗΕΠ πόσοτήτων από τα “εκ των υστέρων” μετρηθέντα. Δεν περιλαμβάνει καινούργιες Προσφορές ή με άλλο τρόπο συμμετοχή “παικτών”, παρά μόνο χρεοπιστώσεις που γίνονται από τον Διαχειριστή του Συστήματος, γι’ αυτό και δεν αποτελεί σήμερα Αγορά με την στενή έννοια του όρου. Αναμένεται όμως να αποκτήσει μεγαλύτερη σημασία στο μέλλον με την προσαρμογή του τωρινού μοντέλου λειτουργίας της Αγοράς στο Ευρωπαϊκό “Target Model”. Κατά τη διαδικασία Εκκαθάρισης Αποκλίσεων υπολογίζονται:

α. Η ποσότητα ενέργειας των Αποκλίσεων Παραγωγής-Ζήτησης και των Επιβεβλημένων καθώς και των Μη Επιβεβλημένων Μεταβολών Παραγωγής, ανά Συμμετέχοντα και Περίοδο Κατανομής.

β. Το χρηματικό ποσό χρέωσης ή πίστωσης που αντιστοιχεί σε κάθε Συμμετέχοντα λόγω των παραπάνω Αποκλίσεων.

γ. Το χρηματικό ποσό πίστωσης κάθε Συμμετέχοντα για την παροχή των Επικουρικών Υπηρεσιών, τη Διαθεσιμότητα Παροχής Συμπληρωματικής Ενέργειας και στο πλαίσιο των Συμβάσεων Εφεδρείας Εκτάκτων Αναγκών.

δ. Οι χρεοπιστώσεις για το Λογαριασμό Προσανζήσεων, το Ειδικό Τέλος για τη Μείωση Εκπομπών Αερίων Ρύπων (ΕΤΜΕΑΡ), τις Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας και τη Χρέωση Χρήσης Συστήματος.

Τα παραπάνω χρηματικά ποσά που αφορούν τις Αποκλίσεις τιμολογούνται με βάση την ex-post υπολογιζόμενη Οριακή Τιμή Αποκλίσεων.

## 2.8 Βασικοί Συμμετέχοντες στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι κύριοι Συμμετέχοντες και τα βασικά καθήκοντα τους στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα.

- Παραγωγοί, Αυτοπαραγωγοί

Οι Παραγωγοί είναι κάτοχοι άδειας παραγωγής για Μονάδες Παραγωγής εγγεγραμμένες στο Μητρώο Μονάδων. Οι Αυτοπαραγωγοί είναι κάτοχοι Άδειας Παραγωγής οι οποίοι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για δική τους χρήση και εγγέουν την περίσσεια της ενέργειας στο Σύστημα ή στο Δίκτυο

- Προμηθευτές

Οι Προμηθευτές είναι κάτοχοι Άδειας Προμήθειας που αγοράζουν ενέργεια απευθείας μέσω του ΗΕΠ ώστε να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των πελατών τους.

- Εισαγωγείς

Οι Εισαγωγείς είναι κάτοχοι Άδειας Προμήθειας ή Άδειας Εμπορίας, που προμηθεύονται ποσότητες ενέργειας από εξωτερικούς Παραγωγούς ή Προμηθευτές και εγγέουν τις ποσότητες αυτές στον ΗΕΠ μέσω των Διασυνδέσεων. Εισαγωγές μέσω των Διασυνδέσεων μπορούν να προγραμματίζονται και οι Αυτοπρομηθευόμενοι Πελάτες για δική τους χρήση.

- Εξαγωγείς

Οι Εξαγωγείς είναι κάτοχοι Άδειας Προμήθειας ή Άδειας Παραγωγής ή Άδειας Εμπορίας, που προμηθεύονται ποσότητες ενέργειας από τον ΗΕΠ ώστε να τις εξάγουν σε άλλες χώρες μέσω των διασυνδέσεων.

- Πελάτες (Επιλέγοντες – Αυτοπρομηθευόμενοι)

Οι Επιλέγοντες Πελάτες είναι οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίοι έχουν το δικαίωμα να επιλέγουν τον Προμηθευτή τους. Επίσης, έχουν το δικαίωμα να προμηθεύονται ενέργεια μέσω του ΗΕΠ για δική τους αποκλειστική χρήση

- Ο Κύριος και Διαχειριστής του Συστήματος (ΑΔΜΗΕ Α.Ε.)

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις Μονάδες παραγωγής και, στην περίπτωση των Εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας, εγγέεται στα σημεία των Διασυνδέσεων με τα γειτονικά ηλεκτρικά συστήματα – μεταφέρεται στους μεγάλους βιομηχανικούς καταναλωτές της Υψηλής Τάσης (καταναλώσεις Συστήματος) και στο Δίκτυο Διανομής, μέσω του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς.

Κατ' εφαρμογή του Ν.4001/2011 (άρθ.97, §§2-3) [10], η κυριότητα του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (υψηλής και υπερυψηλής τάσης) μεταβιβάστηκε μεταβιβάζεται από τη ΔΕΗ ΑΕ στην ΑΔΜΗΕ ΑΕ, με τη διαδικασία της απόσχισης και εισφοράς κλάδου. Η ΑΔΜΗΕ ΑΕ υποχρεούται να ασκεί τις αρμοδιότητες και να εκτελεί τα καθήκοντα του Κυρίου και Διαχειριστή του Συστήματος και επομένως είναι σήμερα επιφορτισμένη με την καθημερινή φυσική λειτουργία, συντήρηση και ανάπτυξη του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς, κατασκευάζοντας πρόσθετες γραμμές και υποσταθμούς, και επενδύοντας σε έργα που βελτιώνουν και ενισχύουν το υπάρχον Σύστημα Μεταφοράς

## 2.9 Κατανομή Πραγματικού Χρόνου

Ο Διαχειριστής του Συστήματος προγραμματίζει την λειτουργία των Κατανεμόμενων Μονάδων, των Συμβεβλημένων Μονάδων σύμφωνα και με τους όρους των σχετικών Συμβάσεων, των Εκτάκτων Εισαγωγών και των Μονάδων Εφεδρείας Εκτάκτων Αναγκών, και εκδίδει Εντολές Κατανομής σε πραγματικό χρόνο για την έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας στο Σύστημα και για την παροχή Επικουρικών Υπηρεσιών, ώστε η συνολική απορρόφηση ηλεκτρικής ενέργειας να διενεργείται υπό όρους καλής και αξιόπιστης λειτουργίας του Συστήματος, ευχέρειας αντιμετώπισης απρόβλεπτων συμβάντων, ποιότητας τροφοδότησης του Φορτίου, και ελαχιστοποίησης της συνολικής δαπάνης.

## *Εκκαθάριση Αποκλίσεων*

Ο Διαχειριστής του Συστήματος επιβεβαιώνει και οριστικοποιεί τα μετρούμενα μεγέθη. Η εκ των υστέρων υπολογιζόμενη Οριακή Τιμή Αποκλίσεων (στο εξής ΟΤΑ), σύμφωνα με την οποία διευθετούνται οι Αποκλίσεις ποσότητας ενέργειας για κάθε Περίοδο Κατανομής, υπολογίζεται από το Ex-Post Imbalance Pricing ('ExPIP') πρόγραμμα, που χρησιμοποιεί πραγματικά στοιχεία περιλαμβανομένων της διαθεσιμότητας των μονάδων και του φορτίου του Συστήματος. Η με αυτόν τον τρόπο υπολογιζόμενη εκ των υστέρων ΟΤΑ χρησιμοποιείται στην Εκκαθάριση των Αποκλίσεων των Συμμετεχόντων στην Αγορά. Ο Διαχειριστής του Συστήματος επιβεβαιώνει και οριστικοποιεί τα ποσά της Εκκαθάρισης Αποκλίσεων, προσδιορίζει τυχόν ποινές και άλλες χρεώσεις που προβλέπονται από τον ΚΔΣ, και πραγματοποιεί τις διευθετήσεις των λογαριασμών.

## **2.10 Ανάπτυξη και Συντήρηση του Συστήματος Μεταφοράς**

Ο Διαχειριστής του Συστήματος λειτουργεί το Σύστημα Μεταφοράς ώστε να διατηρείται η αξιοπιστία του Συστήματος. Επιπλέον, ο Διαχειριστής του Συστήματος είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξη του Συστήματος Μεταφοράς και τη σύνδεση νησιών με το Σύστημα της ηπειρωτικής χώρας. Σε αυτό το πλαίσιο επεξεργάζεται και δημοσιοποιεί ετησίως 10ετές σχέδιο για την ανάπτυξη του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς το οποίο εγκρίνεται από τον Υπουργό ΠΕΚΑ μετά από γνώμη της ΡΑΕ.

## *Σύναψη Συμβάσεων*

Ο Διαχειριστής του Συστήματος επιτρέπεται να συνάπτει, κατόπιν διαγωνισμού, Συμβάσεις Επικουρικών Υπηρεσιών και συμβάσεις Συμπληρωματικής Ενέργειας Συστήματος με κατόχους Άδειας Παραγωγής. Με τη Σύμβαση Επικουρικών Υπηρεσιών ο κάτοχος Άδειας Παραγωγής δεσμεύει μέρος ή το σύνολο της ικανότητας παραγωγής της Μονάδας για την παροχή Επικουρικών Υπηρεσιών.

## **2.11 Ο Λειτουργός της Αγοράς (ΛΑΓΗΕ Α.Ε.)**

Σύμφωνα με το Ελληνικό Νομοθετικό και Κανονιστικό πλαίσιο, οι κυριότεροι ρόλοι, αρμοδιότητες και καθήκοντα του ΛΑΓΗΕ είναι:

- Επίλυση και Εκκαθάριση Η.Ε.Π.  
Ο Λειτουργός της Αγοράς επιλύει καθημερινά το πρόβλημα βελτιστοποίησης του ΗΕΠ με βάση τις ωριαίες οικονομικές προσφορές των Συμμετεχόντων και άλλα τεχνοοικονομικά δεδομένα εισόδου, υπολογίζει την Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ), και εκκαθαρίζει την ημερήσια αυτή Αγορά, δηλαδή υπολογίζει, επιβεβαιώνει και οριστικοποιεί τις χρεοπιστώσεις των Συμμετεχόντων.
- Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ  
Ο Λειτουργός της Αγοράς αγοράζει την ενέργεια που παράγεται από Μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), Μονάδες Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού-Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης έως 35 MWe, καθώς και το μέρος της εγγεόμενης στο Σύστημα ενέργειας από Κατανεμόμενες Μονάδες που χαρακτηρίζεται ηλεκτρική ενέργεια από ΣΗΘΥΑ [14]. Ο Λειτουργός αποζημιώνει τους Παραγωγούς αυτούς με εγγυημένες τιμές (feed-in-tariffs) που καθορίζονται από τη Νομοθεσία, και επιπλέον εκδίδει τις σχετικές Εγγυήσεις Προέλευσης.

## **2.12 Ο Διαχειριστής του Δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.)**

Ο ΔΕΔΔΗΕ είναι ο διαχειριστής του δικτύου διανομής μέσης και χαμηλής τάσης ολόκληρης της επικράτειας που συστάθηκε με την απόσχιση του κλάδου Διανομής της ΔΕΗ σύμφωνα με το Ν. 4001/2011 και σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Έργο της εταιρείας είναι η ανάπτυξη, η λειτουργία και η συντήρηση, υπό οικονομικούς όρους του Εθνικού Δικτύου Διανομής (ΕΔΔΗΕ), ώστε να διασφαλίζεται η αξιόπιστη, αποδοτική και ασφαλής λειτουργία του, καθώς και η μακροπρόθεσμη ικανότητά του να ανταποκρίνεται σε εύλογες ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας τη δέουσα μέριμνα για το περιβάλλον και την ενεργειακή αποδοτικότητα, καθώς και για τη διασφάλιση, κατά τον πλέον οικονομικό, διαφανή, άμεσο και αμερόληπτο τρόπο, της πρόσβασης των χρηστών (δηλαδή των Παραγωγών, των Προμηθευτών και των Πελατών) στο ΕΔΔΗΕ, προκειμένου να ασκούν τις δραστηριότητές τους

## **2.13 Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)**

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) είναι μία ανεξάρτητη διοικητική αρχή για την εποπτεία και την παρακολούθηση της Αγοράς Ενέργειας, οποία απολαμβάνει, σύμφωνα με τις διατάξεις του ιδρυτικού της νόμου, οικονομική και διοικητική αυτοτέλεια. Η ΡΑΕ ιδρύθηκε σύμφωνα με τις διατάξεις του Νόμου 2773/1999 [11], ο οποίος εκδόθηκε στο πλαίσιο εναρμόνισης της Ελληνικής Νομοθεσίας με τις διατάξεις της Οδηγίας 96/92/ΕΚ για την απελευθέρωση της Αγοράς ΗΕ. Η οικονομική ανεξαρτησία της ΡΑΕ, η οποία είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την διατήρηση της αυτοτέλειας της Αρχής, διασφαλίζεται ουσιαστικά από τις διατάξεις του Νόμου 2837/2000, μέσω του οποίου προβλέπεται ότι η Αρχή κατέχει τους δικούς της πόρους. Η διαχείριση των υπόψη πόρων γίνεται σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα 139/2001 «Ρύθμιση για την Εσωτερική Λειτουργία και Διοίκηση της ΡΑΕ», ενώ η οικονομική διαχείριση υπόκειται σε εκ των υστέρων έλεγχο από Ανεξάρτητους Ελεγκτές και από το Ελεγκτικό Συνέδριο.

Στη ΡΑΕ ανατέθηκαν νέες αρμοδιότητες και καθήκοντα σχετικά με τους τομείς της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου με τους Νόμους 3426/2005 για την Ηλεκτρική Ενέργεια και 3428/2005 για το Φυσικό Αέριο, σε συμμόρφωση με τις σχετικές διατάξεις των Οδηγιών 2003/54 και 2003/55 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, και ιδιαίτερα σχετικά με τα τιμολόγια πρόσβασης στα δίκτυα ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου, τους όρους και τις προϋποθέσεις για την παροχή των υπηρεσιών εξισορρόπησης στο φυσικό αέριο, καθώς επίσης και για θέματα που σχετίζονται με την ασφάλεια τροφοδοσίας ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου. Επιπλέον, με βάση τις τροποποιήσεις που εισάγονται με τους ανωτέρω αναφερόμενους νόμους, αλλά και τον μεταγενέστερο 4001/2011, η ΡΑΕ ενεργεί ως αρχή επίλυσης των διαφορών όσον αφορά καταγγελίες εναντίον Προμηθευτών, και εναντίον του Διαχειριστή του Συστήματος ή του Δικτύου στους τομείς ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου.

## 2.14 Δραστηριότητες της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

α. Οι Ετήσιες, οι Μηνιαίες και οι Ημερήσιες Δημοπρασίες Φυσικών Δικαιωμάτων Μεταφοράς (ΦΔΜ), όπως περιγράφονται στους Κανονισμούς Δημοπρασιών στις Διασυνδέσεις με τις όμορες χώρες .

β. Η Δευτερεύουσα Αγορά ΦΔΜ, για τη Μεταβίβαση ή/και Μεταπώληση των εκχωρημένων Ετησίων και Μηνιαίων ΦΔΜ ενός Συμμετέχοντα σε έναν άλλον, όπως περιγράφεται λεπτομερώς στους Κανονισμούς Πρόσβασης στις Διασυνδέσεις .

γ. Η Κατάρτιση Προγράμματος Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ)

δ. Η Επιβεβαίωση προγραμμάτων Εισαγωγών και Εξαγωγών με γειτονικούς Διαχειριστές και έλεγχος των τελικών προγραμμάτων από το Νότιο Συντονιστικό Κέντρο της Ευρώπης (South Coordination Center).

ε. Η Εκκαθάριση ΗΕΠ.

στ. Η Κατάρτιση Προγράμματος Κατανομής (ΠΚ και ΕΠΚ) (D-1 & Ενδοημερήσιο

ζ. Το Πρόγραμμα Κατανομής Πραγματικού Χρόνου (ΚΠΧ ή RTD)

Οι βασικές δραστηριότητες της Αγοράς ΗΕ είναι οι ακόλουθες:

η. Η Καταγραφή Διαθεσιμότητας Μονάδων και Εντολών Κατανομής

θ. Η Καταγραφή Ποσοτήτων Ενέργειας και Επικουρικών Υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο

ι. Η Μεθοδολογία υπολογισμού της Οριακής Τιμής Αποκλίσεων (ΟΤΑθρο 151 του ΚΔΣ.

ια. Η Εκκαθάριση Αποκλίσεων.

ιβ. Η Εκκαθάριση Επικουρικών Υπηρεσιών.

ιγ. Οι Μηνιαίες Εκθέσεις και Δημοσιεύσεις.

ιδ. Στατιστικά Δημοπρασιών.

### **Πρόβλεψη Φορτίου**

Ο Διαχειριστής του Συστήματος χρησιμοποιεί λογισμικό βραχυπρόθεσμης Πρόβλεψης Φορτίου το οποίο προβλέπει την καμπύλη ηλεκτρικού φορτίου με βήμα μιας ώρας και χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης από την επόμενη ώρα (συμπλήρωση της 24-ωρης καμπύλης φορτίου της τρέχουσας μέρας) μέχρι και επτά μέρες στο μέλλον.

Η ποσότητα του προβλεπόμενου φορτίου για κάθε περίοδο κατανομής αναφέρεται στο εικονικό σημείο αγοραπωλησίας ενέργειας του ΗΕΠ και, δεν περιλαμβάνει τα Τιμολογούμενα Φορτία (αυτά που δηλώνονται με Τιμολογούμενες Δηλώσεις Φορτίου).

Ο Διαχειριστής του Συστήματος υποβάλλει καθημερινά στο Λειτουργό της Αγοράς την Πρόβλεψη Φορτίου του Συστήματος και την Πρόβλεψη Φορτίου για κάθε Λειτουργική Ζώνη και για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής εντός της προθεσμίας που αναφέρεται στους Κώδικες.

### **Πρόβλεψη Παραγωγής από Μονάδες ΑΠΕ και ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ**

Ο Διαχειριστής του Συστήματος προβλέπει την παραγωγή ενέργειας από Μονάδες ΑΠΕ και ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής, βασιζόμενος σε κατάλληλο λογισμικό πρόβλεψης, προβλέψεις ανέμου/καιρού, στατιστικές πληροφορίες για το ιστορικό της παραγωγής ενέργειας από τις Μονάδες αυτές και άλλες σχετικές πληροφορίες.

Ο Διαχειριστής του Συστήματος υποβάλλει καθημερινά στο Λειτουργό της Αγοράς τις προβλέψεις του για την παραγωγή ενέργειας από Μονάδες ΑΠΕ και ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής, εντός της προθεσμίας που αναφέρεται στους Κώδικες.

## ***Δεδομένα Εισόδου Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού***

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου του ΗΕΠ που πρέπει να υποβληθούν στο Σύστημα Επίλυσης ΗΕΠ, τα οποία διακρίνονται σε δεδομένα εισόδου του Λειτουργού της Αγοράς και δεδομένα εισόδου των Συμμετεχόντων. Στα δεδομένα εισόδου του Λειτουργού της Αγοράς περιλαμβάνονται οι ποσότητες ενέργειας και εφεδρειών που αντιστοιχούν στις Απαιτήσεις και Προβλέψεις του Διαχειριστή του Συστήματος και στις Δηλώσεις Προτεραιότητας Κατανεμόμενων Μονάδων ΣΗΘΥΑ (ΚΜΣ).

Στα δεδομένα εισόδου των Συμμετεχόντων περιλαμβάνονται οι Προσφορές Έγχυσης, οι Δηλώσεις Φορτίου, οι Προσφορές Εφεδρειών, οι Δηλώσεις Μη Διαθεσιμότητας και οι Δηλώσεις Τεχνοοικονομικών Στοιχείων των Μονάδων Παραγωγής.

### ***Προσφορές Έγχυσης***

#### ***Υποβολή Προσφορών Έγχυσης***

Οι Παραγωγοί οφείλουν να υποβάλλουν Προσφορές Έγχυσης για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής για τις Μονάδες παραγωγής που αντιπροσωπεύουν. Οι Προμηθευτές, οι Έμποροι και οι Αυτοπρομηθευόμενοι Πελάτες μπορούν να υποβάλλουν Προσφορές Έγχυσης για εισαγωγές ενέργειας στις Διασυνδέσεις.

Οι Παραγωγοί υποχρεούνται να υποβάλλουν τιμολογούμενες Προσφορές Έγχυσης για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής για το σύνολο της παραγωγικής ικανότητας κάθε Μονάδας παραγωγής που εκπροσωπούν, με εξαίρεση τις Περιόδους Κατανομής κατά τις οποίες η Μονάδα είναι σε προγραμματισμένη συντήρηση ή πλήρως μη διαθέσιμη, όπως υποδεικνύεται στη Δήλωση Ολικής Μη Διαθεσιμότητας. Σε Περιόδους Κατανομής κατά τις οποίες η Μονάδα είναι μερικώς διαθέσιμη, όπως υποδεικνύεται στη Δήλωση Μερικής Μη Διαθεσιμότητας, οι Παραγωγοί θα πρέπει να υποβάλλουν Προσφορές Έγχυσης μόνο για την ισχύ της Μονάδας η οποία είναι τεχνικά διαθέσιμη.

Οι Προμηθευτές, οι Έμποροι και οι Αυτοπρομηθευόμενοι Πελάτες μπορούν να υποβάλλουν Τιμολογούμενες Προσφορές Έγχυσης για εισαγωγές ενέργειας στις Διασυνδέσεις. Η συνολική ποσότητα ενέργειας των Προσφορών Έγχυσης για εισαγωγές από Αυτοπρομηθευόμενους Πελάτες για όλες τις Διασυνδέσεις δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει την συνολική ποσότητα ενέργειας των Δηλώσεων Φορτίου που έχουν υποβάλλει για την ίδια Περίοδο Κατανομής, σε όλες τις Λειτουργικές Ζώνες, αφού αυτές διορθωθούν με τους αντίστοιχους Συντελεστές Απωλειών Φορτίου.

Οι παραπάνω Συμμετέχοντες υποβάλλουν ένα αρχείο XML στο πληροφοριακό σύστημα του ΗΕΠ, προ κειμένου να συμμετάσχουν στον ΗΕΠ. Το αρχείο XML μπορεί να παράγεται μέσω ενός μετατροπέα, που παρέχει ο Λειτουργός της Αγοράς στους Συμμετέχοντες, για την μετατροπή αρχείου Excel σε αρχείο XML, και βασίζεται στο πρότυπο “ETSO Scheduling System” (ESS). Ο Λειτουργός της Αγοράς παρέχει επίσης στους Συμμετέχοντες το αρχείο “XML Schema Definition” (XSD), που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του αρχείου XML.

### ***Δηλώσεις Φορτίου***

#### ***Κατανεμόμενα και Μη Κατανεμόμενα Φορτία***

Κατανεμόμενα Φορτία θεωρούνται τα φορτία για τα οποία υποβάλλεται Τιμολογούμενη Δήλωση Φορτίου. Η ένταξή τους γίνεται σύμφωνα με την επίλυση των ΗΕΠ. Μη-Κατανεμόμενα λέγονται τα Φορτία για τα οποία απαιτείται Μη-Τιμολογούμενη Δήλωση Φορτίου.



## **Υποβολή Δηλώσεων Φορτίου**

Οι Εκπρόσωποι Φορτίου οφείλουν να υποβάλλουν Δηλώσεις Φορτίου για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής, για το φορτίο που εκπροσωπούν. Για τα Μη - Κατανεμόμενα Φορτία, οι Εκπρόσωποι Φορτίου σε αυτό το πλαίσιο είναι Προμηθευτές, Αυτοπρομηθευόμενοι Πελάτες και επίσης Παραγωγοί για το βοηθητικό φορτίο των μΜονάδων τους, σε περίπτωση που αυτό δε προέρχεται από την παραγόμενη από τις μΜονάδες αυτές ενέργεια. Για το Κατανεμόμενο Φορτίο, οι Εκπρόσωποι Φορτίου σε αυτό το πλαίσιο είναι Προμηθευτές για εξεξαγωγές ενέργειας και Προμηθευτές ή Παραγωγοί για αντλητικά φορτία.

Ο Λειτουργός της Αγοράς, κατά την επίλυση του ΗΕΠ, λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία, με αύξουσα σειρά σημασίας, για να καθορίσει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας μίας Μονάδας για κάθε Περίοδο

### **1. Κατανομής της Ημέρας Κατανομής:**

Τα Καταχωρημένα χΧαρακτηριστικά λειτουργίας της μΜονάδας, συμπεριλαμβανομένων τυχόν εγκεκριμένων εξαιρέσεων σχετικών με τα τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως αυτές έχουν καταχωρηθεί στο Πληροφοριακό Σύστημα της Αγοράς,

Τα οικονομικά στοιχεία της Δήλωσης Τεχνοοικονομικών Στοιχείων,

Τυχόν Δήλωση οΟλικής ή μΜερικής Μη Διαθεσιμότητας.

Κάθε σχετική πληροφορία που υποβάλλεται από τον Παραγωγό μετά τη λήξη της Προθεσμίας Υποβολής από τους Συμμετέχοντες σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΚΔΣ, αφορά το Διαχειριστή του Συστήματος και δεν λαμβάνεται υπόψη κατά την επίλυση του ΗΕΠ.

## **Μεθοδολογία Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού**

Στο Τμήμα αυτό παρουσιάζεται η μεθοδολογία κατάρτισης και επίλυσης του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ) που περιλαμβάνει: το χρονικό ορίζοντα του ΗΕΠ, τα δεδομένα εισόδου του ΗΕΠ, το χειρισμό των απωλειών μεταφοράς και διανομής, το μηχανισμό επίλυσης του ΗΕΠ, τους περιορισμούς που επιβάλλονται στον μηχανισμό επίλυσης του ΗΕΠ, τις τιμές που υπολογίζονται στην αγορά του ΗΕΠ και τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό αυτών των τιμών.

### **2.15 Χρονικός Ορίζοντας Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού**

Ο χρονικός ορίζοντας του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ) είναι η επόμενη Ημέρα Κατανομής, η οποία είναι μία ημερολογιακή ημέρα που ξεκινάει στις 12:00 τα μεσάνυχτα (00:00) και τελειώνει στις 24:00 (ώρες Ελλάδας). Το διακριτό χρονικό διάστημα του ΗΕΠ είναι η Περίοδος Κατανομής, η οποία είναι μία ημερολογιακή ώρα. Υπάρχουν 24 Περίοδοι Κατανομής σε κάθε Ημέρα Κατανομής, εκτός από τις “μικρές” και “μεγάλες” ημέρες, το φθινόπωρο και την άνοιξη αντίστοιχα, όταν η τοπική ώρα μεταβάλλεται μία ώρα μπροστά και πίσω αντίστοιχα. Η μικρή Ημέρα Κατανομής την άνοιξη αποτελείται από 23 Περίοδους Κατανομής γιατί απουσιάζει η ώρα από τις 03:00 ως τις 04:00. Η μεγάλη Ημέρα Κατανομής το φθινόπωρο αποτελείται από 25 Περίοδους Κατανομής γιατί υπάρχουν δύο Περίοδοι Κατανομής από τις 03:00 ως τις 04:00, μία για την ώρα εξοικονόμησης του ημερήσιου φωτός και άλλη μία για την κανονική ώρα.

➤ *Δεδομένα Εισόδου στον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό*

Το πρόγραμμα του ΗΕΠ υπολογίζεται με βάση τις ακόλουθες πληροφορίες για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής:

- Τιμολογούμενες και μη-τιμολογούμενες Δηλώσεις Φορτίου,
- Τιμολογούμενες και μη-τιμολογούμενες Προσφορές Έγχυσης,
- Προσφορές Εφεδρειών,
- Απαιτήσεις Εφεδρειών,
- Δηλώσεις Τεχνοοικονομικών Στοιχείων και Καταχωρημένων Χαρακτηριστικών Μονάδων,
- Δηλώσεις Ολικής και Μερικής Μη Διαθεσιμότητας,
- Αρχική κατάσταση των μονάδων παραγωγής και σχετικές πληροφορίες στην αρχή της Ημέρας Κατανομής,
- Όρια ροής ενεργού ισχύος στα σημεία σύνδεσης των Λειτουργικών Ζωνών,
- Όρια ροής ενεργού ισχύος σε κάθε Διασύνδεση,
- Πίνακας ΦΔΜ για τις Διασυνδέσεις,
- Πίνακες Συντελεστών Απωλειών Έγχυσης και Φορτίου μεταφοράς και διανομής, και
- Μητρώο Μονάδων και Πίνακας Αντιστοίχισης Μετρητών και Εκπροσώπων Φορτίου.

➤ *Μηχανισμός Επίλυσης Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού*

Η επίλυση του ΗΕΠ είναι ένα σύνθετο πρόβλημα βελτιστοποίησης όπου βελτιστοποιείται του κοινωνικού πλεονάσματος για όλη την Ημέρα Κατανομής, με την ταυτόχρονη ικανοποίηση των περιορισμών ενώ παράλληλα ισχύει του ισοζυγίου ενέργειας σε κάθε Λειτουργική Ζώνη του Συστήματος, και ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σε εφεδρείες και οι τεχνικοί περιορισμοί των μονάδων.

Η περιγραφή της επίλυσης του ΗΕΠ σε αυτό το τμήμα είναι πολύ γενική, σύμφωνα με μία γενική διατύπωση του προβλήματος ένταξης Μονάδων (unit commitment).

➤ *Μεταβλητές Απόφασης*

Οι μεταβλητές απόφασης στο Μηχανισμό Επίλυσης του ΗΕΠ είναι οι ακόλουθες:

- α. Η κατάσταση κάθε Μονάδας παραγωγής (σε λειτουργία, σε κράτηση, σε διαδικασία εκκίνησης ή σε διαδικασία σβέσης) για κάθε Περίοδο Κατανομής,
- β. Η έγχυση ενέργειας από κάθε βαθμίδα τιμολογούμενης Προσφοράς Έγχυσης Μονάδας παραγωγής, για κάθε Περίοδο Κατανομής,
- γ. Η απορρόφηση ενέργειας από κάθε βαθμίδα τιμολογούμενης Δήλωσης Φορτίου κάθε Συμμετέχοντα, για κάθε Περίοδο Κατανομής,
- δ. Η έγχυση ενέργειας από κάθε βαθμίδα τιμολογούμενης Προσφοράς Έγχυσης για Εισαγωγές, για κάθε Περίοδο Κατανομής,
- ε. Η απορρόφηση ενέργειας από κάθε βαθμίδα τιμολογούμενης Δήλωσης Φορτίου για Εξαγωγές, για κάθε Περίοδο Κατανομής,
- στ. Η παρεχόμενη Πρωτεύουσα Εφεδρεία κάθε Μονάδας παραγωγής για κάθε Περίοδο Κατανομής,
- ζ. Η παρεχόμενη άνω και κάτω Δευτερεύουσα Εφεδρεία κάθε Μονάδας παραγωγής για κάθε Περίοδο Κατανομής,
- η. Η παρεχόμενη Τριτεύουσα Στρεφόμενη Εφεδρεία κάθε Μονάδας παραγωγής για κάθε Περίοδο Κατανομής, και
- θ. Η παρεχόμενη Τριτεύουσα μη-Στρεφόμενη Εφεδρεία κάθε Μονάδας παραγωγής για κάθε Περίοδο Κατανομής.

Τέσσερις τρόποι λειτουργίας μοντελοποιούνται για τις Μονάδες παραγωγής:

- α. Λειτουργία: η Μονάδα είναι συνδεδεμένη και συγχρονισμένη με το δίκτυο,
- β. Κράτηση: η Μονάδα δεν είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο και δεν παράγει ενέργεια,
- γ. Εκκίνηση: η Μονάδα είναι σε διαδικασία εκκίνησης, και
- δ. Σβέση: η Μονάδα είναι σε διαδικασία σβέσης.

Οι λειτουργίες εκκίνησης και σβέσης εφαρμόζονται μόνο σε Μονάδες που έχουν χρόνους εκκίνησης και σβέσης μεγαλύτερους από μία ώρα, αντίστοιχα, καθώς αυτές οι Μονάδες χρειάζονται περισσότερο από μία Περίοδο Κατανομής (ένα διάστημα) για να εκτελέσουν αυτές τις λειτουργίες, επομένως θα βρίσκονται σε αυτές τις μεταβατικές καταστάσεις τουλάχιστον για μία Περίοδο Κατανομής (ένα διάστημα). Διαφορετικά, η κατάσταση της Μονάδας μεταβάλλεται άμεσα, από κράτηση σε λειτουργία και αντιστρόφως, χωρίς ενδιάμεσες καταστάσεις λειτουργίας.

Οι Μη τιμολογούμενες Προσφορές Έγχυσης και Δηλώσεις Φορτίου είναι σταθερές στη διαμόρφωση του προβλήματος.

Οι Προσφορές Εφεδρειών των Μονάδων παραγωγής οφείλουν να γίνονται για το σύνολο της βεβαιωμένης ικανότητάς τους για κάθε Εφεδρεία. Πρωτεύουσα, Δευτερεύουσα και Τριτεύουσα Στρεφόμενη Εφεδρεία μπορούν να παρασχεθούν μόνο από Μονάδες σε λειτουργία. Τριτεύουσα Μη-στρεφόμενη Εφεδρεία μπορεί να παρασχεθεί μόνο από Μονάδες υπό συνθήκες κράτησης.

#### ➤ *Αντικειμενική Συνάρτηση*

Η Αντικειμενική συνάρτηση που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί στον Μηχανισμό Επίλυσης του ΗΕΠ αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία κόστους:

- α. Το κόστος εκκίνησης των μΜονάδων παραγωγής για κάθε εκκίνηση στην Ημέρα Κατανομής. Σύμφωνα με τον ΚΣΗΕ (Άρθρο 55), το κόστος εκκίνησης των Μονάδων θεωρείται ίσο με μηδέν στον ΗΕΠ.
- β. Το κόστος αποσυγχρονισμού των Μονάδων παραγωγής για κάθε σβέση στην Ημέρα Κατανομής. Σύμφωνα με τον ΚΣΗΕ (Άρθρο 55), Το κόστος αποσυγχρονισμού των Μονάδων θεωρείται ίσο με το πραγματικό κόστος εκκίνησης από ενδιάμεση κατάσταση.
- γ. Το κόστος που προκύπτει από τις τιμολογούμενες Προσφορές Έγχυσης για την παραγωγή ενέργειας από των ενταγμένων Μονάδων παραγωγής για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής,
- δ. Το κόστος που προκύπτει από τις Τιμολογούμενες Προσφορές Έγχυσης για Εισαγωγές για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής,
- ε. Το όφελος που προκύπτει από τις τιμολογούμενες Δηλώσεις Φορτίου για Εξαγωγές για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής,
- στ. Το όφελος που προκύπτει από τις τιμολογούμενες Δηλώσεις Φορτίου από τους Προμηθευτές (για τους καταναλωτές) για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής,
- ζ. Το κόστος προμήθειας Πρωτεύουσας Εφεδρείας των ενταγμένων Μονάδων παραγωγής για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής,
- η. Το κόστος προμήθειας Εύρους Δευτερεύουσας Ρύθμισης των ενταγμένων Μονάδων παραγωγής για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής,
- θ. Το ενδεχόμενο κόστος προμήθειας Τριτεύουσας Στρεφόμενης Εφεδρείας των ενταγμένων Μονάδων παραγωγής για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής, και
- ι. Το ενδεχόμενο κόστος προμήθειας Τριτεύουσας Μη-στρεφόμενης Εφεδρείας των μη ενταγμένων Μονάδων παραγωγής για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής.

## 2.16 Περιορισμοί

### *Ισοζύγιο Ενέργειας*

Με τους περιορισμούς Ισοζυγίου Ενέργειας σε κάθε Λειτουργική Ζώνη του Συστήματος εξισώνεται η συνολική έγχυση ενέργειας με τη συνολική απορρόφηση ενέργειας σε κάθε Λειτουργική Ζώνη, για κάθε Περίοδο Κατανομής. Για κάθε Λειτουργική Ζώνη, η προσαρμοσμένη έγχυση ενέργειας από τις Μονάδες παραγωγής και τις Εισαγωγές εξισώνεται, ώστε να ληφθούν υπόψη οι απώλειες του Συστήματος Μεταφοράς, με την προσαρμοσμένη απορρόφηση ενέργειας από τις Δηλώσεις Φορτίου των Προμηθευτών, ώστε να ληφθούν υπόψη οι απώλειες του δικτύου διανομής από τη Ζώνη αυτή.

Σε κάθε περίπτωση, η Πρόβλεψη Φορτίου ή οι Μη-Τιμολογούμενες Δηλώσεις Φορτίου υπολογίζονται στο εικονικό σημείο αγοραπωλησίας του ΗΕΠ (ή σημείο Εκκαθάρισης της Αγοράς, ή market point) πριν εισαχθούν στον περιορισμό ισοζυγίου ενέργειας κάθε Λειτουργικής Ζώνης.

### *Απαιτήσεις Εφεδρειών*

Οι περιορισμοί των Απαιτήσεων Εφεδρειών εξασφαλίζουν την απαιτούμενη ποσότητα Εφεδρειών για κάθε τύπο Εφεδρείας και για κάθε Περίοδο Κατανομής. Κάθε Απαίτηση Εφεδρειών καλύπτεται από Εφεδρείες του ίδιου τύπου (δε γίνεται επικάλυψη Εφεδρειών).

Οι Απαιτήσεις Εφεδρειών που θέτει ο Λειτουργός της Αγοράς στον ΗΕΠ βάσει των σχετικών υποβολών του Διαχειριστή του Συστήματος για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής είναι οι κάτωθι:

- α. Απαίτηση Πρωτεύουσας Εφεδρείας,
- β. Απαίτηση δευτερεύουσας άνω Εφεδρείας,
- γ. Απαίτηση Δευτερεύουσας κάτω εφεδρείας,
- δ. Απαίτηση γρήγορης Δευτερεύουσας άνω Εφεδρείας,
- ε. Απαίτηση γρήγορης Δευτερεύουσας κάτω Εφεδρείας, και
- στ. Απαίτηση Τριτεύουσας Εφεδρείας.

Οι Απαιτήσεις γρήγορης Δευτερεύουσας Εφεδρείας τίθενται για τη χρήση μονάδων με αρκετά μεγάλο ρυθμό μεταβολής υπό ΑΡΙΠ καθ' όλη τη διάρκεια της Ημέρας Κατανομής, π.χ. με ρυθμό μεγαλύτερο ή ίσο με 50 MW/min. Ουσιαστικά, οι περιορισμοί αυτοί επιβάλλουν την ύπαρξη, καθόλη τη διάρκεια της Ημέρας Κατανομής, μίας κατ'ελάχιστο, ενταγμένης υδροηλεκτρικής μονάδας, που να παρέχει δευτερεύουσα εφεδρεία.

### *Όρια Ικανότητας Παραγωγής*

Τα προγράμματα εγχύσεων και εφεδρειών για κάθε Μονάδα παραγωγής σε κάθε Περίοδο Κατανομής περιορίζονται ανάμεσα στο κατώτερο και στο ανώτερο όριο ρύθμισης ή λειτουργίας της Μονάδας, ανάλογα με το αν η Μονάδα είναι σε ΑΡΙΠ ή όχι. Μία Μονάδα θεωρείται ότι είναι σε ΑΡΙΠ όταν έχει πρόγραμμα Δευτερεύουσας Εφεδρείας. Όσο είναι σε ΑΡΙΠ, η Μονάδα λειτουργεί μέσα στα όρια ρύθμισής της. Κατά εξαίρεση, το πρόγραμμα Πρωτεύουσας Εφεδρείας για λειτουργία σε ΑΡΙΠ δεν περιορίζεται από τα όρια ρύθμισης αλλά, αντίθετα, από τα όρια λειτουργίας της καθώς ο ρυθμιστής στροφών της Μονάδας μπορεί να αποκριθεί σε διαταραχές συχνότητας οδηγώντας την Μονάδα εκτός των ορίων λειτουργίας της.

Τα όρια ρύθμισης συνήθως είναι πιο περιοριστικά από τα λειτουργικά όρια. Το κατώτερο λειτουργικό όριο είναι η Τεχνικά Ελάχιστη Παραγωγή. Το ανώτερο λειτουργικό όριο είναι η καταχωρημένη μέγιστη διαθέσιμη Καθαρή Ισχύς ικανότητα, όπως αυτή μεταβάλλεται από κάθε ισχύουσα Δήλωση Μη Διαθεσιμότητας. Στην τελευταία περίπτωση, και για λειτουργία σε ΑΡΙΠ,

το ανώτερο όριο για τα προγράμματα εγχύσεων και εφεδρειών είναι η μικρότερη τιμή ανάμεσα στην καταχωρημένη μέγιστη διαθέσιμη Καθαρή Ισχύ ικανότητα και στο δηλωμένο ανώτερο όριο ρύθμισης.

### **Περιορισμοί Μεταφοράς**

Οι περιορισμοί μεταφοράς που εφαρμόζονται στον Μηχανισμό Επίλυσης του ΗΕΠ σε κάθε Περίοδο Κατανομής είναι οι κάτωθι:

- ❖ Αμφίπλευρα όρια καθαρών ροών ενεργού ισχύος στα σημεία σύνδεσης των Λειτουργικών Ζωνών,
- ❖ Όρια καθαρών ροών ενεργού ισχύος σε κάθε Διασύνδεση για Εισαγωγές και Εξαγωγές. Σημειώνεται ότι στους περιορισμούς αυτούς λαμβάνεται υπόψη και η διαδικασία συμψηφισμού Εισαγωγών/Εξαγωγών (netting).

### **Διαχρονικοί Περιορισμοί**

Οι διαχρονικοί περιορισμοί οι οποίοι εφαρμόζονται σε κάθε Μονάδα παραγωγής στον Μηχανισμό Επίλυσης του ΗΕΠ είναι οι κάτωθι:

- α. Ελάχιστος χρόνος παραμονής σε λειτουργία: η Μονάδα πρέπει να παραμείνει σε λειτουργία τουλάχιστον για αυτό το χρόνο από τη στιγμή που θα δεχθεί την εντολή για συγχρονισμό και ένταξη.
- β. Ελάχιστος χρόνος κράτησης: η Μονάδα πρέπει να παραμείνει υπό κράτηση τουλάχιστον για αυτό το χρόνο από τη στιγμή που θα ολοκληρώσει έναν αποσυγχρονισμό της.
- γ. Περιορισμός χρόνου παραμονής στην περίοδο προετοιμασίας συγχρονισμού: η Μονάδα πρέπει να παραμείνει στην περίοδο προετοιμασίας συγχρονισμού κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου από τη στιγμή που θα ξεκινήσει η διαδικασία εκκίνησής της (από την εντολή για συγχρονισμό).
- δ. Περιορισμός χρόνου παραμονής στο ενδιάμεσο φορτίο: η Μονάδα πρέπει να παραμείνει στην περίοδο παραμονής στο ενδιάμεσο φορτίο κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου από τη στιγμή που θα συγχρονίσει έως ότου φτάσει το τεχνικό της ελάχιστο.
- ε. Περιορισμός χρόνου αποσυγχρονισμού: η Μονάδα πρέπει να παραμείνει σε λειτουργία αποσυγχρονισμού κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου από τη στιγμή που θα ξεκινήσει η διαδικασία αποσυγχρονισμού της.
- στ. Περιορισμοί του ρυθμού μεταβολής παραγωγής: η αλλαγή του προγράμματος Έγχυσης μίας Μονάδας από τη μία Περίοδο Κατανομής στην άλλη, περιορίζεται, προς τα επάνω και προς τα κάτω, από την ικανότητα μεταβολής παραγωγής της μΜονάδας, που ορίζεται από τους ρυθμούς ανόδου και καθόδου, ή το αντίστοιχο εύρος ρύθμισης εάν η Μονάδα είναι σε ΑΡΙΠ.

## **2.17 Κανόνας Αποσύνδεσης – Χειρισμού Προσφορών με Ίδια Τιμή**

### **Προσφορές Έγχυσης**

Σε περίπτωση Προσφορών Έγχυσης με την ίδια τιμή προσφοράς για την ίδια Περίοδο Κατανομής (σε κάποια από τις βαθμίδες προσφοράς τους), γίνονται οι εξής χειρισμοί από το μηχανισμό επίλυσης του ΗΕΠ:

α. Πρώτα, επιλέγεται τυχαία ένα είδος προσφορών στο οποίο θα εφαρμοστεί ο κανόνας αποσύνδεσης των προσφορών, από τα κάτωθι είδη προσφορών:

- θερμικές Μονάδες,
- Εισαγωγές,
- υδροηλεκτρικές Μονάδες.

β. Εάν επιλεγεί έγχυση από θερμικές Μονάδες ή εισαγωγές με την ίδια τιμή προσφοράς (σε κάποια από τις βαθμίδες προσφοράς τους), τότε οι συγκεκριμένες Προσφορές Έγχυσης που

μερικώς ή ολικώς εντάσσονται στο πρόγραμμα του ΗΕΠ, θα επιλεγούν τυχαία. Στην περίπτωση αυτή, η τυχαία ταξινόμηση αυτών των Προσφορών θα καθορίσει ποια Προσφορά θα επιλεγεί.

γ. Εάν επιλεγεί έγχυση από Εισαγωγές, τότε δίνεται προτεραιότητα στην ένταξη εκείνων που αντιστοιχούν σε μακροχρόνια (ετήσια και μηνιαία) ΦΔΜ, μετά την εξάντληση του συνόλου των οποίων εξετάζεται και η ένταξη των εγχύσεων που αντιστοιχούν σε βραχυχρόνια ΦΔΜ. Μέσα σε καθεμιά από τις δυο ομάδες (βραχυχρονίων και μακροχρονίων) η επιλογή γίνεται τυχαία.

δ. Εάν επιλεγεί έγχυση από υδροηλεκτρικές Μονάδες, τότε η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για τη συμπλήρωση του Προγράμματος ΗΕΠ κατανέμεται στις αντίστοιχες π

Προσφορές Έγχυσης κατ' αναλογία των ποσοτήτων ενέργειας που περιλαμβάνεται στις προς επιλογή βαθμίδες μεταξύ των Προσφορών αυτών. Στην περίπτωση αυτή, ο κανόνας της αναλογίας θα εφαρμοστεί σε περίπτωση που πολλές Προσφορές με την ίδια τιμή επιλεγούν ταυτόχρονα.

Οι Προσφορές Έγχυσης από υδροηλεκτρικές Μονάδες με τις ίδιες τιμές θεωρούνται αλληλένδετες. Αυτές οι Προσφορές Έγχυσης κατανέμονται σε αναλογία της ποσότητας σε MW των αλληλένδετων βαθμίδων ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με το μοντέλο αποσύνδεσης που εφαρμόζεται στην επίλυση του ΗΕΠ, διατυπώνοντας τον κανόνα αποσύνδεσης σαν έναν χαλαρό περιορισμό.

### ***Δηλώσεις φορτίου***

Σε περίπτωση Δηλώσεων Φορτίου με την ίδια τιμή προσφοράς για την ίδια Περίοδο Κατανομής (σε κάποια από τις βαθμίδες προσφοράς τους), η μέθοδος τυχαίας επιλογής εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό της προτεραιότητας ένταξης αυτών των Δηλώσεων Φορτίου. Η τυχαία επιλογή απόσυρσης Προσφορών από φορτία ή Εξαγωγές γίνεται με την τυχαία ταξινόμηση των προσφορών που έχουν τις ίδιες τιμές.

### ***Προσφορές Εφεδρειών***

Σε περίπτωση Προσφορών Εφεδρειών με την ίδια τιμή προσφοράς για την ίδια Περίοδο Κατανομής, γίνεται τυχαία επιλογή μεταξύ των προσφορών αυτών.

### ***Οριακές Τιμές***

Οι Οριακές Τιμές που καθορίζονται από την επίλυση του ΗΕΠ για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής είναι οι ακόλουθες:

- Οριακή Τιμή Παραγωγής για κάθε ισχύουσα Λειτουργική Ζώνη. Από τις τιμές αυτές προκύπτει η Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ) ως η σταθμισμένη με τη συνολική έγχυση ενέργειας σε κάθε Λειτουργική Ζώνη μέση τιμή ο μεσοσταθμισμένος μέσος όρος των Οριακών Τιμών Παραγωγής όλων των Λειτουργικών Ζωνών του Συστήματος.
- Δυϊκές τιμές των περιορισμών ενέργειας μεταξύ των λειτουργικών ζωνών.

## **2.18 Αποτελέσματα Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού**

Τα αποτελέσματα του ΗΕΠ αποτελούνται από τα προγράμματα εγχύσεων και απορροφήσεων ενέργειας, τα προγράμματα παροχής Εφεδρειών, τις Μοναδιαίες Τιμές Πληρωμής για Επικουρικές Υπηρεσίες και τις Οριακές Τιμές Συστήματος για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής.

### **Προγράμματα Έγχυσης, Απορρόφησης Ενέργειας και Παροχής Εφεδρειών**

Τα προγράμματα που εξάγονται από την επίλυση του ΗΕΠ αποτελούνται από τις ακόλουθες πληροφορίες για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής:

- α. Κατάσταση Μονάδων παραγωγής (κράτηση, λειτουργία, εκκίνηση, ή σβέση),
- β. Πρόγραμμα έγχυσης ενέργειας για Μονάδες παραγωγής και Εισαγωγές από τις αποδεκτές Μη-Τιμολογούμενες και Τιμολογούμενες Προσφορές Έγχυσης,
- γ. Πρόγραμμα απορρόφησης ενέργειας για Κατανεμόμενα και Μη- Κατανεμόμενα Φορτία και Εξαγωγές από τις αποδεκτές Μη-Τιμολογούμενες και Τιμολογούμενες Δηλώσεις Φορτίου,
- δ. Προγράμματα παροχής πΠρωτεύουσας εΦεδρείας για τις μΜονάδες παραγωγής, από τις αποδεκτές Προσφορές Πρωτεύουσας Εφεδρείας,
- ε. Προγράμματα παροχής άνω και κάτω Δευτερεύουσας Εφεδρείας για τις Μονάδες παραγωγής από τις αποδεκτές Προσφορές Δευτερεύουσας Εφεδρείας,
- στ. Ποσότητες Τριτεύουσας Στρεφόμενης Εφεδρείας για Μονάδες παραγωγής,
- ζ. Ποσότητες Τριτεύουσας Μη-Στρεφόμενης Εφεδρείας για Μονάδες παραγωγής, και
- η. Καθαρή ροή ενεργού ισχύος στα σημεία σύνδεσης των Λειτουργικών Ζωνών και στις Διασυνδέσεις.

Το συνολικό πρόγραμμα προς δημοσίευση αποτελείται από τις ακόλουθες πληροφορίες για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής:

- α. Συνολική παραγωγή σε κάθε Λειτουργική Ζώνη, με ξεχωριστή αναφορά για την υποχρεωτική παραγωγή των υδροηλεκτρικών Μονάδων, την παραγωγή ενέργειας από Μονάδες του Μητρώου ΑΠΕ και ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ, την παραγωγή από Κατανεμόμενες Μονάδες ΣΗΘΥΑ, και την παραγωγή από μονάδες σε δοκιμαστική λειτουργία,
- β. Συνολικό κατανεμόμενο φορτίο σε κάθε Λειτουργική Ζώνη,
- γ. Συνολικό μη-κατανεμόμενο φορτίο σε κάθε Λειτουργική Ζώνη,
- δ. Πρωτεύουσα εΦεδρεία στο σύστημα,
- ε. Άνω και κάτω Δευτερεύουσα εφεδρεία στο σύστημα,
- στ. Τριτεύουσα Στρεφόμενη και Μη-Στρεφόμενη Εφεδρεία στο σύστημα,
- ζ. Συνολική έγχυση ενέργειας για Εισαγωγή, συνολική απορρόφηση ενέργειας για Εξαγωγή, και καθαρή ροή ενεργού ισχύος σε κάθε Διασύνδεση, και
- η. Καθαρή ροή ενεργού ισχύος σε κάθε σημείο σύνδεσης μεταξύ των Λειτουργικών Ζωνών.

### ***Ημερήσιες Οριακές Τιμές***

Οι τιμές που εξάγονται από την επίλυση του ΗΕΠ αποτελούνται από τις ακόλουθες πληροφορίες για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής:

- 1 - Οριακή Τιμή Παραγωγής για κάθε Λειτουργική Ζώνη,
- 2 - Οριακή Τιμή Συστήματος, υπολογιζόμενη ως ο σταθμισμένος, ως προς τη συνολική έγχυση ενέργειας σε κάθε ζώνη, μέσος όρος των Οριακών Τιμών Παραγωγής των λειτουργικών ζωνών,
- 3 - Μοναδιαία Τιμή Πληρωμής Πρωτεύουσας Εφεδρείας,
- 4 - Μοναδιαία Τιμή Πληρωμής Δευτερεύουσας Εφεδρείας (άνω και κάτω)

## 2.19 Η Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ)

Η ΟΤΣ υπολογίζεται ως η σταθμισμένη μέση τιμή όλων των ΟΤΠ όλων των Λειτουργικών Ζωνών του Συστήματος. Οι στάθμες στον υπολογισμό της ΟΤΣ είναι τα ενεργειακά προγράμματα των Μονάδων παραγωγής και των Εισαγωγών ενέργειας, διορθωμένα με τους Συντελεστές Απωλειών Έγχυσης σε κάθε Λειτουργική Ζώνη. Εάν δεν έχουν ενεργοποιηθεί διαζωνικοί Περιορισμοί Μεταφοράς, οι ΟΤΠ όλων των Λειτουργικών Ζωνών είναι ίσες με την ΟΤΣ. Η επίλυση του ΗΕΠ μέχρι την Έβδομη Ημέρα Αναφοράς γίνεται χωρίς Διαζωνικούς Περιορισμούς Μεταφοράς του Συστήματος. Ως τη δημοσίευση της παρούσας έκδοσης δεν είχε ληφθεί η τελική απόφαση για την εφαρμογή ή μη των Διαζωνικών Περιορισμών σε μόνιμη, καθημερινή βάση κατά την επίλυση του ΗΕΠ.

Στο Λογισμικό της που έχει αναπτυχθεί για την Εκκαθάριση του ΗΕΠ, για τον υπολογισμό των πληρωμών, χρησιμοποιούνται αριθμοί διπλής ακρίβειας (double precision numbers), αλλά στις αναφορές των οριακών αποτελεσμάτων για την εκκαθαριζόμενη ενέργεια εμφανίζονται (σε MWh) με τιμές στρογγυλοποιημένες στα τρία (3) δεκαδικά ψηφία, οι Οριακές Τιμές Παραγωγής και η ΟΤΣ και για τα οικονομικά μεγέθη σε €/ MWh με ακρίβεια τριών (3) δεκαδικών και οι αξίες Πίστωσης και Χρέωσης ενέργειας και σε € .

### ➤ Υπολογισμός Οριακής Τιμής

Αντικείμενο αυτού του τμήματος είναι να περιγράψει τον υπολογισμό της Οριακής Τιμής Συστήματος (ΟΤΣ), της Τιμής Πρωτεύουσας Εφεδρείας και της Τιμής Δευτερεύουσας Ρύθμισης, με βάση τη μαθηματική διατύπωση του μοντέλου Επίλυσης αγοράς του ΗΕΠ.

### Υπολογισμός της ΟΤΣ

Η Οριακή Τιμή Παραγωγής (ΟΤΠ) κάθε Λειτουργικής Ζώνης ισούται με το κόστος (πολλαπλασιαστικής Lagrange) του περιορισμού του Ισοζυγίου Ενέργειας ισχύος της Ζώνης αυτής. Στην περίπτωση που οι διαζωνικοί περιορισμοί ροής δεν είναι δεσμευτικοί, οι δύο δυϊκές τιμές ταυτίζονται και η ΟΤΣ ισούται με αυτή την κοινή τιμή. Στην περίπτωση που οι Διαζωνικοί Περιορισμοί Μεταφοράς ροής είναι δεσμευτικοί, οι δύο δυϊκές τιμές μπορεί να είναι διαφορετικές και η ΟΤΣ υπολογίζεται ως ο σταθμισμένος (με τις εγχύσεις παραγωγής των Ζωνών) μέσος όρος των Οριακών Τιμών Παραγωγής των Ζωνών.

Σε κάθε περίπτωση, η ΟΤΠ κάθε Λειτουργικής Ζώνης καθορίζεται από μία ή περισσότερες οντότητες εντός της κάθε Λειτουργικής Ζώνης, η οποίες μπορεί να είναι Μονάδες παραγωγής, Κατανεμόμενα Φορτία, Εισαγωγές ή Εξαγωγές.

Σύμφωνα με το Άρθρο 55, §4 του ΚΣΗΕ, όταν δεν προσεγγίζεται κάποιο διαζωνικό όριο ροής, η ΟΤΣ εκφράζει την οριακή μεταβολή του κοινωνικού πλεονάσματος του ΗΕΠ, η οποία προκύπτει από μία οριακή αύξηση του φορτίου του Συστήματος. Όταν ένας περιορισμός ορίου ροής είναι δεσμευτικός, η ΟΤΠ της ζώνης εκφράζει την μεταβολή του κοινωνικού πλεονάσματος του ΗΕΠ, η οποία προκύπτει από μία οριακή αύξηση του φορτίου της υπόψη Λειτουργικής Ζώνης.

Αντιστοιχώντας ένα πολλαπλασιαστική Lagrange σε κάθε περιορισμό του προβλήματος και εισάγοντας τους περιορισμούς στην Αντικειμενική Συνάρτηση ορίζεται η «προσαυξημένη αντικειμενική συνάρτηση» ή συνάρτηση Lagrangian. Η διαδικασία αυτή, ονομαζόμενη και ως «χαλάρωση Lagrange» (Lagrangian Relaxation) ως εξής:

Σύμφωνα με το Άρθρο 55, §4 του ΚΣΗΕ, όταν δεν προσεγγίζεται κάποιο διαζωνικό όριο ροής, η ΟΤΣ εκφράζει την οριακή μεταβολή του κοινωνικού πλεονάσματος του ΗΕΠ, η οποία προκύπτει από μία οριακή αύξηση του φορτίου του συστήματος. Όταν ένας περιορισμός ορίου ροής είναι δεσμευτικός, η ΟΤΠ της ζώνης εκφράζει την μεταβολή του κοινωνικού πλεονάσματος του ΗΕΠ, η οποία προκύπτει από μία οριακή αύξηση του φορτίου της υπόψη λειτουργικής ζώνης.

Σύμφωνα με τις συνθήκες βελτιστοποίησης Kuhn-Tucker, στο βέλτιστο σημείο η μερική παράγωγος της Lagrangian συνάρτησης ως προς μία συγκεκριμένη μεταβλητή του προβλήματος είναι ίση με το μηδέν.



## Υπολογισμός των Τιμών Εφεδρειών

Η Τιμή της Πρωτεύουσας Εφεδρείας είναι ίση με την υψηλότερη Προσφορά (για Πρωτεύουσα Εφεδρεία) μεταξύ των Μονάδων που έχουν επιλεγεί για να παρέχουν Πρωτεύουσα Εφεδρεία. Η Τιμή Δευτερεύουσας Ρύθμισης είναι ίση με την υψηλότερη Προσφορά (για Δευτερεύουσα Ρύθμιση) μεταξύ των Μονάδων που παρέχουν Δευτερεύουσα Ρύθμιση είτε προς τα επάνω είτε προς τα κάτω

### Συμπεράσματα

Η ΟΤΠ Λειτουργικής Ζώνης, η οποία δίνεται από το εικονικό κόστος (πολλαπλασιαστής Lagrange) του περιορισμού Ισοζυγίου Ενέργειας ισχύος της Ζώνης αυτής, εκφράζει το κόστος ενέργειας (αποκλειστικά, χωρίς να συμπεριλαμβάνει το κόστος της πρωτεύουσας και δευτερεύουσας εφεδρείας), ελαφρά διαφοροποιημένο με το κόστος της συμμετοχής της οριακής βαθμίδας της οριακής οντότητας (ή κάθε άλλης οντότητας) στους περιορισμούς του προβλήματος ΗΕΠ.

### Περιγραφή Συστήματος Μεταφοράς

Τη σπονδυλική στήλη του διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, που μεταφέρουν ηλεκτρισμό, κυρίως από το σπουδαιότερο για την χώρα μας ενεργειακό κέντρο παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας. Στη περιοχή αυτή, παράγεται περίπου το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας που στη συνέχεια μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, που καταναλώνεται περίπου το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς διαθέτει επιπλέον γραμμές των 400 kV καθώς επίσης εναέριες, υπόγειες γραμμές και υποβρύχια καλώδια των 150 kV που συνδέουν την Άνδρο και τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας, Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς, καθώς και μία υποβρύχια διασύνδεση της Κέρκυρας με την Ηγουμενίτσα στα 66 kV.

Την 30ή Ιουνίου 2012 το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς αποτελείτο από 11.303 χλμ. γραμμών μεταφοράς, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

### ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ (χλμ. όδευσης)

	400kV	Σ.Ρ. (D.C.) 400kV	150 kV	66 kV	ΣΥΝΟΛΟ
<b>ΕΝΑΕΡΙΕΣ</b>	2.628	107	8.127	39	10.901
<b>ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ</b>		160	140	15	315
<b>ΥΠΟΓΕΙΕΣ</b>	4		82	1	87
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	2.632	267	8.349	55	11.303

Την 30ή Ιουνίου 2012 στους 291 Υποσταθμούς του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς ήταν εγκατεστημένοι 619 Μετασηματιστές με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 50.749 MVA.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό 1228/2003 (ο οποίος αντικαταστάθηκε από τον ΕΚ 714/2009) καθορίστηκαν οι όροι για εκχώρηση δικαιωμάτων πρόσβασης στις διεθνείς διασυνδέσεις της χώρας με διενέργεια πλειοδοτικών διαγωνισμών (δημοπρασιών). Οι πλειοδοτικοί διαγωνισμοί συμπληρώνονται από δευτερογενή αγορά μακροχρονίων δικαιωμάτων, η οποία επιτρέπει:

- α) την εμπορία εκχωρηθέντων δικαιωμάτων μεταξύ δικαιούχων συμμετοχής στους πλειοδοτικούς διαγωνισμούς και

β) την επιστροφή εκχωρηθέντων δικαιωμάτων σε περίπτωση μη χρήσης τους από τους κατόχους τους και την εκ νέου διάθεσή τους από τον ΔΕΣΜΗΕ σε επόμενους, βραχυχρόνιους, πλειοδοτικούς διαγωνισμούς.

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, με διαδοχικές αποφάσεις, ρύθμιζε το πλαίσιο συμμόρφωσης του ΑΔΜΗΕ)δίνοντας βαρύτητα όσον αφορά το ύψος της εκχωρούμενης ισχύος επί των διασυνδέσεων της χώρας για διεξαγωγή διασυνοριακού εμπορίου, αλλά και σε άλλες διατάξεις του Κανονισμού. Οι δημοπρασίες διακρίνονται σε τρία είδη :

- Ετήσιες , σε ισχύ από 1η Ιανουαρίου έως 31 Δεκεμβρίου ( Τις διεκπεραιώνει ο ΑΔΜΗΕ
- Μηνιαίες , σε ισχύ από την πρώτη ημέρα του μήνα έως την τελευταία (Τις διεκπεραιώνει ο Βούλγαρος ΑΔΜΗΕ- ESO)
- Καθημερινές , σε ισχύ από κάθε ώρα μέχρι το κλείσιμο της ημέρας (Τις διεκπεραιώνει ο ΑΔΜΗΕ)

## 2.20 Ανάλυση Διασυνοριακών Αγοραπωλησιών Ενέργειας. Παράδειγμα Βουλγαρίας

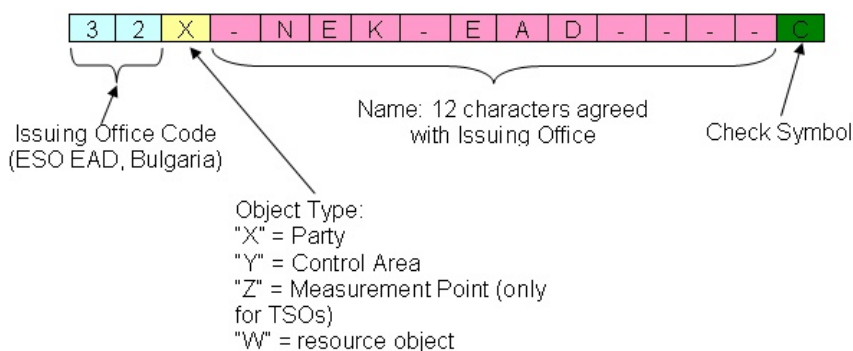
Η κάθε χώρα ανακοινώνει τα περιθώρια ισχύος για κάθε είδος δημοπρασίας στην αρχή του έτους, όπως και ανά περιόδους τα αποτελέσματα αυτών.

### 1. Βουλγαρία

Σχετικά με τις δημοπρασίες που λαμβάνουν χώρα με τη Βουλγαρία, αυτές διενεργούνται από τους δύο διαχειριστές :

1. Βουλγαρικός Διαχειριστής ESO (ELEKTROENERGIEN SISTEMEN OPERATOR) διενεργεί τις μηνιαίες δημοπρασίες και στις δύο κατευθύνσεις
2. ΑΔΜΗΕ (διενεργεί τις μηνιαίες και καθημερινές)

Κάθε Εταιρεία-Συμμετέχων, τόσο στην Ελληνική όσο και γενικότερα στην Ευρωπαϊκή Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας, θα πρέπει να έχει έναν κωδικό, τον Energy Identification Code (EIC), ο οποίος προσδιορίζει τον Συμμετέχοντα σε όλες τις συναλλαγές του. Ο ENTSO-E είναι ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός, στον οποίο συμμετέχουν οι Διαχειριστές των Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο ΑΔΜΗΕ είναι το εξουσιοδοτημένο, από τον ENTSO-E, γραφείο χορήγησης κωδικών στην Ελλάδα.



Σύμφωνα με πρόσφατες αποφάσεις της ΡΑΕ ισχύουν τα παρακάτω, όσον αφορά την διενέργεια δημοπρασιών στη διασύνδεση Ελλάδα-Βουλγαρίας :

- Υφίσταται ένα κοινά αποδεκτό κείμενο για τους Κανόνες Δημοπρασιών και τους Κανόνες χρήσης των δικαιωμάτων πρόσβασης στη διασύνδεση Ελλάδα-Βουλγαρίας και από τους δύο Διαχειριστές
- Ύπαρξη κοινών δημοπρασιών για το σύνολο της δημοπρατούμενης ικανότητας
- Καθορισμός καθηκόντων των Διαχειριστών ως εξής :

- ΔΕΣΜΗΕ: Ετήσιες και Ημερήσιες Δημοπρασίες εισαγωγών και εξαγωγών, καθώς επίσης και διαχείριση της Δευτερεύουσας Αγοράς για λογαριασμό και των δύο Διαχειριστών
- ESO: Μηνιαίες Δημοπρασίες εισαγωγών και εξαγωγών
  - Κοινός κανόνας λειτουργίας της Δευτερεύουσας Αγοράς
  - Κοινή διαδικασία εκκαθάρισης των εσόδων συμφόρησης
  - Επιμερισμός των εσόδων 50%-50% ανάμεσα στους Διαχειριστές
  - Εφαρμογή κοινής μεθόδου υπολογισμού της καθαρής ικανότητας μεταφοράς μεταξύ των δύο Συστημάτων

Παρακάτω ακολουθούν δύο παραδείγματα διενέργειας ετήσιας και ημερήσια δημοπρασίας.

<b>BULGARIA</b>	<b>Product Capacity (MW)</b>	<b>Price (€/MWh)</b>
<b>01/01/2013-31/12/2013</b>	<b>250</b>	<b>3,33</b>

*Ετήσια Δημοπρασία 2013*

<b>BULGARIA</b>		<b>31/12/2013</b>		<b>AVAILABLE CAPACITY</b>	<b>ALLOCATED CAPACITY</b>	<b>PRICE</b>
From (CET)	Hour	To (CET)	Hour	MW	MW	€/MWh
0:00		1:00		40	40	19,3

*Ημερήσια Δημοπρασία*

Οι δημοπρασίες διενεργούνται μέσω ειδικού ιστότοπου, για την πρόσβαση στον οποίο ο κάθε Συμμετέχων προμηθεύεται ειδικό κωδικό. Στον ιστότοπο αυτό, εκτός των άλλων, παρέχονται και οι παρακάτω πληροφορίες :

- Στοιχεία Συμμετέχοντα
- Κανόνες Δημοπρασιών
- Ανακοινώσεις
- Αποτελέσματα δημοπρασιών
- Προσφορές συμμετεχόντων
- Σχετικές πληροφορίες με τις δημοπρασίες

Για τη συμμετοχή στις δημοπρασίες ο εκάστοτε Συμμετέχων υποχρεούται να προσκομίσει εγγυητική επιστολή ισχύος έως 31/12/2014 και ύψους 50.000€, μία για εισαγωγές και μία για εξαγωγές. Σε κάθε περίπτωση και αναλόγως τον τύπο της δημοπρασίας που θέλει να συμμετάσχει υπάρχουν ειδικοί κανόνες, σύμφωνα με το πλαίσιο που έχει συμφωνηθεί και εφαρμόζεται από τους Διαχειριστές των δύο χωρών.

#### ➤ **Ειδικοί κανόνες μεταξύ Ελλάδας-Βουλγαρίας**

**CTR = Commercial Transmission Right of electricity, defined by a value expressed in whole MW over the interconnection in one direction.** Άρα αγοράζεις χωρητικότητα στο Δίκτυο είτε για εισαγωγή είτε για εξαγωγή.

Σε περιπτώσεις ανωτέρας βίας ή συντήρησης ή βλάβης οι Διαχειριστές έρχονται σε συνεννόηση και αποζημιών τους κατόχους των διακιωμάτων σε τιμή 100% της ονομαστικής και για όσες ώρες διαρκεί η μη διαθεσιμότητα του δικτύου. Περιορισμοί λόγω μη διαθεσιμότητας Δικτύου για λόγους ασφάλειας μπορεί να ισχύσουν μέχρι 35 ισοδύναμες ημέρες ή 840 ώρες.

➤ Προκειμένου να πάρεις μέρος στις δημοπρασίες πρέπει να τηρείς τα παρακάτω :

1. Να είσαι κάτοχος άδειας παραγωγή, ή/και εμπορίας, ή/και δημόσιας προμήθειας η οποία εκδίδεται από το εκάστοτε ΥΠΕΚΑ (Ισχύει και για τις δύο νομοθεσίες-ελληνική/βουλγάρικη)
2. Θα πρέπει να έχεις πιστοποιητικό good standing το οποίο θα εμπεριέχει όλες τις τελευταίες αλλαγές στο καταστατικό της εταιρείας, γενικά τα πλήρη στοιχεία της εταιρείας (μετόχους, δομή, κτλ) (Βουλγάρικη)
3. Να έχεις κωδικό EIC (και στις δύο)
4. Να είσαι δηλωμένος στην ελληνική/βουλγάρικη αγορά ενέργειας
5. Να έχεις συνάψει συμβόλαια (συμβάσεις) με τον ΛΑΓΗΕ και τον ΑΔΜΗΕ, ιδιαίτερα τη σύμβαση για πρόσβαση στο Δίκτυο και Μεταφορά και να έχεις εκπληρώσει όλες τις εγγυήσεις που προκύπτουν από τις συμβάσεις αυτές (και στις δύο)
6. Να μην είναι η εταιρεία υπό καθεστώς πτώχευσης (και στις δύο)
7. Να μην υπάρχουν οφειλές στον ΑΔΜΗΕ (και στις δύο)

Στο site των δημοπρασιών αναρτάται η λίστα όσων εταιρειών πληρούν τα παραπάνω κριτήρια και μπορούν να λάβουν μέρος στις δημοπρασίες. Υπάρχει δυνατότητα αντιρρήσεων ή ενστάσεων οι οποίες αποστέλλονται στον ΑΔΜΗΕ και αποφασίζει για τη στελέχωση της λίστας.

Άπαξ και συμπεριληφθείς στην λίστα των επιλέξιμων προσκομίζεις στον ΑΔΜΗΕ (ESO) τα ακόλουθα (registration procedure):

α) Statement of Acceptance (υπάρχει υπόδειγμα)

β) User's contact data (πολύ σημαντικό διότι κατά τη διάρκεια της δημοπρασίας αν υπάρξει πρόβλημα στο site τότε συμμετέχεις μέσω email, αλλιώς μέσω phone/fax . Σε κάθε περίπτωση ο Διαχειριστής κάνει ό,τι είναι δυνατό να γίνει η δημοπρασία με τρόπο από τους παραπάνω και πάντα αδιάβλητο και αμερόληπτο.

γ) Εγγυητική τραπέζης (το ποσό αναγράφεται στα προηγούμενα)

Τα παραπάνω αποστέλλονται μέσω ταχυδρομείου ή κατά περίπτωση mail. Χρειάζονται τουλάχιστον 5 εργάσιμες για να εξεταστεί ο φάκελος. Στη συνέχεια ειδοποιείται ο ενδιαφερόμενος αν εγκρίθηκε και αν όχι για τους λόγους απόρριψης

Υπάρχει και η διαδικασία του Deregistration αν θες να σταματήσεις να λαμβάνεις μέρος σε δημοπρασίες. Σε περίπτωση που στο μέλλον θες να κάνεις πάλι Registration επαναλαμβάνεις τη διαδικασία από την αρχή.

Επιπλέον δύναται κάποιος να αποβληθεί προσωρινά αν

- Δεν είναι συνεπής σε οικονομικές υποχρεώσεις
- Δεν πληροί βασικές προϋποθέσεις
- Institute or has instituted against it a proceeding seeking a judgment of insolvency or any other relief under insolvency law.

Γενικά ακολουθούνται περιορισμοί όταν είσαι προσωρινά αποβλημένος όπως να μην παίρνεις μέρος σε δημοπρασίες, να πληρώσεις τα ήδη κατοχυρωμένα δικαιώματα κτλ

### ➤ **Οριστικά Αποβολή**

Γενικά μπορεί να αποβληθείς οριστικά όταν για παράδειγμα χρεωκοπήσεις, παραβείς τους κανόνες δημοπρασιών κτλ

- Χαρακτηριστικά δημοπρασιών
- a) Προϊόντα διαθέσιμα :
  - i)Ετήσιο προϊόν : ετήσιο φορτίο βάσης, ή/και peak-load, ή/και off-peak load
  - ii)Μηνιαίο προϊόν : ετήσιο φορτίο βάσης, ή/και peak-load, ή/και off-peak load
  - iii) Καθημερινό προϊόν : ωριαία blocks
- b) Διαθέσιμη Ικανότητα Μεταφοράς (ATC)
  - i)Gate openings and closures
  - ii)Time frame for auction results publication
  - iii)Deadline to contest results
  - iv)Άλλα
- Ετήσιες δημοπρασίες :
  - Τα χαρακτηριστικά της ανακοινώνονται στο site του φορέα 5 ημέρες πριν την ημέρα διεξαγωγής.
  - Οι προσφορές υποβάλλονται ηλεκτρονικά
  - Είναι δεσμευτικές αλλά μπορούν να μεταβληθούν στέλνοντας νέα προσφορά εντός ορίων
  - Αν το σύστημα είναι εκτός τότε διεξάγεται η δημοπρασία μέσω mail ή phone/fax (αναφέρθηκε προηγουμένως)
  - Κάθε συμμετέχων ενημερώνεται για τα αποτελέσματα δύο ώρες μετά την ώρα κλεισίματος
  - Ο συμμετέχων πρέπει να μπορεί να πληρώσει την τιμή για τα δικαιώματα που του έχουν εκχωρηθεί και να πληροί όλες τις προϋποθέσεις όσον αφορά την τραπεζική στήριξη
- Μηνιαίες δημοπρασίες :
  - Ανοίγει η πύλη δύο εργάσιμες πριν
  - Ισχύουν τα προηγούμενα σε γενικές γραμμές απλά η ενημέρωση γίνεται εντός 3 ωρών
  - Τα δικαιώματα τα οποία δημοπρατούνται είναι :
    - i)Προβλεπόμενα μηνιαία
    - ii)The yearly Capacity already allocated by the relevant Auction Operator to be resold via the Secondary CTR market as monthly products
    - iii) The yearly Capacity already allocated by the relevant Auction Operator which had to be withdrawn from the CTR Holder
    - iii)Ετήσια δικαιώματα τα οποία δε διατέθηκαν στην ετήσια δημοπρασία
- Καθημερινές δημοπρασίες
  - Deadline for submitting the longterm nominations η 06.00 της D-1 (προηγούμενη ημέρα)
  - Τα δικαιώματα προς διάθεση ανακοινώνονται στην ιστοσελίδα στις 07.45
  - Η δημοπρασία διεξάγεται σε δύο φάσεις (περιγράφεται στο site του ΑΔΜΗΕ – εννοεί αυτό που είναι για δημοπρασίες και μπαίνεις με κωδικό)
    - i)07.45-08.15 υποβάλλονται οι encrypted bids
    - ii)08.15-08.20 silence period
    - iii)08.20-08.35 υποβάλλονται τα encryption key
  - Μέχρι τις 09.00 ενημερώνονται όλοι για τα αποτελέσματα
  - Τα δικαιώματα που διατίθενται καθημερινά είναι της λογικής use it or lose it.
- Χαρακτηριστικά προσφορών :
  - Όνομα του συμμετέχοντα (εταιρείας)
  - EIC code
  - Κωδικό της δημοπρασίας
  - Ημέρα/περίοδο διεξαγωγής δημοπρασίας
  - Αξία προσφοράς (μέχρι δύο δεκαδικά) και μεγαλύτερη από το 0

- Το ποσό της χωρητικότητας που θα δεσμευτεί χωρίς δεκαδικά. Το ελάχιστο ποσό είναι το 1MW
  - Οι προσφορές περιέχουν το μέγιστο ποσό που πληρώνει ο συμμετέχων. Για κάθε δημοπρασία μπορούν να υποβληθούν έως 10 προσφορές, ανεξάρτητες μεταξύ τους (από τον ίδιο)
  - Η συνολική αξία των προσφορών ενός χρήστη δε μπορεί να ξεπεράσει την τιμή του ATC (Available Transmission Capacity)
- Γενικά υπάρχει η σταθερά Iatc η οποία αντικατοπτρίζει τη διαθεσιμότητα του δικτύου. Αν το άθροισμα είναι μικρότερο ή ίσο της τιμής αυτής τότε η Auction Clearing Price είναι μηδέν και ο κάθε χρήστης θα λάβει τα ζητούμενα MW δωρεάν.
- Αν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη της σταθεράς αυτής τότε οι προσφορές με την μεγαλύτερη οικονομική τιμή, και ζητούμενα MW που δεν ξεπερνάνε την σταθερά αυτή, γίνονται δεκτές. Μετά αποδίδονται MW στην αμέσως επόμενη μεγαλύτερη προσφορά κ.ο.κ. Αν δύο χρήστες έχουν ίδια προσφορά για MW που ξεπερνάνε την ATC τότε τα MW που απομένουν μοιράζονται αναλογικά στα ζητούμενα blocks. Σε περίπτωση που πρέπει να μοιραστούν τα υπολειπόμενα δικαιώματα σε χρήστες με ίσες προσφορές και η μέθοδος της αναλογικής διάθεσης δεν επαρκεί τότε λαμβάνεται από τους διαχειριστές απόφαση με γνώμονα τη χρονική προτεραιότητα.
- Capacity is provided at the price of the last MW that is served, due to insufficient auctioned capacity (Auction Clearing Price), which is the marginal price on the congested interconnection. The auction Clearing Price shall be paid by all users that have been awarded capacity
- Deadline για να αμφισβητήσεις αποτελέσματα :
- 
- Ετήσιες & Μηνιαίες : 1 εργάσιμη μετά τη δημοσίευση των αποτελεσμάτων
  - Καθημερινές : μέχρι και 1 ώρα μετά το κλείσιμο της πύλης και την δημοσίευση των αποτελεσμάτων
- Αποστέλλεται με fax και γράμμα στον Αντιπρόσωπο της δημοπρασίας  
Ο Αντιπρόσωπος απαντάει εντός 1 εργάσιμης και 1 ώρας κατά περίπτωση

## **2.21 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΕΥΡΩΠΑΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ – ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ ΜΗ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) έχει αρκετές εκατοντάδες νησιά διαφόρων διαστάσεων και καθεστώτων. Υπάρχουν τέσσερις χώρες μέλη (Κύπρος, Δημοκρατία της Ιρλανδίας, Μάλτα, Ηνωμένο Βασίλειο) και επίσης περισσότερα από 286 νησιά στην Ευρώπη τα οποία κατοικούνται από περισσότερους από 10 εκατομμύρια ανθρώπους [Eurostat, 7/2/2014]. Τα νησιά της Ε.Ε. βρίσκονται σε τρεις μεγάλες γεωγραφικές περιοχές: στον Ατλαντικό, στον Βορρά και στη Μεσόγειο, η οποία αντιπροσωπεύει το 85% του νησιωτικού πληθυσμού. Τα 286 νησιά ανήκουν σε 11 χώρες μέλη της Ε.Ε. με 5 εξ αυτών να έχουν περισσότερο από το 75% των νησιών. Το ρυθμιστικό πλαίσιο διαφέρει ανάμεσα στα νησιά και εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ του αντίστοιχου κράτους μέλους και της Ε.Ε.

Ενώ τα νησιά κοντά στην ηπειρωτική Ευρώπη, όπως τα βρετανικά νησιά του Καναλιού (Channel Islands), είναι συχνά ήδη διασυνδεδεμένα, πιο απομακρυσμένα μέρη δεν μπορούσαν να ανταπεξέλθουν στα έξοδα σύνδεσης. Για παράδειγμα, τα περισσότερα νησιά του Αιγαίου δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας και άρα βασίζονται στη ρυπογόνο και ασύμφορη οικονομικά παραγωγή από ντίζελ για να καλύψουν την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μεγαλύτερα όμως από τα νησιά της Μεσογείου ενδιαφέρονται όλο και περισσότερο για τη διασύνδεση με την ηπειρωτική χώρα. Η ανάπτυξη υποθαλάσσιων καλωδίων AC ή DC υψηλής τάσης είναι αντικείμενο των σχεδιαστών ανάπτυξης του δικτύου. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η διασύνδεση Μάλτας-Σικελίας που είναι υπό κατασκευή.

## ▪ Περίπτωση 1 – Κύπρος

Η Κύπρος έχει περίπου 750.000 κατοίκους και ένα απομονωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς διασυνδέσεις. Δηλαδή, δεν υπάρχουν αγωγοί διασύνδεσης ηλεκτρισμού, πετρελαίου ή αερίου με άλλες χώρες και όλες οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται από την παραγωγή της ενδοχώρας.



Η Κύπρος είναι σχεδόν αποκλειστικά εξαρτώμενη από τα εισαγόμενα καύσιμα: ντίζελ και ΗFO, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για παραγωγή ενέργειας στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύση πετρελαίου, καθώς επίσης και LFO, LPG, καύσιμα ναυτιλίας, λιπαντικά, βενζίνη, κηροζίνη και καύσιμα αεροσκαφών. Το υπόλοιπο σύστημα ισορροπεί με εισαγωγές pet-coke και άνθρακα που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία τσιμέντου καθώς και από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με κύρια την ηλιακή. Οι μέσες τιμές πώλησης (προ φόρων) του πετρελαίου και της βενζίνης είναι συστηματικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές των 27 χωρών της Ε.Ε. όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Ο τομέας παραγωγής ενέργειας της Κύπρου έχει ως εξής:

- Η παραγωγή και παροχή ενέργειας έχουν απελευθερωθεί από την ένταξη της Κύπρου στην Ε.Ε. (Μάιος 2004).
- Από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2009 η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας έχει απελευθερωθεί για όλους τους μη οικιακούς πελάτες.

- Ανεξάρτητοι παραγωγοί ενέργειας (IPPs) πρέπει να αποκτήσουν την σχετική άδεια από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου (PAEK ή CERA) ώστε να τους επιτραπεί να παράγουν και να προμηθεύουν ηλεκτρική ενέργεια.
- Οι ανεξάρτητοι παραγωγοί μπορούν επίσης να συνδεθούν στο εθνικό σύστημα μεταφοράς κάνοντας αίτηση στον Διαχειριστή του Συστήματος Μεταφοράς (ΔΣΜ ή TSO - Transmission System Operator).
- Η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ ή EAC) είναι ο κύριος πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας για βιομηχανική και εμπορική χρήση (Η τιμμεντοπούα Βασιλικού παράγει μόνη της ηλεκτρική ενέργεια για τις ανάγκες της). Η ΑΗΚ είναι επίσης ο ιδιοκτήτης του εθνικού συστήματος μεταφοράς.

### **Διαχειριστές δικτύου και κυρίαρχοι παραγωγοί**

Η ιδιοκτησία του ΔΣΜ δεν έχει μέχρι τώρα διαχωριστεί (ownership unbundling). Η Κύπρος απαλλάσσεται από αυτήν την υποχρέωση εξαιτίας των δομικών της χαρακτηριστικών αφού είναι ένα μικρό και απομονωμένο σύστημα [PAEK, 2010]. Με την είσοδό της στην Ε.Ε. και συνεπώς την υιοθέτηση του κοινοτικού κεκτημένου, η Κύπρος καθιέρωσε το 2004 έναν ανεξάρτητο ΔΣΜ [PAEK, 2010]. Το δίκτυο μεταφοράς και διανομής ανήκει στην ΑΗΚ αλλά ο ΔΣΜ λειτουργεί ανεξάρτητα από την άποψη της οργάνωσης και λήψης αποφάσεων από την ΑΗΚ και από τις δραστηριότητες παραγωγής, διανομής και προμήθειας, προκειμένου να διασφαλιστεί σε τρίτους η πρόσβαση στο δίκτυο μεταφοράς και η ίση μεταχείριση όλων των δεικτών του εν λόγω δικτύου [PAEK, 2010]. Η ΑΗΚ, ως ιδιοκτήτης του συστήματος διανομής, έχει επίσης οριστεί ως ο Διαχειριστής του Συστήματος Διανομής (ΔΣΔ ή DSO – Distribution System Operator). Αν και δεν μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητος οργανισμός όπως ο κυπριακός ΔΣΜ, έχει τις ίδιες αρμοδιότητες όσον αφορά το σύστημα διανομής.

### **Σύνδεση στο δίκτυο**

Για τη σύνδεση στο δίκτυο ακολουθείται μια διαδικασία που διατυπώθηκε στο νόμο περί ρύθμισης της αγοράς ηλεκτρισμού (LREM) και στους κανόνες για τη μεταφορά και διανομή (Transmission and Distribution Rules TDR 2.0). Ο ΔΣΜ είναι υποχρεωμένος να διατυπώσει μια προσφορά σύνδεσης σε κάθε παραγωγό που αιτείται σύνδεσης στο δίκτυο.

### **Σχετικές νομικές πηγές**

Η διαδικασία για τη σύνδεση ενός σταθμού ηλεκτρικής ενέργειας ανανεώσιμων πηγών (RES-e plant) στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής ρυθμίζεται κυρίως από τους κανόνες μεταφοράς και διανομής [TDR 2.0].

Άλλες σχετικές πηγές είναι ο νόμος ρύθμισης της αγοράς ηλεκτρισμού (LREM No.122(1)/2003) και τα ετησίως εκδοθέντα σχέδια υποστήριξης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική, ηλιακή ενέργεια και βιομάζα, γνωστά ως SSRES 2009-2013 και SSRES 2011 για την έκδοση του 2011, που περιλαμβάνουν προβλέψεις σχετικά με τη σύνδεση στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής.

### **Ρυθμιστικό πλαίσιο για την ανάπτυξη του δικτύου**

Όπως αναφέρθηκε, η ΑΗΚ είναι ταυτόχρονα ο ιδιοκτήτης τόσο του δικτύου μεταφοράς, όσο και του δικτύου διανομής της Κύπρου. Ο ρυθμιστικός νόμος LREM αναφέρει πως η ΑΗΚ είναι υπεύθυνη για την κατασκευή και συντήρηση ενός αποδοτικού, ασφαλούς, αξιόπιστου και οικονομικά βιώσιμου δικτύου μεταφοράς (άρθρο 45) και διανομής (άρθρο 50) αντίστοιχα.

Σε σχέση με το δίκτυο μεταφοράς, η ΑΗΚ ως ιδιοκτήτης είναι επίσης υπεύθυνη για τις απαραίτητες εργασίες για την ανάπτυξη του δικτύου μεταφοράς (άρθρο 46 παρ. α) με τη βοήθεια του κυπριακού ΔΣΜ, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία και ανάπτυξη ενός αποδοτικού, ασφαλούς, αξιόπιστου και οικονομικά βιώσιμου δικτύου μεταφοράς (άρθρο 61, παρ. 1α). Αυτό οφείλεται όπως αναφέρθηκε στο γεγονός πως μέχρι τώρα δεν έχει διαχωριστεί η ιδιοκτησία του ΔΣΜ (ownership unbundling) λόγω των ειδικών χαρακτηριστικών της Κύπρου.

Η συνεργασία μεταξύ του διαχειριστή και του ιδιοκτήτη του συστήματος μεταφοράς γίνεται μέσω



του «δεκαετούς πλάνου ανάπτυξης δικτύου» του δικτύου μεταφοράς. Ο κυπριακός ΔΣΜ συντάσσει ένα «δεκαετές πλάνο ανάπτυξης δικτύου» το οποίο αναθεωρείται κάθε χρόνο και λαμβάνει υπόψη τις νέες αιτήσεις για σύνδεση με το δίκτυο και τις απαραίτητες εργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν (άρθρο 62 LREM). Το πλάνο υποβάλλεται τελικά στην ΡΑΕΚ που το εγκρίνει (άρθρο 62 παρ. 4). Η τριάδα ΔΣΜ-ΡΑΕΚ-ΑΗΚ συμμετέχει στη σύνθεση αυτού του πλάνου το οποίο υποβάλλεται σε δημόσια διαβούλευση. Όσον αφορά το δίκτυο διανομής, η ΑΗΚ ως ιδιοκτήτης και διαχειριστής του συστήματος διανομής συντάσσει ένα πενταετές πλάνο, το οποίο περιλαμβάνει όλες τις πιθανές εργασίες ανάπτυξης του δικτύου με βάση τα υπάρχοντα masterplans.

### Κύριοι παίκτες στην κυπριακή αγορά ενέργειας

Η Υπηρεσία Ενέργειας ανήκει στο Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού

- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου (ΡΑΕΚ, CERA): υπεύθυνη για τη ρύθμιση και την επίβλεψη της κυπριακής αγοράς ενέργειας
- Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ, EAC): δημόσια επιχείρηση που αυτή τη στιγμή κυριαρχεί στην κυπριακή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Της ανήκουν τα περουσικά στοιχεία μεταφοράς και διανομής, ενώ παραμένει ο μόνος ενεργός προμηθευτής.
- Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς (ΔΣΜ, TSO): υπεύθυνος για τη λειτουργία του εθνικού συστήματος μεταφοράς και την αντικειμενική διαχείριση της εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι ο εξουσιοδοτημένος φορέας για την έκδοση εγγυήσεων προέλευσης.

### Σταθμοί παραγωγής ενέργειας

Αυτή τη στιγμή η ΑΗΚ λειτουργεί τρεις σταθμούς παραγωγής ενέργειας με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 1118MW.

<b>Vasilikos Power Station</b>	3 x 130 MW Steam Turbine Units	390MW
	1 x 38 MW Gas Turbine Unit	38MW
<b>Dhekelia Power Station</b>	6 x 60 MW Steam Turbine Units	360MW
<b>Moni Power Station</b>	6 x 30 MW Steam Turbine Units	180MW
	4 x 37.5 MW Gas Turbine Units	150MW
<b>Total Installed Power</b>		1118MW

## Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ ή RES)

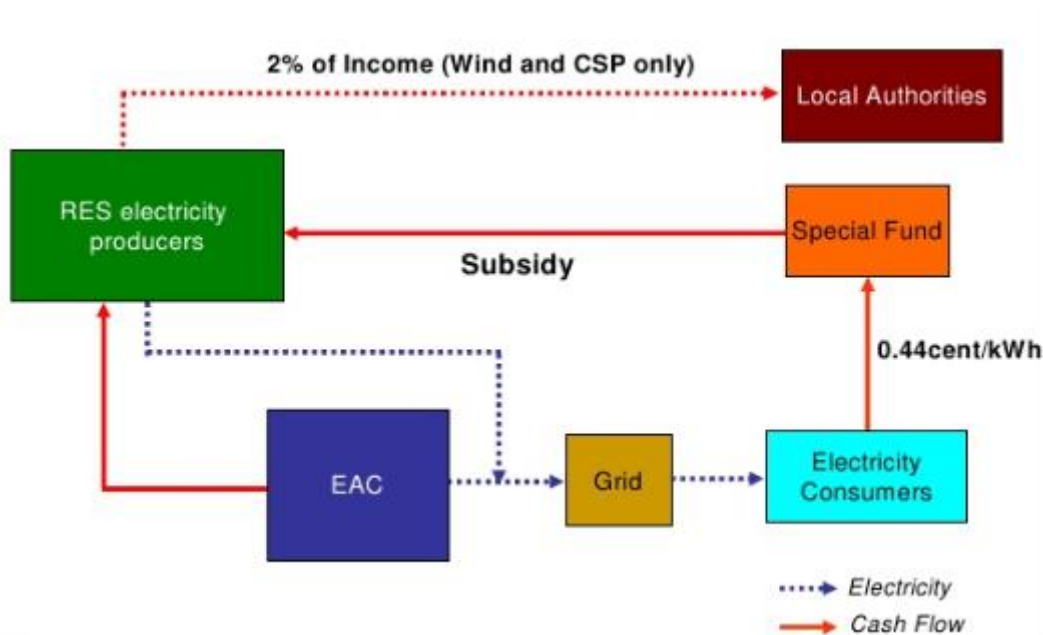
### Νομικό-Χρηματοδοτικό πλαίσιο για ΑΠΕ

- Το νομικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ τέθηκε σε ισχύ το 2003: τα έσοδα αυτού του κεφαλαίου προέρχονται από τους καταναλωτές που πληρώνουν έναν επιπλέον φόρο 0,44 ευρώλεπτά/kWh.
- Οι διαδικασίες για την αδειοδότηση και διασύνδεση αιολικών και φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων στο εθνικό δίκτυο έχουν καθοριστεί.

### Κύριες κατηγορίες ΑΠΕ

- Ηλιακά θερμικά συστήματα (θέρμανση/ψύξη και θέρμανση νερού)
- Φωτοβολταϊκά συστήματα (αυτόνομα ή συνδεδεμένα στο δίκτυο)
- Αιολικά συστήματα (παραγωγής ηλεκτρισμού και άντλησης νερού)
- Συγκεντρωμένοι ηλιακοί σταθμοί-CSP (παραγωγή ηλεκτρισμού)
- Αξιοποίηση βιομάζας και βιοαερίου (θέρμανση/ψύξη και παραγωγή ηλεκτρισμού)
- Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (θέρμανση/ψύξη)
- Μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα (παραγωγή ηλεκτρισμού)
- Αφαλάτωση με χρήση ΑΠΕ

### Χρηματοδοτικά εργαλεία για την υποστήριξη ΑΠΕ στον ηλεκτρισμό



### Αιτήσεις στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου (ΡΑΕΚ)

Η ΡΑΕΚ έχει δεχτεί τις ακόλουθες αιτήσεις για ΑΠΕ:

Αιολικά: περισσότερα από 1000MW

CSP: 270MW

Φωτοβολταϊκά ισχύος άνω των 20KW: 22MW

Υδροηλεκτρικά: 330MW

Βιομάζα: 11,35MW

Εξάλειψη των εμποδίων της διοίκησης

Η Υπηρεσία Ενέργειας του Υπουργείου Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού έχει αναλάβει το ρόλο ενός «καταστήματος μιας στάσης» (one stop shop) ώστε να επισπεύδει τις διαδικασίες και να διευκολύνει την πραγματοποίηση επενδύσεων για την προώθηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας.

### **Σχεδιασμός της αγοράς**

Εξαιτίας της έλλειψης ανταγωνισμού στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, σύμφωνα με τη ΡΑΕΚ δεν προβλέπεται να λειτουργήσει αγορά χονδρικής στο προσεχές μέλλον. Ωστόσο, οι κανόνες συναλλαγών και εκκαθάρισης-Trading and Settlement Rules (κανόνες αγοράς) έχουν καθιερωθεί και ρυθμίζουν τον τρόπο με τον οποίο οι συμμετέχοντες μπορούν να εμπορεύονται ηλεκτρική ενέργεια [ΡΑΕΚ 2010]. Η Κύπρος που είναι νησί δεν έχει διασυνοριακές συνδέσεις με άλλες χώρες και λειτουργεί σαν ένα μικρό απομονωμένο σύστημα. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει ούτε σύνδεση φυσικού αερίου στο νησί παρά το σχέδιο της κυβέρνησης αν χρησιμοποιήσει το φυσικό αέριο ως το κύριο καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο μέλλον. Σύμφωνα με τη ΡΑΕΚ, η απουσία φυσικού αερίου είναι το κύριο κώλυμα στην ανάπτυξη και ολοκλήρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Κύπρος έχει θεσπίσει έναν μοναδικό ΔΣΜ ο οποίος είναι μη διαχωρισμένος νομικά και διοικητικά από τον ιδιοκτήτη του συστήματος που είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ΔΣΜ πρέπει να διασφαλίζει την διαθεσιμότητα των πόρων παραγωγής και των βοηθητικών υπηρεσιών σε καθημερινή βάση και να συντονίζει τις ενέργειες που χρειάζονται για την επισκευή και εκκαθάριση σφαλμάτων κατά την παραγωγή [ΡΑΕΚ 2010].

Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Κύπρο βασίζεται ακόμα στις διμερείς συμφωνίες. Σύμφωνα με τους κανόνες της αγοράς, ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να κοινοποιεί τις προβλέψεις παραγωγής για την επόμενη ημέρα στον ΔΣΜ, καθημερινά στις 20:00. Η παραγωγή που ανακοινώνεται στον ΔΣΜ από τους συμβατικούς παραγωγούς πρέπει να έχει διακύμανση  $\pm 10\%$  από τη ζήτηση των πελατών τους. Οι προβλέψεις των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ πρέπει να έχουν ακρίβεια  $\pm 20\%$  [TSO Cyprus 2006]. Όλες οι ανισορροπίες διευθετούνται μέσω του μηχανισμού εξισορρόπησης, ο οποίος αποτελείται από τον ΔΣΜ και την ΑΗΚ [ΡΑΕΚ 2010].

### **Κλείσιμο πύλης (gate closure)**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι παραγωγοί είναι υποχρεωμένοι να ενημερώνουν τον ΔΣΜ στις 20:00 για την προγραμματισμένη παραγωγή τους σε όλες τις περιόδους διακανονισμού της επόμενης ημέρας. Σύμφωνα με τους κανόνες συναλλαγών και εκκαθάρισης, μετά το κλείσιμο της πύλης καμιά αλλαγή στις προσφορές δεν μπορεί να υποβληθεί. Η κάθε μέρα για την αγορά περιλαμβάνει 24 ώρες και αρχίζει τα μεσάνυχτα [TSO Cyprus 2009a]. Στους κανόνες συναλλαγών και εκκαθάρισης, κεφάλαιο 16 για τις επιπλέον προβλέψεις για τους σταθμούς παραγωγής με χρήση ΑΠΕ, η ώρα κλεισίματος πύλης που έχει αναφερθεί ισχύει μόνο για παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ με εγκατεστημένη ισχύ έως 5MW [TSO Cyprus 2011b]. Οι παραγωγοί ΑΠΕ με καταχωρημένη ισχύ παραγωγής άνω των 5MW πρέπει να υποβάλλουν τον προγραμματισμό παραγωγής στον ΔΣΜ σύμφωνα με το πρόγραμμα ανακηρύξεων που υπάρχει στους κανόνες συναλλαγών και εκκαθάρισης. Δεν υπάρχουν ιδιαίτεροι χρόνοι για αιολικούς ή άλλους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας με ΑΠΕ. Οι ανακηρύξεις που υποβάλλονται παίρνουν προτεραιότητα πάντα εκτός αν οι περιορισμοί του συστήματος απαιτούν κάτι διαφορετικό [TSO Cyprus 2009b].

### **Ενδοημερήσια αγορά (intraday market)**

Δεν υπάρχει ενδοημερήσια αγορά στην Κύπρο.

### **Αγορά εξισορρόπησης (balancing market)**

Μαζί με την αγορά χονδρικής θεσπίστηκε και η αγορά εξισορρόπησης. Λόγω της απουσίας άλλων συμμετεχόντων στην αγορά εκτός από την ΑΗΚ, ο ΔΣΜ μπορεί να αγοράσει ή να πουλήσει ενέργεια εξισορρόπησης μόνο από αυτή. Επομένως, σε περιπτώσεις εξισορρόπησης στην Κύπρο ο

κανόνες είναι οι διμερείς συμφωνίες [TSO Cyprus 2011a]. Προς το παρόν, οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ δεν συμμετέχουν στο μηχανισμό εξισορρόπησης [TSO Cyprus 2011b].

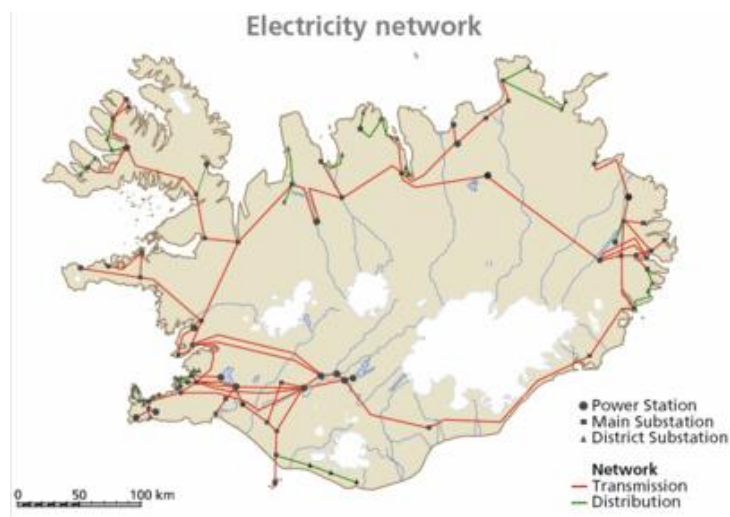
Οι κανόνες συναλλαγών και εκκαθάρισης παρέχουν όλες τις πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία της αγοράς εξισορρόπησης. Η διευθέτηση των ανισορροπιών γίνεται σε μηνιαία βάση. Η διάρκεια της περιόδου διευθέτησης είναι 30 λεπτά. Η ελάχιστη δυναμικότητα παραγωγής για συμμετοχή στην αγορά εξισορρόπησης είναι 50MW [TSO 2009a, PAEK 2010].

## Μελλοντική διασύνδεση

Στις αρχές του 2012, η ΑΗΚ υπέγραψε μνημόνιο συνεργασίας με μια τοπική επιχείρηση ώστε να πραγματοποιήσει την κατασκευή υποθαλάσσιας σύνδεσης με το Ισραήλ και την Ελλάδα μέσω της Κρήτης. Η σύνδεση είναι δυνατόν να έχει ολοκληρωθεί ως το 2016, ενώνοντας το νησί με την Ευρωπαϊκή και την Ισραηλίτικη ηπειρωτική χώρα. Η σύνδεση μήκους περίπου 1000χλμ εκτιμάται ότι θα κοστίσει 1,5 δις ευρώ.

## 2.22 Περίπτωση 2 –Ισλανδία

Σύμφωνα με την Πράξη ηλεκτρικής ενέργειας (Electricity Act 2003), οι Διαχειριστές των συστημάτων μεταφοράς και διανομής έχουν αποκλειστικά δικαιώματα όσον αφορά την μεταφορά και τη διανομή αντίστοιχα. Ο διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς (TSO) της Ισλανδίας είναι η Landsnet hf. που έχει στην ιδιοκτησία της και λειτουργεί ολόκληρο το σύστημα μεταφοράς, το οποίο αποτελείται από γραμμές από 33kV έως 220kV.



Η Landsnet είναι ο ισλανδικός Διαχειριστής Μεταφοράς (TSO), που είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξη του συστήματος μεταφοράς με οικονομικό τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη την ασφάλεια, την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία της παροχής και την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας. Η Landsnet βρίσκεται στο επίκεντρο ολόκληρου του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Ισλανδίας, λειτουργώντας το εθνικό δίκτυο και διευθύνοντας τις λειτουργίες του συστήματος. Η εταιρεία έχει στην κατοχή της και διευθύνει όλες τις κύριες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τους κύριους υποσταθμούς στην Ισλανδία.

Η Landsnet κατέχει το αποκλειστικό δικαίωμα να κατασκευάσει νέες εγκαταστάσεις μεταφοράς. Η εταιρεία είναι επίσης υπεύθυνη για την ασφαλή διαχείριση του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και διασφαλίζει την ασφάλεια και ποιότητα της παράδοσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύμφωνα με την Πράξη ηλεκτρικής ενέργειας η Landsnet (Icegrid), μια ιδιωτική εταιρεία, ιδρύθηκε για να παρέχει τις υπηρεσίες της μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εταιρεία ξεκίνησε να λειτουργεί στις αρχές του 2005 και είναι υπεύθυνη για τις υπηρεσίες μεταφοράς και διανομής του προκατόχου της, της Landsvirkjun που είναι και ο μεγαλύτερός της μέτοχος (64,73%). Στους ιδιοκτήτες της Landsnet περιλαμβάνονται επίσης η Icelandic State Electricity (22,51%), η

Reykjavik Energy (6.78%) και η Westfjord Power Company (5.98%). Οι προαναφερθείσες εταιρείες παρείχαν τις γραμμές μεταφοράς τους και τον εξοπλισμό τους στην Landsnet ως ίδια κεφάλαια. Η εταιρεία μεταφοράς μπορεί να λειτουργήσει και μια αγορά ενέργειας εάν τηρεί χωριστούς λογαριασμούς.

Η Orkustofnun είναι υπεύθυνη για την επίβλεψη των εταιρειών μεταφοράς και διανομής και αναμένεται να θεσπίσει ένα ανώτατο όριο εισοδήματος (income cap) για τα τιμολόγια τους. Η Πράξη διευκρινίζει τι μπορεί να συμπεριληφθεί στα έξοδα λειτουργίας και η Orkustofnun θα θεσπίσει ένα ανώτατο όριο σε σχέση με αυτά, ζητώντας ταυτόχρονα αυξημένο εξορθολογισμό και αποδοτικότητα για το κόστος.

### **Υποδομές δικτύου**

Το 75% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ισλανδία προέρχεται από υδροηλεκτρικά, καθιστώντας τα την κύρια πηγή καθαρής ενέργειας της χώρας. Υπάρχουν 72 υποσταθμοί (δομές και εξοπλισμός που χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια από και προς το σύστημα μεταφοράς) και 77 σημεία παροχής. Η ροή ισχύος αναπαρίσταται πάντα σε πραγματικό χρόνο (real time) στην ιστοσελίδα του TSO της Ισλανδίας. Το μεγαλύτερο μέρος των υποδομών του δικτύου μεταφοράς λειτουργεί με τάση μεταξύ 30kV και 220kV. Η τάση λειτουργίας αυτών των καλωδίων έχει αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες σύμφωνα με τις αυξανόμενες ανάγκες μεταφοράς και την τεχνολογική πρόοδο στον σχεδιασμό καλωδίων. Για παράδειγμα, οι κύριες γραμμές μεταφοράς των υποσταθμών της Reykjavik Energy είναι υπόγεια καλώδια 132kV.

Το τμήμα διαχείρισης του δικτύου της Landsnet βρίσκεται στο κέντρο ελέγχου στο Ρέικιαβικ (Reykjavik) και διαχειρίζεται ένα εκτεταμένο δίκτυο ελέγχου για το ηλεκτρικό σύστημα ολόκληρης της χώρας. Το κέντρο ελέγχου συλλέγει ένα ευρύ φάσμα δεδομένων για τη λειτουργία και την κατάσταση του ηλεκτρικού συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή. Το κέντρο ελέγχου βρίσκεται σε επιφυλακή 24 ώρες την ημέρα, όλο το χρόνο, για να διασφαλίζει πως η ασφάλεια λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος πληρεί τα υψηλότερα πρότυπα (standars).

### **Εξισορρόπηση της αγοράς ενέργειας**

Η παραγόμενη ενέργεια ρέει συνεχώς στο δίκτυο μεταφοράς και δεν μπορεί να αποθηκευτεί. Πρέπει λοιπόν να καταναλωθεί με το που παράγεται. Άρα, πρέπει να διασφαλιστεί μια ισορροπία ανάμεσα στην παραγωγή και την κατανάλωση, δηλαδή η παραγωγή ενέργειας πρέπει να είναι ίση με την κατανάλωση σε κάθε χρονική στιγμή.

Ένας από τους κύριους ρόλους της ισλανδικής Landsnet είναι να διευθύνει τις λειτουργίες του συστήματος, στις οποίες περιλαμβάνεται η διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ της παραγωγής ενέργειας και της ζήτησης. Η εταιρεία πρέπει να είναι σε θέση να καλύπτει τις αποκλίσεις από τις προγραμματισμένες ποσότητες γρήγορα, ζητώντας από τις εταιρείες παραγωγής να αυξήσουν ή να μειώσουν την παραγωγή τους ανάλογα με την κατανάλωση.

Αυτό γίνεται με τη λειτουργία μιας αγοράς εξισορρόπησης ενέργειας και έχοντας διαθέσιμη στους πελάτες ενέργεια εξισορρόπησης ώστε να διορθώνονται οι ανισοροπίες ανάμεσα στην παραγωγή και την κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο. Για το σκοπό αυτό, η Landsnet διαχειρίζεται μια ρυθμιστική αγορά ενέργειας για την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει η εταιρεία, ώστε να ισορροπήσει την ανισότητα ανάμεσα στην προβλεπόμενη και την πραγματική κατανάλωση ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα.

Οι εταιρείες παραγωγής και οι πάροχοι πρέπει να προετοιμάσουν έναν λεπτομερή προγραμματισμό για τις συναλλαγές τους από την προηγούμενη ημέρα, δηλώνοντας ότι το ποσό της ενέργειας που υπολογίζουν να παράξουν ή να αγοράσουν την επόμενη μέρα θα ισούται με αυτό που προορίζεται για πώληση στους καταναλωτές ή άλλες εταιρείες παραγωγής. Οι παραγωγοί πρέπει επίσης να υποβάλλουν προσφορές στην ρυθμιστική αγορά ενέργειας, είτε για ρύθμιση προς τα επάνω (up-regulation) σε περίπτωση αυξημένης παραγωγής, είτε για ρύθμιση προς τα κάτω (down-regulation) σε περίπτωση μειωμένης παραγωγής. Οι πάροχοι πρέπει επίσης να υποβάλλουν προσφορές εκ μέρους των καταναλωτών για ρύθμιση προς τα επάνω ή κάτω. Οι προσφορές ισχύουν για τουλάχιστον μια ώρα, αλλά η πραγματική ζήτηση φαίνεται σε πραγματικό χρόνο. Οι προσφορές γίνονται αποδεκτές με σειρά προτεραιότητας.

Το σύστημα εξισορρόπησης της Ισλανδίας μοιάζει με παρόμοια συστήματα σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Οι προσφορές για ρύθμιση προς τα επάνω καθορίζουν μια τιμή με την οποία θα πληρώσει η Landsnet τον αιτούντα, ενώ οι προσφορές για ρύθμιση προς τα κάτω δηλώνουν την τιμή με την οποία θα πληρώσει αυτός που υπέβαλλε την προσφορά στην Landsnet. Για ρύθμιση προς τα επάνω επιλέγεται

πρώτη η χαμηλότερη προσφορά, ακολουθούμενη από τη δεύτερη χαμηλότερη κ.ο.κ. Το αντίθετο εφαρμόζεται στην ρύθμιση προς τα κάτω. Η τιμή της τελευταίας αποδεκτής προσφοράς ορίζεται ως η τιμή εξισορρόπησης ενέργειας. Με αυτή την τιμή διευθετούνται όλες οι ανισοροπίες κατά τη διάρκεια της εν λόγω μιας ώρας.

## 2.23 Περίπτωση 3 – Κανάρια νησιά-Ελ Ιέρρο (Canary islands-El Hierro)

### Κανάρια νησιά

Σε μερικά νησιά έχει γίνει πλήρης μετάβαση ή επίκειται σύντομα:

- Aruba (αιολική)
- Cap Verde (αιολική, PV)
- El Hierro (αιολική, αντλούμενη υδροηλεκτρική)
- Fiji (υδροηλεκτρική, PV, μπαταρίες)
- Iceland (γεωθερμική, υδροηλεκτρική)
- Tokelau (ηλιακή, μπαταρίες)
- Tonga (PV, αιολική, κυματική)

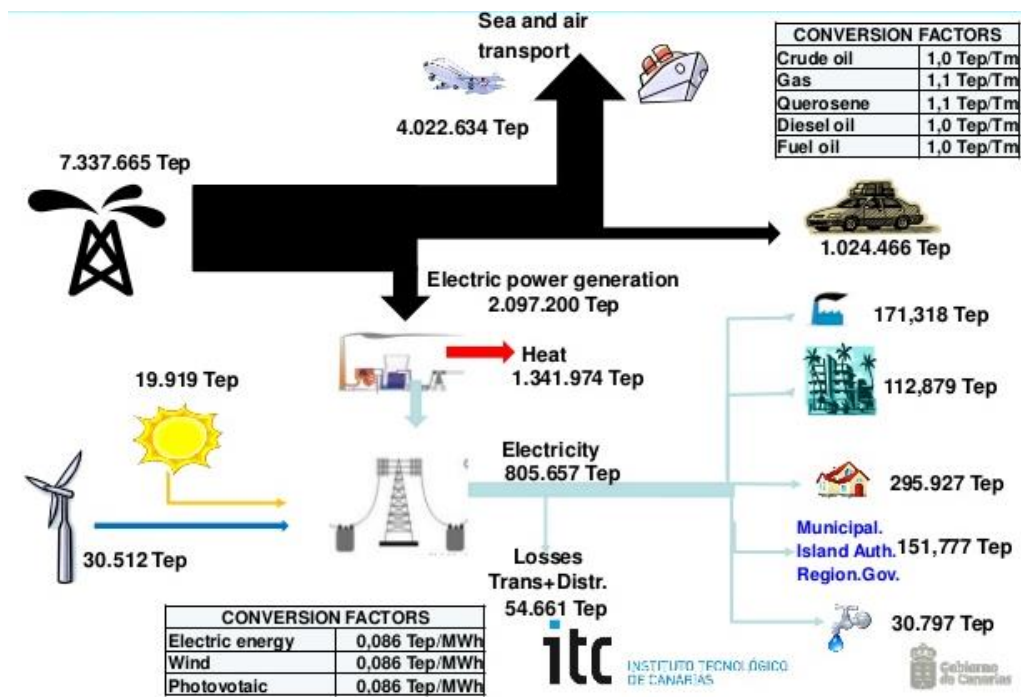
Η μετάβαση είναι πιο εύκολη για τα μεγαλύτερα νησιά (που ίσως έχουν υδροηλεκτρικά) και τα ηφαιστιογενή (που μπορούν να αναπτύξουν αντλούμενη υδροηλεκτρική και γεωθερμική). Τα κοραλλιογενή έχουν συνήθως λιγότερες δυνατότητες για βασικό φορτίο.

Τα Κανάρια νησιά είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του πώς μια απομονωμένη ομάδα νησιών μπορεί να χρησιμοποιήσει ανανεώσιμη ενέργεια και φυσικό αέριο για να ισχυροποιήσει την παροχή ενέργειας μειώνοντας παράλληλα το κόστος και την εξάρτηση από το πετρέλαιο.

Τα Κανάρια νησιά είναι μια ομάδα επτά μικρών νησιών συνολικής έκτασης 7.500km<sup>2</sup> και πληθυσμού 2 εκατομμυρίων. Επιπλέον, περίπου 12 εκατομμύρια τουρίστες επισκέπτονται τα νησιά κάθε χρόνο. Ενεργειακά, τα Κανάρια είναι εντελώς αυτόνομα. Πριν το 2006, τα νησιά ήταν πλήρως εξαρτημένα από εισαγόμενα καύσιμα, κυρίως πετρέλαιο. Τα ηλεκτρικά δίκτυα των νησιών ήταν σε μεγάλο βαθμό μη συνδεδεμένα και η ηλεκτρική ενέργεια παραγόταν από ποικίλους σχετικά μικρούς σταθμούς παραγωγής. Εξαιτίας της αυξανόμενης ζήτησης ενέργειας και ανησυχιών σχετικά με την ασφάλεια της παροχής, ένας ενεργειακός σχεδιασμός αναπτύχθηκε για τα Κανάρια νησιά (PECAN 2006). Οι αρχές του σχεδιασμού είναι:

- η διασφάλιση της παροχής ενέργειας
- η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των περιβαλλοντικών της επιπτώσεων
- η προώθηση της ανανεώσιμης ενέργειας

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται το ισοζύγιο ενέργειας στα Κανάρια νησιά για το 2011.



Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ και την παραγόμενη ενέργεια.



	Ισχύς (MW)	Ενέργεια (GWh)
LA PALMA	116.4	273.52
LA GOMERA	23.2	74.06
TENERIFE	1,333	3,715
EL HIERRO	13.1	44.87
GRAN CANARIA	1,251.7	3,707
LANZAROTE	229.1	874.7
FUERTEVENTURA	210.8	677.97

Στα Κανάρια δεν υπάρχει αγορά για τους παραγωγούς:

- πολύ στενά περιθώρια για ανταγωνισμό μεταξύ συμβατικών παραγωγών
- η εκκαθάριση πραγματοποιείται από τον διαχειριστή συστήματος (REE) σύμφωνα με τα μεταβλητά κόστη κάθε παραγωγού, διασφαλίζοντας την ασφάλεια παροχής, βελτιστοποιώντας τα έξοδα εκμετάλλευσης και μεγιστοποιώντας την ενσωμάτωση τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας.

Σταδιακή διάλυση της καθετοποιημένης δομής παροχής ενέργειας:

- η REE είναι ο Διαχειριστής του Συστήματος Μεταφοράς (TSO)

## 2.24 Περίπτωση 3 - Ελ Ιέρρο-El Hierro

Η νήσος Ελ Ιέρρο (El Hierro) είναι η δυτικότερη και νοτιότερη των Καναρίων με έκταση 278km<sup>2</sup> και πληθυσμό 10.892 κατοίκων μοιρασμένο σε μικρές πόλεις. Για αυτό το λόγο έχει αντιμετωπίσει δυσκολίες στην παροχή, κάτι σύννηθες για έναν περιορισμένο και απομονωμένο χώρο. Στις 27 Νοεμβρίου 1997, το σχέδιο βιωσιμότητας του El Hierro εγκρίθηκε και η τοπική κυβέρνηση (El Hierro Cabildo) είχε την ιδέα να καταστήσει το νησί ενεργειακά αυτοσυντηρούμενο. Αυτό υποστηρίχθηκε από ένα σχέδιο που αναπτύχθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή με τίτλο “ White Paper for a Community Strategy and Action Plan”.

Ένα υδρο-αιολικό ενεργειακό σύστημα σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε που μπορεί να καλύψει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του El Hierro, κάνοντας το νησί μια περιοχή ηλεκτρικά αυτοτροφοδοτούμενη μόνο από ανανεώσιμη ενέργεια. Αυτό επετεύχθη μέσω ενός αιολικού πάρκου, μιας μονάδας άντλησης και μιας υδροηλεκτρικής μονάδας.

Το αιολικό πάρκο παρέχει ενέργεια απευθείας στο δίκτυο και ταυτόχρονα τροφοδοτεί την μονάδα άντλησης που φέρνει το νερό σε μια υψηλότερη δεξαμενή, δρώντας ως ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο χρησιμοποιεί την ενέργεια που έχει ενδεχομένως αποθηκευτεί, διασφαλίζοντας την παροχή ενέργειας και τη σταθερότητα του ηλεκτρικού δικτύου.

Ο υδρο-αιολικός σταθμός του El Hierro ανήκει στην Gorona del Viento, μια δημόσια επιχείρηση που ανήκει στην Cabildo Insular del Hierro κατά 60%, στην κυβέρνηση των Καναρίων μέσω του Τεχνολογικού Ινστιτούτου των Καναρίων νήσων (Technological Institute of the Canary Islands-ITC) κατά 10% και στην εταιρεία Endesa, που είναι ο ενεργειακός πάροχος του νησιού.

### Αγορά Ηλεκτρικής Ηνέργειας

Η μονάδα ντιζελ είναι ιδιοκτησία και διευθύνεται από την UNELCO II, που επίσης ελέγχει το δίκτυο. Η Unión Eléctrica de Canarias (UNELCO) ήταν μια τοπική δημόσια επιχείρηση που ιδρύθηκε αρχικά για να χειρίζεται την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στα Κανάρια νησιά. Μετά τη διαδικασία απελευθέρωσης, η UNELCO έγινε μια ιδιωτική εταιρεία που ανήκει 100% στην ισπανική πολυεθνική Energía de España SA (ENDESA) και σχηματίστηκαν δύο θυγατρικές: η UNELCO II για τις δραστηριότητες παραγωγής ενέργειας και η UNELCO I για τις δραστηριότητες διανομής.

Το αιολικό πάρκο διευθύνεται από την ENDESA Cogeneración y Renovables, μια άλλη θυγατρική της πολυεθνικής ENDESA. Συνεπώς, η λανθασμένη εντύπωση μιας κατάστασης ανταγωνισμού στην αγορά αποκρύπτει μια συγκεντρωμένη σε μεγάλο βαθμό διαδικασία λήψης αποφάσεων στα πλαίσια μιας εταιρείας, της ENDESA.

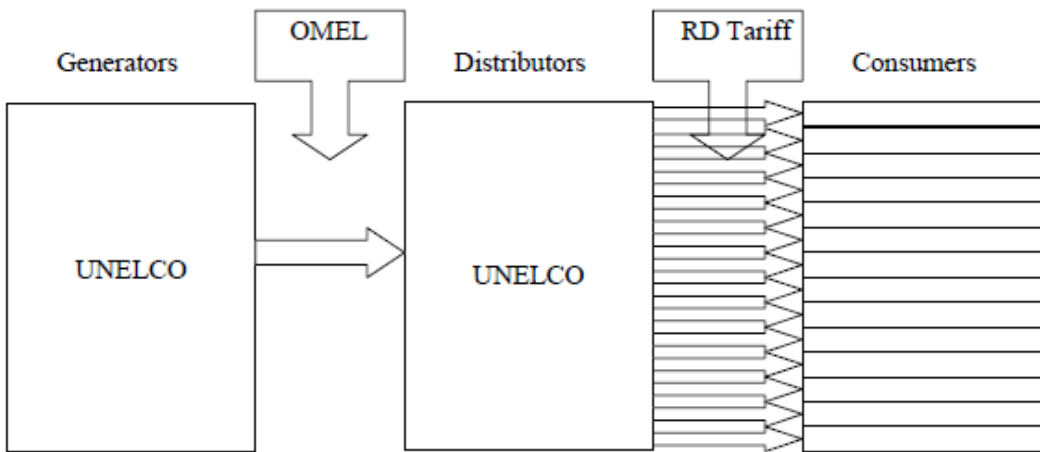
Παρατηρώντας την ισπανική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν δυο διαφορετικά καθεστώτα:

- αυτό που ελέγχει την ανοικτή αγορά παραγωγής ενέργειας
- το λεγόμενο ειδικό καθεστώς, που είναι ένα συγκεκριμένο πλαίσιο που εισήχθη για να προωθήσει τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας

Οι επιπτώσεις στην αγορά ενέργειας του νησιού διαφέρουν για κάθε καθεστώς. Γενικά, οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά παραγωγής καθορίζονται σε εθνικό επίπεδο από τον διαχειριστή της ισπανικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, την Compañía Operadora del Mercado Español de Electricidad (OMEL). Η OMEL ταιριάζει την αναμενόμενη ζήτηση για μια συγκεκριμένη περίοδο με την παραγωγή την οποία οι διάφοροι παραγωγοί προσφέρουν λαμβάνοντας υπόψιν τα ατομικά τους κόστη παραγωγής. [OMEL, 2004].



Το επόμενο διάγραμμα παρουσιάζει την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας του El Hierro.



## Τιμολόγηση

Η τιμή στην οποία ο διανομέας αποκτά την ηλεκτρική ενέργεια, όπως και η τιμή που πληρώνει ο τελικός καταναλωτής, καθορίζονται σε ετήσια βάση με Βασιλικό Διάταγμα. Η διατίμηση λειτουργεί, όσον αφορά τη σχέση μεταξύ διανομέα και τελικού καταναλωτή, ως η μέγιστη τιμή για ηλεκτρική ενέργεια. Λαμβάνει υπόψη τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας της αγοράς παραγωγής της προηγούμενης χρονιάς, οι οποίες πρέπει να αντικατοπτρίζουν το μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διατίμηση ποικίλει ανάλογα με τον τελικό καταναλωτή, την απαιτούμενη ενέργεια, το επίπεδο της κατανάλωσης κλπ. αλλά είναι μοναδική για κάθε κατηγορία για ολόκληρη την Ισπανία. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στο συνταγματικό δικαίωμα της μη διάκρισης, το οποίο εξασφαλίζει τις ίδιες συνθήκες πρόσβασης στην ηλεκτρική ενέργεια.

Η εσωτερική πολιτική της UNELCO περιορίζεται στο να ελαχιστοποιεί τα κόστη παραγωγής λαμβάνοντας υπόψη την συνάρτηση παραγωγής κάθε νησιού, η οποία εξαρτάται από τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και τις τεχνολογίες παραγωγής που υπάρχουν σε κάθε νησί.

Η αγορά διανομής, όπως αναφέρθηκε, ελέγχεται από ένα σύστημα διατιμήσεων. Καθώς αυτά τα μικρά και απομονωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας δεν επωφελούνται από την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας στην ηπειρωτική χώρα, οι διανομείς και οι καταναλωτές αυτών των συστημάτων δεν χρειάζεται να επιβαρυνθούν με μια επιπλέον χρέωση που συνδέεται με την σταδιακή κατάργηση της πυρηνικής ενέργειας. Οι διανομείς σε αυτά τα συστήματα εξαιρούνται επίσης από το να πληρώνουν το τίμημα που τους αναλογεί στην ηπειρωτική αποζημίωση (Compensación Extrapeninsular).

Λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη τον μειωμένο Φ.Π.Α. στα Κανάρια, ο λογαριασμός ρεύματος του τελικού καταναλωτή είναι σχετικά μικρότερος στα νησιά από ότι σε ηπειρωτικό επίπεδο. Αυτό το μικρό όφελος έχει αναγνωριστεί σύμφωνα με την αρχή της μη διάκρισης και ίσης μεταχείρισης που αναφέρθηκε προηγουμένως καθώς λαμβάνονται υπόψη άλλα υπάρχοντα κόστη για τον νησιωτικό πληθυσμό.

## Ρυθμιστικό πλαίσιο – Βασικό νομικό πλαίσιο

Η αγορά ενέργειας διέπεται από:

- Νόμος 54/1997 για τον ενεργειακό τομέα της Ισπανίας
- Βασιλικό Διάταγμα (Royal Decree) 1747/2003
- Εντολή (Order) ITC/913/2006, ρύθμιση και μεθοδολογία διακανονισμών μεταβλητού κόστους
- Εντολή ITC/914/2006, ρύθμιση και μεθοδολογία πληρωμής χωρητικότητας
- Προεδρικό διάταγμα 661/2007, ρύθμιση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ

Ο διαχειριστής συστήματος του ισπανικού δικτύου, η Red Eléctrica de España (REE) καθορίζει την σειρά προτίμησης σε ωριαία βάση στο κανονικό καθεστώς σύμφωνα με το φθίνον μεταβλητό κόστος. Η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ, όπως και στην ηπειρωτική Ισπανία, προηγείται στη σειρά προτίμησης εάν

οι τεχνικές συνθήκες την καθιστούν εφικτή. Οι παραγωγοί αποστέλλουν τον εβδομαδιαίο προγραμματισμό τους (Σάββατο-Παρασκευή) εκ των προτέρων στον διαχειριστή (REE).

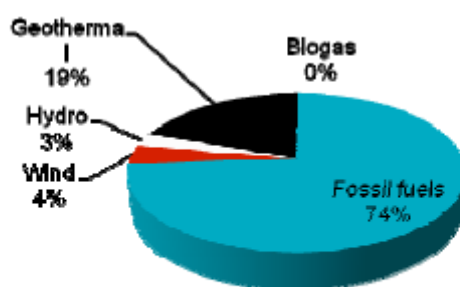
## 2.24 Περίπτωση 4 – νήσος Φλόρες (Αζόρες, Πορτογαλία)/Flores island (Azores, Portugal)

### Αζόρες

Το νησιωτικό σύμπλεγμα των Αζόρων στον Ατλαντικό Ωκεανό, περίπου δύο ώρες πτήσης και 1500km από την Λισαβόνα, είναι μια αυτόνομη περιοχή της δημοκρατίας της Πορτογαλίας από το 1976. Τα εννέα του νησιά χωρίζονται σε τρεις ομάδες: την ανατολική με τα Sao Miguel και Santa Maria, την κεντρική με τα Terceira, Graciosa, Sao Jorge, Pico και Faial και τη δυτική με τα Flores και Corvo. Από ανατολικά μέχρι δυτικά το σύμπλεγμα εκτείνεται 600km και σχηματίζει μια αποκλειστική οικονομική ζώνη περίπου 1,1 εκατομμυρίων τετραγωνικών χιλιομέτρων. Οι Αζόρες χωρίζονται σε 19 δήμους που με τη σειρά τους χωρίζονται σε 156 κοινότητες. Περίπου 250 χιλιάδες κάτοικοι ζουν στα νησιά αυτά. Η Προεδρία της αυτόνομης κυβέρνησης έχει έδρα στην Ponta Delgada (στο Sao Miguel) με το Ανώτατο Δικαστήριο στην Angra do Heroisma (Terceira) και τη Νομοθετική Συνέλευση στην Horta (Faial). Η Ponta Delgada είναι η μεγαλύτερη πόλη με περίπου 55.000 κατοίκους.

### Ενεργειακοί στόχοι για τις Αζόρες

Η παραγωγή ενέργειας στις Αζόρες το 2009 φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Island	Wind	Hydro	Geothermal
Santa Maria	0,66		
São Miguel	9,00		13,00
Terceira			12,00
Graciosa	0,66		
São Jorge	0,99	0,98	
Pico	0,66		
Faial	0,99		
Flores		2,64	

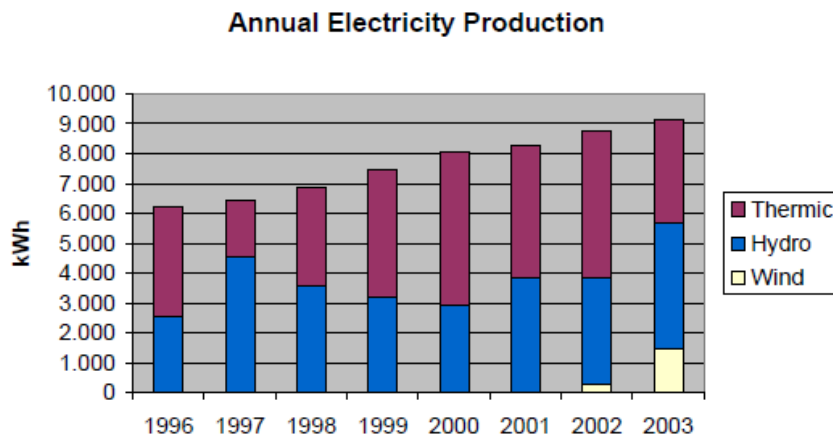
MW

Η ενεργειακή στρατηγική για το 2018 είναι: 75% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες και 40% της πρωτογενούς ενέργειας από ανανεώσιμες.

## Φλόρες-Flores

Το Flores είναι το πιο απομακρυσμένο νησί των Αζόρων από την ηπειρωτική χώρα της Πορτογαλίας καθώς, μαζί με το Corvo, είναι απομονωμένα επίσης και από την κύρια ομάδα νησιών. Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του Flores βασίζεται σε τρεις πηγές ενέργειας: το νερό, τον αέρα και τα ορυκτά καύσιμα, πετυχαίνοντας ήδη 59% διείσδυση ανανεώσιμης ενέργειας από το 2003. Η υδροηλεκτρική μονάδα αποτελείται από 4 υδροηλεκτρικά σύνολα συνδεδεμένα στο ίδιο φράγμα: 4 τουρμπίνες Francis, τρεις των 370kW και μία των 640kW.

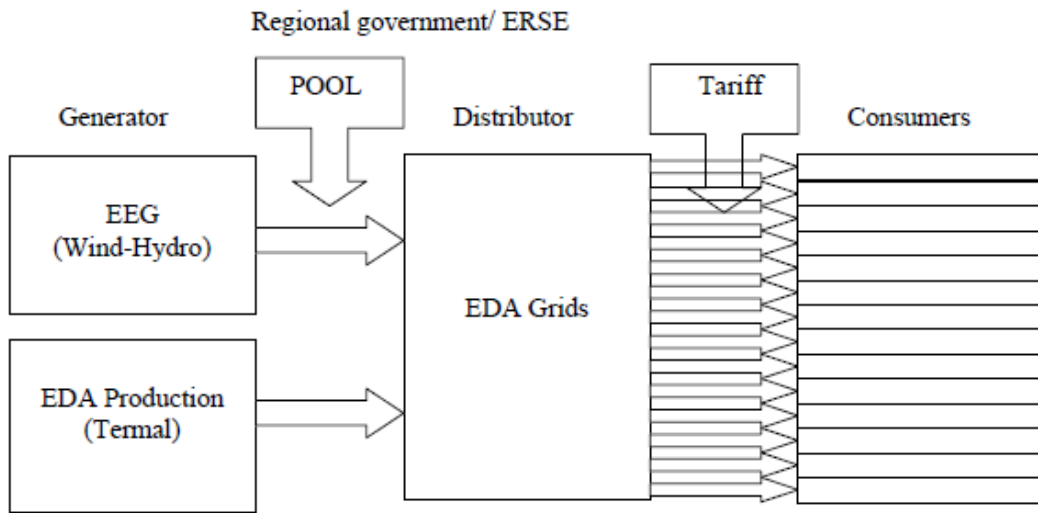
Το επόμενο διάγραμμα δείχνει πώς εξελίχθηκε η συνεισφορά των διαφόρων συστημάτων παραγωγής ενέργειας την περίοδο από το 1996 έως το 2003. Καθώς το αιολικό πάρκο άρχισε την παραγωγή στα τέλη του 2002, η αύξηση της αιολικής παραγωγής το 2003 δεν οφείλεται σε αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος αλλά στον υπολογισμό ολόκληρης της ετήσιας παραγωγής.



## Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Δύο παραγωγοί παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια στο Flores. Η Electricidade dos Açores S.A. (EDA) ελέγχει το θερμικό σταθμό παραγωγής. Καθώς η Utility Empresa de Electricidade e Gaz (EEG) ελέγχεται 100% από την EDA, οι δράσεις τους είναι αλληλένδετες. Όλη η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται από την EDA, η οποία ελέγχει το σύστημα διανομής. Επομένως το σύνολο της παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας διευθύνεται από τον όμιλο της EDA. Η EEG, όπως και οι άλλες εταιρείες που ανήκουν σε αυτόν τον όμιλο, είναι απόρροια της ένταξης της Πορτογαλίας στην Ε.Ε. και των νέων κανόνων που θεσπίστηκαν στην πορτογαλική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας για την προσαρμογή στις απαιτήσεις της Ε.Ε.

Η αγορά ενέργειας του νησιού Flores δίνεται στο επόμενο διάγραμμα.



## Τιμολόγηση

Η Πορτογαλία δεν εγγυάται ενιαία τιμή ενέργειας σε όλες τις περιοχές της. Ως αποτέλεσμα το επιπλέον κόστος παραγωγής επιβαρύνει παραδοσιακά τους παραγωγούς και καταναλωτές των νησιών μέσα σε κάθε απομονωμένο σύστημα [Ludlow et. al., 2000].

Η EDA αποζημιώνεται κάθε μήνα για τη διαφορά ανάμεσα στο ετήσιο κόστος παραγωγής κάθε νησιού και στην χρέωση που καθορίζεται από την ρυθμιστική αρχή ενέργειας της Πορτογαλίας (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos ή ERSE-Energy Services Regulating Entity of Portugal) με την έγκριση της τοπικής κυβέρνησης των Αζόρων. Η αποζημίωση αναθεωρείται κάθε τρεις μήνες και καλύπτεται μέσω της χρέωσης (tariff) γενικής χρήσης του συστήματος.

Όσον αφορά την παραγωγή από ΑΠΕ στην ηπειρωτική χώρα, η παραγωγή ακριβαίνει ανάλογα με τη χρησιμοποίηση των ΑΠΕ. Ο τελικός καταναλωτής χρεώνεται για αυτή την πολιτική στην τελική τιμή της κιλοβατώρας (kWh), κυρίως επειδή η παραγωγή από ΑΠΕ είναι πιο ακριβή σε σχέση με τα παραδοσιακά καύσιμα ή τον άνθρακα και ειδικά όταν η τιμή του πετρελαίου είναι χαμηλή.

Το επιπλέον κόστος υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψιν:

- έναν σταθερό όρο βασισμένο στο κόστος που αποφεύγεται τελικά για νέες επενδύσεις στην παραγωγή και διαθεσιμότητα των σταθμών παραγωγής
- έναν μεταβλητό όρο βασισμένο στα καύσιμα και τις επενδύσεις στο δίκτυο που αποφεύγονται τελικά
- έναν περιβαλλοντικό όρο βασισμένο στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που τελικώς αποφεύγεται
- έναν τεχνολογικό όρο βασισμένο στο κόστος παραγωγής και/ή τις ώρες λειτουργίας των διαφόρων ΑΠΕ
- έναν συντελεστή απωλειών του δικτύου βασισμένο στο κόστος των συστημάτων μεταφοράς και διανομής που αποφεύγεται

## Κεφάλαιο 3

### Θεωρία Παιγνίων – Εφαρμογή Nash

#### 3.1 Γενικές Έννοιες

Η θεωρία παιγνίων έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών. Η προσαρμοστικότητα και η πληθώρα επιλογών που δίνει έχει βοηθήσει και στην ανάπτυξη πολλών διαφορετικών παραλλαγών και μοντέλων. Το βασικότερο μοντέλο και θεμελίδης λίθος της θεωρίας παιγνίων αποτελεί το Σημείο Ισοροπίας Nash το οποίο αναπτύχθηκε από τον ομόνυμο μαθηματικό.

Ο **Τζων Φορμπς Νας** (John Forbes Nash Jr.) (γεν. 1928)

είναι Αμερικανός μαθηματικός και οικονομολόγος. Τιμήθηκε το 1994 με το Νόμπελ Οικονομικών, μαζί με τους Ρ. Ζέλτεν και Τζ. Χαρσάννι για τη συμβολή του στη θεωρία παιγνίων. Συγκεκριμένα, δημιούργησε την έννοια της ισοροπίας για παιχνίδια μη-μηδενικού αθροίσματος, ισοροπία που πήρε το όνομά του ως ισοροπία Νας.

Η έννοια της ισοροπίας κατά Νας είναι σημαντική και έχει ευρύτατες εφαρμογές σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως στις οικονομικές επιστήμες, στην Πληροφορική, την Τεχνητή Νοημοσύνη, την πολιτική αλλά και σε φυσικά συστήματα, όπως η Βιολογία.

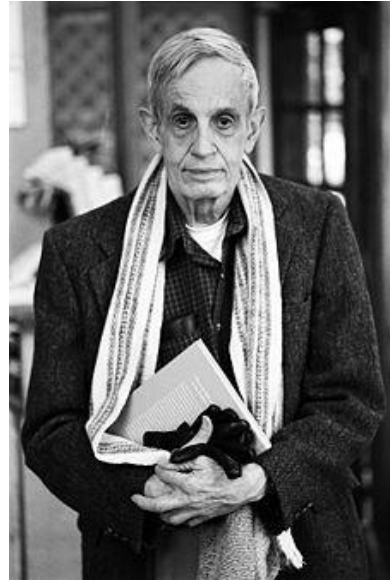


Photo: John Nash

Ο Nash υπέφερε από σχιζοφρένεια από τα 29 του, την οποία ξεπέρασε μετά από τριάντα χρόνια. Τεράστια επιτυχία γνώρισε ταινία η οποία γυρίστηκε προς τιμήν του περιγράφοντας τη ζωή του και τα επιτεύγματα του με πρωταγωνιστή τον Αυστραλό ηθοποιό Ράσελ Κρούουλ.

Σε μια ισοροπία κατα Nash μεταξύ των παικτών δεν υπάρχει κανενός είδους συνεργασία και οι δύο παίκτες λειτουργούν αυτόνομα και ανεξάρτητα.

**Σημείο ισοροπίας είναι το ζεύγος των αποφάσεων εκείνων μετά τις οποίες οι δύο παίκτες δεν έχουν κανένα κίνητρο για να αλλάξουν μονομερώς απόφαση.** [ref 2]

Συγκεκριμένα ένα ζεύγος στρατηγικών (σειρά  $i^*$ , στήλη  $j^*$ ) αποτελεί σημείο **pure Nash** ισοροπίας μη συνεργαζόμενων παιχτών σε ένα bimatrix παιχνίδι  $A = (a_{ij}), B = (b_{ij})$  όταν για οποιοδήποτε συνδυασμό στρατηγικών ισχύει:

$$a_{i^*j^*} \leq a_{ij^*} \text{ και } b_{i^*j^*} \leq b_{i^*j} \quad (3.1)$$

όπου το ζεύγος  $(a_{i^*j^*}, b_{i^*j^*})$  αποτελεί την έξοδο της μη συνεργαζόμενης Nash ισοροπίας (**Nash equilibrium outcome**). Η pure Nash Solution είναι πιθανό να μην υπάρχει ενώ η mixed Nash υπάρχει πάντα.

Μια μέθοδος επίλυσης bimatrix παιχνιδιού για mixed Nash solutions είναι ο μετασχηματισμός του σε ένα μη γραμμικό (**nonlinear**) πρόβλημα προγραμματισμού. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν ποικίλα εργαλεία μαθηματικής επίλυσης. Συμπερασματικά μπορούμε να αντιστοιχίσουμε την επίλυση μεταξύ ενός bimatrix game και μιας συγκεκριμένης τάξης μη γραμμικών προβλημάτων προγραμματισμού με γραμμικούς περιορισμούς.

**✚ Μια στρατηγική Nash ονομάζεται επιτρεπτή όταν δεν υπάρχει άλλο προτιμότερο ζεύγος Nash επιλογών.**

Ένα ζεύγος τιμών  $(y^*, z^*)$  συνιστά μια mixed-strategy Nash equilibrium λύση σε ένα bimatrix game  $(A, B)$  αν και μόνο αν υπάρχει ένα ζεύγος τιμών  $(p^*, q^*)$  τέτοιο ώστε η τετράδα τιμών  $(y^*, z^*, p^*, q^*)$  συνιστά λύση του εξής bilinear programming problem:

$$\triangleright \min_{y, z, p, q} [y'Az + y'Bz + p + q] \quad (3.2)$$

με τον περιορισμό:

$$Az \geq -pl_m, \quad B'y \geq -ql_n \\ y \geq 0, z \geq 0, \quad y'l_m = 1, \quad z'l_n = 1$$

### 3.2 Open-Loop and Feedback Nash and Saddle-Point Equilibria for Dynamic Games

Έστω ότι έχουμε ένα παιχνίδι  $N$  παικτών, διακριτού χρόνου, προκαθορισμένου χρόνου ( $K$  χρονικά επίπεδα), δυναμικού χαρακτήρα που έχει την εξής εξίσωση κατάστασης [ref 2]:

$$x_{k+1} = f_k(x_k, u_k^1, \dots, u_k^N), k \in K, x_k \in X = R^n \quad (3.3)$$

ενώ η αρχική τιμή  $x_1$  είναι γνωστή.

Στη συνέχεια ορίζονται τα controls  $U_k^i \subseteq R^{m_j}$  ενώ ορίζονται και η εξίσωση κόστους η οποία εξαρτάται από τα διακριτά χρονικά επίπεδα (αθροιστικά).

$$L^i(u^1, \dots, u^N) = \sum_{k=1}^K g_k^i(x_{k+1}, u_k^1, \dots, u_k^N, x_k), \forall i \in N \quad (3.4)$$

Θα εξετάσουμε την επίλυση των nonzero game για **closed loop solution** (*memoryless perfect state*).

Θεωρώντας  $\Gamma_i^k (k \in K, i \in N)$  την κατάλληλη στρατηγική για κάθε χρονική βαθμίδα, και ένα σετ στρατηγικών  $\{\gamma^{i*} \in \Gamma^i, i \in N\}$  αποτελεί ένα Nash σημείο ισορροπίας αν και μόνο αν ικανοποιούνται [ref 2]:

$$J^{1*} \triangleq J^1(\gamma^{1*}; \gamma^{2*}; \dots; \gamma^{N*}) \leq J^1(\gamma^1; \gamma^{2*}; \dots; \gamma^{N*}) \quad (3.5)$$

$$J^{2*} \triangleq J^2(\gamma^{1*}; \gamma^{2*}; \dots; \gamma^{N*}) \leq J^2(\gamma^{1*}; \gamma^2; \dots; \gamma^{N*})$$

....

....

$$J^{N*} \triangleq J^N(\gamma^{N*}; \dots; \gamma^{N-1*}; \gamma^{N*}) \leq J^N(\gamma^{1*}; \dots; \gamma^{N-1*}; \gamma^N)$$

### 3.3 Open-loop Nash equilibria για Linear Quadratic Games

Θεωρώ δυναμικό παιχνίδι N – παικτών διακριτού πεπερασμένου χρόνου τετραγωνικού κόστους με:

$$\triangleright f_k(x_k, u_k^1, \dots, u_k^N) = A_k x_k + \sum_{i \in N} b_k^i u_k^i + c_k \quad (3.6)$$

$$\triangleright g_k^i(x_{k+1}, u_k^1, \dots, u_k^N, x_k) = \frac{1}{2} (x_{k+1}' Q_{k+1}^i x_{k+1} + \sum_{j \in N} u_k^{j'} R_k^{ij} u_k^j) \quad (3.7)$$

όπου οι πίνακες  $A_k, B_k, Q_{k+1}^i, R_k^{ij}$  είναι κατάλληλων διαστάσεων, ο  $Q_{k+1}^i$  είναι συμμετρικός, ο  $R_k^{ij} > 0$ ,  $k \in K, i \in N$  ενώ ο  $c_k \in R^n$  είναι μια προκαθορισμένη αλληλουχία διανυσμάτων.

Ένα τέτοιο παιχνίδι τότε είναι γραμμικής τετραγωνικής μορφής (linear – quadratic type).

Στο **open-loop game** οι παίκτες έχουν γνώση μόνο του χρόνου  $\tau$  και της αρχικής κατάστασης (initial state  $x_0$ ) και όχι τη τιμή της κατάστασης (state).

Αντίθετα το **closed-loop game** ο παίκτης έχει γνώση της τιμής της κατάστασης (state).

Ένα βασικό θεώρημα είναι το εξής:

- ✓ Θεωρώ δυναμικό τετραγωνικό παιχνίδι N – παικτών ενώ θεωρώ πίνακες κατάλληλων διαστάσεων  $\Lambda_k, M_{k+1}^i$  που ορίζονται ως εξής:

$$\Lambda_k = I + \sum_{i \in N} B_k^i [R_k^{ii}]^{-1} B_k^{i'} M_{k+1}^i \quad (3.8)$$

$$M_k^i = Q_k^i + A_k' M_{k+1}^i \Lambda_k^{-1} A_k \quad (3.9)$$

$$M_{K+1}^i = Q_{K+1}^i \quad (3.10)$$

Σε περίπτωση που οι πίνακες  $\Lambda_k$  ορίζονται αναδρομικά και είναι αντιστρέψιμοι το game έχει μια μοναδική open-loop Nash ισορροπίας λύση η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma_k^{i*}(x_1) \equiv u_k^{i*} = -[R_k^{ii}]^{-1} B_k^i [M_{k+1}^i \Lambda_k^{-1} A_k x_k^* + \xi_k^i] \quad (3.11)$$

όπου η αναδρομική σχέση για το  $x_{k+1}^*$  ορίζεται :

$$x_{k+1}^* = \Lambda_k^{-1} [A_k x_k^* + \eta_k], \quad x_k^* = x_1 \text{ ενώ τα } \xi_k^i, \eta_k \text{ ορίζονται ως εξής:}$$

$$\xi_k^i = M_{k+1}^i \Lambda_k^{-1} \eta_k + m_{k+1}^i \text{ και } \eta_k = c_k - \sum_{i \in N} B_k^i [R_k^{ii}]^{-1} B_k^{i'} m_{k+1}^i \quad (3.12)$$

όπου ο αναδρομικός τύπος για το  $m_k^i$ :

$$m_k^i = A_k' [m_{k+1}^i + M_{k+1}^i \Lambda_k^{-1} \eta_k], \quad m_{K+1}^i = 0, \quad i \in N, k \in K \quad (3.13)$$

### 3.4 Closed-loop Nash equilibria για Linear Quadratic Games

Σε ένα δυναμικό παιχνίδι N παικτών με K στάδια διακριτού χρόνου χωρίς μνήμη (memoryless perfect state information pattern) έστω  $J^i$  είναι η συνάρτηση κόστους των παικτών  $P_i$ . Σε memoryless perfect state information pattern κάθε feedback Nash equilibrium λύση N-παικτών διακριτού χρόνου σε πεπερασμένο δυναμικό παιχνίδι είναι closed-loop no-memory Nash equilibrium λύση αλλά δεν ισχύει το αντίστροφο.

Στο **closed-loop game** ο παίκτης έχει γνώση της τιμής της κατάστασης (state).

Σε ένα linear quadratic πρόβλημα είναι εφικτό να υφίστανται και μη γραμμικές λύσεις.

### 3.5 Επίλυση Δυναμικού Παιχνιδιού Διακριτού Χρόνου - Nash

Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι σε ένα δυναμικό παιχνίδι διακριτού χρόνου είναι πιθανόν να υπάρχουν περισσότερα από ένα σημεία ισορροπίας Nash. Θα προχωρήσουμε στην μελέτη ενός παραδείγματος τριών παικτών σε ένα linear – quadratic παιχνίδι 2 χρονικών επιπέδων. [ref 5]

Οι εξισώσεις κατάστασης είναι οι εξής:

$$x_3 = x_2 + u^1 + u^2, \quad x_2 = x_1 + u^3 \quad (3.14)$$

Οι συναρτήσεις κόστους:

$$L^1 = (x_3)^2 + (u^1)^2 \quad (3.15)$$

$$L^2 = -L^3 = -(x_3)^2 + 2(u^2)^2 - (u^3)^2 \quad (3.16)$$

όπου  $u^i$  είναι το control των παικτών  $P_i = 1,2,3$

Έστω  $\{\gamma^1 \in \Gamma^1, \gamma^2 \in \Gamma^2, \gamma^3 \in \Gamma^3\}$  οι πιθανές λύσεις μη σεναραγαζόμενου Nash σημείου ισορροπίας του συγκεκριμένου non-zero-sum δυναμικού παιχνιδιού. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί όλες οι  $L^i$  να είναι κυρτές στα  $u^i$  ( $i=1,2$ ).

Ικανές και αναγκαίες συνθήκες ώστε οι  $\gamma^1$  και οι  $\gamma^2$  να είναι σε ισορροπία (με δεδομένη τιμή της  $\gamma^3$ ) προκύπτουν από την διαφορίση των  $L^i$ ,  $i = 1,2$  ως προς  $u^i$ ,  $i = 1,2$  οδηγώντας στο εξής σύστημα:

$$x'_2(\gamma^3) + 2\gamma^1(x'_2, x_1) + \gamma^2(x'_2, x_1) = 0 \quad (3.17)$$

$$-x'_2(\gamma^3) - \gamma^1(x'_2, x_1) + \gamma^2(x'_2, x_1) = 0 \quad (3.18)$$

όπου  $x'_2 \triangleq x'_2(\gamma^3) = x_1 + \gamma^3(x_1)$

Επιλύοντας για τα  $\gamma^1(x'_2, x_1)$  και  $\gamma^2(x'_2, x_1)$  προκύπτουν οι εξής τιμές [ref 2]:

$$\gamma^1(x'_2, x_1) = -\frac{2}{3}x'_2$$

$$\gamma^2(x'_2, x_1) = -\frac{1}{3}x'_2$$

που αποτελούν τις συνθήκες ισορροπίας των στρατηγικών  $\gamma^1$  και  $\gamma^2$  οι οποίες εξαρτώνται από τη στρατηγική ισορροπίας  $\gamma^3$  του P3.

Επιστρέφοντας στην αρχή της επίλυσης μας, εφόσον οι τριάδα των στρατηγικών  $\{\gamma^1, \gamma^2, \gamma^3\}$  αποτελεί μια «τριάδα ισορροπίας» αντικαθιστώντας τα controls  $u^1 = \gamma^1(x_2, x_1)$ ,  $u^2 = \gamma^2(x_2, x_1)$  στην  $L^3$ , η συνάρτηση κόστους του P3 που προκύπτει ( $L^{3'}$ ) θα πρέπει να παρουσιάζει ένα ελάχιστο στο control  $u^3 = \gamma^3(x_1)$ .

Έτσι έχουμε:

$$\frac{d}{du^3} L^{3'}(\gamma^3(x_1)) = 0 \quad \kappa \square \iota \quad \frac{d}{(du^3)^2} L^{3'}(\gamma^3(x_1)) > 0 \quad (3.19)$$



καταλήγουμε στο εξής σχέσεων που πρέπει να ικανοποιούνται μια μια equilibrium τριάδα με την προϋπόθεση  $\gamma^1(x'_2, x_1) = -\frac{2}{3}x'_2$  και

$$\gamma^2(x'_2, x_1) = -\frac{1}{3}x'_2 :$$

$$\frac{2}{3}[x_1 + \gamma^3(x_1)][1 + \gamma_{x_2}^1(x'_2, x_1)] + \gamma^3(x_1) = 0 \quad (3.20)$$

$$[1 + \gamma_{x_2}^1(x'_2, x_1) + \gamma_{x_2}^2(x'_2, x_1)]^2 - \frac{2}{3}x'_2\gamma_{x_2x_2}^1(x'_2, x_1) - 2[\gamma_{x_2}^2(x'_2, x_1)]^2 + 1 > 0 \quad (3.21)$$

$$\text{όπου } x'_2 = x_1 + \gamma^3(x_1)$$

**Συμπερασματικά:** Κάθε τριάδα στρατηγικών  $\{\gamma^{1*}, \gamma^{2*}, \gamma^{3*}\}$  που ικανοποιεί τις :

$$\gamma^1(x'_2, x_1) = -\frac{2}{3}x'_2 \quad (3.22)$$

$$\gamma^2(x'_2, x_1) = -\frac{1}{3}x'_2 \quad (3.23)$$

$$\frac{2}{3}[x_1 + \gamma^3(x_1)][1 + \gamma_{x_2}^1(x'_2, x_1)] + \gamma^3(x_1) = 0 \quad (3.24)$$

$$[1 + \gamma_{x_2}^1(x'_2, x_1) + \gamma_{x_2}^2(x'_2, x_1)]^2 - \frac{2}{3}x'_2\gamma_{x_2x_2}^1(x'_2, x_1) - 2[\gamma_{x_2}^2(x'_2, x_1)]^2 + 1 > 0 \quad (3.25)$$

και επιπρόσθετα στην εξίσωση  $\frac{2}{3}[x_1 + \gamma^3(x_1)][1 + \gamma_{x_2}^1(x'_2, x_1)] + \gamma^3(x_1) = 0$  αντικαθιστώντας  $\gamma^1 = \gamma^{1*}$  και  $\gamma^2 = \gamma^{2*}$  υπάρχει μια **μοναδική λύση**  $\gamma^3 = \gamma^{3*}$  αυτή αποτελεί λύση Nash ισορροπίας για το nonzero-sum δυναμικό παιχνίδι που περιγράφεται από τις αρχικές σχέσεις

$$x_3 = x_2 + u^1 + u^2, \quad x_2 = x_1 + u^3$$

$$L^1 = (x_3)^2 + (u^1)^2, \quad L^2 = -L^3 = -(x_3)^2 + 2(u^2)^2 - (u^3)^2 \quad (3.26)$$

### 3.5 Εφαρμογή μελέτης

Στόχος είναι η μορφοποίηση και η μελέτη ενός παιχνιδιού όπου υπάρχει ένας παίκτης που παραμένει στο σύστημα για μεγάλο χρονικό διάστημα και πολλοί μικροί παίκτες που παραμένουν στο σύστημα για μικρό χρονικό διάστημα. Τέτοια παραδείγματα προκύπτουν σε εφαρμογές όπως η τράπεζα και οι πελάτες της, το πανεπιστήμιο και οι φοιτητές του, το ηλεκτρικό δίκτυο και οι χρήστες του. Οι “μικροί” παίκτες μπορεί να υπερκαλύπτουν χρονικά ο ένας τη δράση του άλλου (time overlapping).

*Η μελέτη μου θα στηριχθεί σε ανάλυση ενός **Linear Quadratic, Deterministic, Discrete** παιχνιδιού όπου οι παίκτες του συστήματος χρησιμοποιούν **Linear Feedback** στρατηγικές και βρίσκονται σε **Nash ή Stackelberg (κεφάλαιο 4) ισορροπία.***

Το όλο σύστημα επίλυσης οδηγεί σε εξισώσεις τύπου Riccati για τον υπολογισμό των κερδών των παικτών ενώ η εξέλιξη του παιχνιδιού εξαρτάται από τις τωρινές τιμές αλλά και από τις τιμές του παρελθόντος (dynamic control). Κάθε παίκτης έχει διαφορετική πιθανή στιγμή εισόδου ενώ κάθε παίκτης έχει διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά.

### 3.5.1 Εξισώσεις κατάστασης και κόστη

Η εξίσωση κατάστασης εξελίσσεται σύμφωνα με την εξής δυναμική εξίσωση [ref 7]:

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + B_1u_k^1 + B_2u_k^2 + B_3u_k^3 + B_4u_k^4 + B_5u_k^5 \quad k = 0,1,2 \dots$$

Το κόστος του μεγάλου παίκτη είναι:

$$J = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} (x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k) \quad (3.27)$$

Το κόστος του μικρού παίκτη που εισέρχεται στο σύστημα τη χρονική στιγμή  $k$  και παραμένει για 5 περιόδους είναι:

$$J_s[k, k+5] = \frac{1}{2} \left\{ x_k^T Q_1 x_k + x_{k+1}^T Q_2 x_{k+1} + x_{k+2}^T Q_3 x_{k+2} + x_{k+3}^T Q_4 x_{k+3} + x_{k+4}^T Q_5 x_{k+4} + x_{k+5}^T Q_6 x_{k+5} + (u_k^1)^T R_1 u_k^1 + (u_k^2)^T R_2 u_k^2 + (u_k^3)^T R_3 u_k^3 + (u_k^4)^T R_4 u_k^4 + (u_k^5)^T R_5 u_k^5 \right\} = \frac{1}{2} x_{k+5}^T Q_6 x_{k+5} + \frac{1}{2} \sum_{l=0}^4 \left( x_{k+1+l}^T Q_{l+1} x_{k+1+l} + (u_{k+1+l}^1)^T R_{l+1} u_{k+1+l}^1 \right), x_k \in \mathbb{R}^n, u_k \in \mathbb{R}^m, u_k^i \in \mathbb{R}^{m_i}$$

Χρησιμοποιήθηκαν πέντε περίοδοι ενδεικτικά ενώ μπορούν να εφαρμοστούν και διαφορετικοί περίοδοι με αντίστοιχες τροποποιήσεις των εξισώσεων.

Οι διαστάσεις των πινάκων είναι:  $A_{n \times n}, B_{n \times m}, Q_{n \times n}, R_{m \times m}$

Ο minor παίκτης όταν εισέρχεται στο σύστημα τη χρονική στιγμή  $k$  βλέπει το εξής σύστημα ενώ τα controls του είναι  $u_k^1, u_{k+1}^2, u_{k+2}^3, u_{k+3}^4, u_{k+4}^5$ :

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + \mathbf{B}_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5 \quad (3.29)$$

$$x_{k+2} = Ax_{k+1} + Bu_{k+1} + B_1 u_{k+1}^1 + \mathbf{B}_2 u_{k+1}^2 + B_3 u_{k+1}^3 + B_4 u_{k+1}^4 + B_5 u_{k+1}^5 \quad (3.30)$$

$$x_{k+3} = Ax_{k+2} + Bu_{k+2} + B_1 u_{k+2}^1 + B_2 u_{k+2}^2 + \mathbf{B}_3 u_{k+2}^3 + B_4 u_{k+2}^4 + B_5 u_{k+2}^5 \quad (3.31)$$

$$x_{k+4} = Ax_{k+3} + Bu_{k+3} + B_1 u_{k+3}^1 + B_2 u_{k+3}^2 + B_3 u_{k+3}^3 + \mathbf{B}_4 u_{k+3}^4 + B_5 u_{k+3}^5 \quad (3.32)$$

$$x_{k+5} = Ax_{k+4} + Bu_{k+4} + B_1 u_{k+4}^1 + B_2 u_{k+4}^2 + B_3 u_{k+4}^3 + B_4 u_{k+4}^4 + \mathbf{B}_5 u_{k+4}^5 \quad (3.33)$$

### 3.6 Λύση Feedback Nash

Για να επιλύσουμε το σύστημα για **Feedback Nash** θα χρησιμοποιήσουμε δυναμικό προγραμματισμό. Τη χρονική στιγμή  $k$  ο major (μεγάλος) παίκτης βλέπει και επιλύει το εξής πρόβλημα [ref 6]:

$$\min_{u_k} \frac{1}{2} (x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k + x_{k+1}^T K x_{k+1}) \rightarrow$$

$$\min_{u_k} \frac{1}{2} (x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k + (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5)^T K (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5))$$

Στη συνέχεια παραγωγίζουμε ως προς  $u_k$  ενώ η λύση ικανοποιεί την εξίσωση:

$$Ru_k + B^TK(Ax_k + Bu_k + B_1u_k^1 + B_2u_k^2 + B_3u_k^3 + B_4u_k^4 + B_5u_k^5) = 0 \quad (3.34)$$

Τη χρονική στιγμή  $k$  ο minor player 1 επιλύει το εξής σύστημα

$$\begin{aligned} \min_{u_k^1} & \left( x_k^T Q_1 x_k + (u_k^1)^T R_1 u_k^1 + x_{k+1}^T K_1 x_{k+1} \right) \rightarrow \\ \min_{u_k^1} & \left( x_k^T Q_1 x_k + (u_k^1)^T R_1 u_k^1 + (Ax_k + Bu_k + B_1u_k^1 + B_2u_k^2 + B_3u_k^3 + B_4u_k^4 + B_5u_k^5)^T K_1 (Ax_k + Bu_k + \right. \\ & \left. B_1u_k^1 + B_2u_k^2 + B_3u_k^3 + B_4u_k^4 + B_5u_k^5) \right) \end{aligned} \quad (3.35)$$

όπου  $\frac{1}{2} x_{k+1}^T K_1 x_{k+1}$  είναι το κόστος του minor player 1 ενώ η λύση του παραγωγίζοντας ως προς  $u_k^1$  είναι:

$$R_1 u_k^1 + B_1^T K_1 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) = 0 \quad (3.36)$$

Αναλόγως τη χρονική στιγμή  $k$  ο minor player 2 επιλύει το εξής σύστημα:

$$\begin{aligned} \min_{u_k^2} & \left( x_k^T Q_2 x_k + (u_k^2)^T R_2 u_k^2 + x_{k+1}^T K_2 x_{k+1} \right) \rightarrow \\ \min_{u_k^2} & \left( x_k^T Q_2 x_k + (u_k^2)^T R_2 u_k^2 + (Ax_k + Bu_k + B_1u_k^1 + B_2u_k^2 + B_3u_k^3 + B_4u_k^4 + B_5u_k^5)^T K_2 (Ax_k + Bu_k + \right. \\ & \left. B_1u_k^1 + B_2u_k^2 + B_3u_k^3 + B_4u_k^4 + B_5u_k^5) \right) \end{aligned} \quad (3.37)$$

όπου  $\frac{1}{2} x_{k+1}^T K_2 x_{k+1}$  είναι το κόστος του minor player 2 ενώ η λύση του παραγωγίζοντας ως προς  $u_k^2$  είναι:

$$R_2 u_k^2 + B_2^T K_2 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) = 0 \quad (3.38)$$

Αναλόγως τη χρονική στιγμή  $k$  ο minor player 3 επιλύει το εξής σύστημα:

$$\begin{aligned} \min_{u_k^3} & \left( x_k^T Q_3 x_k + (u_k^3)^T R_3 u_k^3 + x_{k+1}^T K_3 x_{k+1} \right) \rightarrow \\ \min_{u_k^3} & \left( x_k^T Q_3 x_k + (u_k^3)^T R_3 u_k^3 + (Ax_k + Bu_k + B_1u_k^1 + B_2u_k^2 + B_3u_k^3 + B_4u_k^4 + B_5u_k^5)^T K_3 (Ax_k + Bu_k + \right. \\ & \left. B_1u_k^1 + B_2u_k^2 + B_3u_k^3 + B_4u_k^4 + B_5u_k^5) \right) \end{aligned} \quad (3.39)$$

όπου  $\frac{1}{2} x_{k+1}^T K_3 x_{k+1}$  είναι το κόστος του minor player 3 ενώ η λύση του παραγωγίζοντας ως προς  $u_k^3$  είναι:

$$R_3 u_k^3 + B_3^T K_3 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) = 0 \quad (3.40)$$

Αναλόγως τη χρονική στιγμή  $k$  ο minor player 4 επιλύει το εξής σύστημα:

$$\min_{u_k^4} \left( x_k^T Q_4 x_k + (u_k^4)^T R_4 u_k^4 + x_{k+1}^T K_4 x_{k+1} \right) \rightarrow$$

$$\min_{u_k^4} (x_k^T Q_4 x_k + (u_k^4)^T R_4 u_k^4 + (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5)^T K_4 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5)) \quad (3.41)$$

όπου  $\frac{1}{2} x_{k+1}^T K_4 x_{k+1}$  είναι το κόστος του minor player 4 ενώ η λύση του παραγωγίζοντας ως προς  $u_k^4$  είναι:

$$R_4 u_k^4 + B_4^T K_4 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) = 0 \quad (3.42)$$

Αναλόγως τη χρονική στιγμή  $k$  ο minor player 5 επιλύει το εξής σύστημα:

$$\min_{u_k^5} (x_k^T Q_5 x_k + (u_k^5)^T R_5 u_k^5 + x_{k+1}^T K_5 x_{k+1}) \rightarrow$$

$$\min_{u_k^5} (x_k^T Q_5 x_k + (u_k^5)^T R_5 u_k^5 + (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5)^T K_5 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5)) \quad (3.43)$$

όπου  $\frac{1}{2} x_{k+1}^T K_5 x_{k+1}$  είναι το κόστος του minor player 5 ενώ η λύση του παραγωγίζοντας ως προς  $u_k^5$  είναι:

$$R_5 u_k^5 + B_5^T K_5 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) = 0 \quad (3.44)$$

Το σύστημα των εξισώσεων έχει λύση της μορφής [ref 8]:

$$u_k = Lx_k, u_k^1 = L_1 x_k, u_k^2 = L_2 x_k, u_k^3 = L_3 x_k, u_k^4 = L_4 x_k, u_k^5 = L_5 x_k$$

όπου οι συντελεστές  $L, L_1, L_2, L_3, L_4, L_5$  (τα gains των παικτών) ικανοποιούν τα εξής:

$$RL + B^T K (A + BL + B_1 L_1 + B_2 L_2 + B_3 L_3 + B_4 L_4 + B_5 L_5) = 0$$

$$\text{όπου } (A + BL + B_1 L_1 + B_2 L_2 + B_3 L_3 + B_4 L_4 + B_5 L_5) = A_c$$

$$R_1 L_1 + B_1^T K_1 (A + BL + B_1 L_1 + B_2 L_2 + B_3 L_3 + B_4 L_4 + B_5 L_5) = 0 \quad (3.45)$$

$$R_2 L_2 + B_2^T K_2 (A + BL + B_1 L_1 + B_2 L_2 + B_3 L_3 + B_4 L_4 + B_5 L_5) = 0$$

$$R_3 L_3 + B_3^T K_3 (A + BL + B_1 L_1 + B_2 L_2 + B_3 L_3 + B_4 L_4 + B_5 L_5) = 0$$

$$R_4 L_4 + B_4^T K_4 (A + BL + B_1 L_1 + B_2 L_2 + B_3 L_3 + B_4 L_4 + B_5 L_5) = 0$$

$$R_5 L_5 + B_5^T K_5 (A + BL + B_1 L_1 + B_2 L_2 + B_3 L_3 + B_4 L_4 + B_5 L_5) = 0$$

ή ισοδύναμα

$$RL + B^T K A_c = 0$$

$$R_3 L_3 + B_3^T K_3 A_c = 0$$

$$R_1 L_1 + B_1^T K_1 A_c = 0$$

$$R_4 L_4 + B_4^T K_4 A_c = 0$$

$$R_2 L_2 + B_2^T K_2 A_c = 0$$

$$R_5 L_5 + B_5^T K_5 A_c = 0$$

Για τα κόστη των minors  $\frac{1}{2}x_{k+1}^T K_i x_{k+1}$  ισχύουν οι εξής ισότητες:

$$K_5 = Q_6 \quad (3.46)$$

$$K_4 = Q_5 + L_5^T R_5 L_5 + A_c^T K_5 A_c \quad (3.47)$$

$$K_3 = Q_4 + L_4^T R_4 L_4 + A_c^T K_4 A_c \quad (3.48)$$

$$K_2 = Q_3 + L_3^T R_3 L_3 + A_c^T K_3 A_c \quad (3.49)$$

$$K_1 = Q_2 + L_2^T R_2 L_2 + A_c^T K_2 A_c \quad (3.50)$$

$$K_0 = Q_1 + L_1^T R_1 L_1 + A_c^T K_1 A_c \quad (3.51)$$

όπου  $J_s^*[k, k+5] = \frac{1}{2}x_k^T K_0 x_k$  είναι το βέλτιστο κόστος (optimal cost) του minor παίκτη που εισέρχεται στο σύστημα τη χρονική στιγμή  $k$ .

Για το κόστος του major παίκτη ισχύει:  $K = Q + L^T R L + A_c^T K A_c$  ενώ

$J^* = \frac{1}{2}x_0^T K x_0$  είναι το βέλτιστο κόστος του major παίκτη.

Επιλύοντας ως προς τα  $L_i$  προκύπτουν τα εξής:

$$L = -R^{-1} B^T K A_c$$

$$L_1 = -R_1^{-1} B_1^T K_1 A_c$$

$$L_2 = -R_2^{-1} B_2^T K_2 A_c$$

$$L_3 = -R_3^{-1} B_3^T K_3 A_c$$

$$L_4 = -R_4^{-1} B_4^T K_4 A_c$$

$$L_5 = -R_5^{-1} B_5^T K_5 A_c$$

και αντικαθιστώντας τα  $L_i$  στις σχέσεις των  $K_i$  προκύπτουν οι εξής σχέσεις:

$$K = Q + A_c^T (K + K B R^{-1} B^T K) A_c \quad (3.52)$$

$$K_5 = Q_6 \quad (3.53)$$

$$K_4 = Q_5 + A_c^T (K_5 + K_5 B_5 R_5^{-1} B_5^T K_5) A_c \quad (3.54)$$

$$K_3 = Q_4 + A_c^T (K_4 + K_4 B_4 R_4^{-1} B_4^T K_4) A_c \quad (3.55)$$

$$K_2 = Q_3 + A_c^T (K_3 + K_3 B_3 R_3^{-1} B_3^T K_3) A_c \quad (3.56)$$

$$K_1 = Q_2 + A_c^T (K_2 + K_2 B_2 R_2^{-1} B_2^T K_2) A_c \quad (3.57)$$

$$K_0 = Q_1 + A_c^T (K_1 + K_1 B_1 R_1^{-1} B_1^T K_1) A_c \quad (3.58)$$

$$A = (I + B R^{-1} B^T K + B_1 R_1^{-1} B_1^T K_1 + B_2 R_2^{-1} B_2^T K_2 + B_3 R_3^{-1} B_3^T K_3 + B_4 R_4^{-1} B_4^T K_4 + B_5 R_5^{-1} B_5^T K_5) A_c \quad (3.59)$$

### Παρατηρήσεις:

- Η Feedback Nash λύση του προβλήματος έχει μορφή  $u = Lx_k$  για τον major παίκτη και  $u_i = L_i x_k$  για τους minor παίκτες. Τα αντίστοιχα βέλτιστα κόστη είναι  $J^* = \frac{1}{2} x_0^T K x_0$  και  $J_s^*[k, k + 5] = \frac{1}{2} x_k^T K_0 x_k$
- Αρχικά επιλύουμε το σύστημα των εξισώσεων  $K, K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$  και του πίνακα του συστήματος closed loop  $A_c$ . Πάντα πρέπει να ισχύει  $K, K_i \geq 0$  το οποίο ισχύει όσο  $Q_i \geq 0$ .
- Για να υπάρχει ασυμπτωτική ευστάθεια του κόστους του major παίκτη πρέπει να ισχύει  $-1 \leq \text{Ιδιοτιμές}(A_c) \leq 1$ . Σε περίπτωση που δεν υπάρχει major παίκτης δεν χρειάζεται να υπάρχει αυτός ο περιορισμός

## Κεφάλαιο 4

### Εφαρμογή του αλγορίθμου Nash σε περιβάλλον με ένα κεντρικό μεγάλο παίκτη και πέντε μικρούς. Συμπεράσματα – Προσομοίωση αγοράς ενέργειας.

#### 4.1 Βασικές εξισώσεις μοντέλου – Επεξήγηση ρόλων

Το μοντέλο εξισώσεων που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και περιγράφει το μοντέλο Nash strategies and equilibrium είναι ένα δυναμικό feedback μοντέλο. Στόχος μας είναι να μελετήσουμε σε ένα δυναμικό σύστημα όπου υπάρχει ο μεγάλος κεντρικός παίκτης και σε ταυτόχρονες χρονικές στιγμές λαμβάνει αποφάσεις με τους μικρούς παίκτες. Εφαρμόζοντας ισορροπία Nash θα μελετήσουμε τα κέρδη και τις απώλειες και στη συνέχεια θα κάνουμε αναγωγή των συμπεριφορών στην αγορά ενέργειας. Η εξίσωση κατάστασης εξελίσσεται σύμφωνα με την εξής δυναμική εξίσωση:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_k + \mathbf{B}\mathbf{u}_k + \mathbf{B}_1\mathbf{u}_k^1 + \mathbf{B}_2\mathbf{u}_k^2 + \mathbf{B}_3\mathbf{u}_k^3 + \mathbf{B}_4\mathbf{u}_k^4 + \mathbf{B}_5\mathbf{u}_k^5, \mathbf{k} = 0, 1, 2 \quad (4.1)$$

Το κόστος του μεγάλου παίκτη είναι:

$$J = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} (\mathbf{x}_k^T \mathbf{Q} \mathbf{x}_k + \mathbf{u}_k^T \mathbf{R} \mathbf{u}_k) \quad (4.2)$$

Το κόστος του μικρού παίκτη που εισέρχεται στο σύστημα τη χρονική στιγμή  $k$  είναι [ref 10]:

$$J_s[k, k+5] = \frac{1}{2} \left\{ \mathbf{x}_k^T \mathbf{Q}_1 \mathbf{x}_k + \mathbf{x}_{k+1}^T \mathbf{Q}_2 \mathbf{x}_{k+1} + \mathbf{x}_{k+2}^T \mathbf{Q}_3 \mathbf{x}_{k+2} + \mathbf{x}_{k+3}^T \mathbf{Q}_4 \mathbf{x}_{k+3} + \mathbf{x}_{k+4}^T \mathbf{Q}_5 \mathbf{x}_{k+4} + \mathbf{x}_{k+5}^T \mathbf{Q}_6 \mathbf{x}_{k+5} + (\mathbf{u}_k^1)^T \mathbf{R}_1 \mathbf{u}_k^1 + (\mathbf{u}_k^2)^T \mathbf{R}_2 \mathbf{u}_k^2 + (\mathbf{u}_k^3)^T \mathbf{R}_3 \mathbf{u}_k^3 + (\mathbf{u}_k^4)^T \mathbf{R}_4 \mathbf{u}_k^4 + (\mathbf{u}_k^5)^T \mathbf{R}_5 \mathbf{u}_k^5 \right\} = \frac{1}{2} \mathbf{x}_{k+5}^T \mathbf{Q}_6 \mathbf{x}_{k+5} + \frac{1}{2} \sum_{l=0}^4 \left( \mathbf{x}_{k+l+1}^T \mathbf{Q}_{l+1} \mathbf{x}_{k+l+1} + (\mathbf{u}_{k+l+1}^{l+1})^T \mathbf{R}_{l+1} \mathbf{u}_{k+l+1}^{l+1} \right), \mathbf{x}_k \in \mathbb{R}^n, \mathbf{u}_k \in \mathbb{R}^m, \mathbf{u}_k^i \in \mathbb{R}^{m_i} \quad (4.3)$$

Οι διαστάσεις των πινάκων είναι:  $\mathbf{A}_{n \times n}, \mathbf{B}_{n \times m}, \mathbf{Q}_{n \times n}, \mathbf{R}_{m \times m}$

Ο minor παίκτης όταν εισέρχεται στο σύστημα τη χρονική στιγμή  $k$  βλέπει το εξής σύστημα (σύμφωνα με την εξίσωση 4.1) ενώ τα controls του είναι  $\mathbf{u}_k^1, \mathbf{u}_{k+1}^2, \mathbf{u}_{k+2}^3, \mathbf{u}_{k+3}^4, \mathbf{u}_{k+4}^5$ : [ref 12]

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{k+1} &= \mathbf{A}\mathbf{x}_k + \mathbf{B}\mathbf{u}_k + \mathbf{B}_1\mathbf{u}_k^1 + \mathbf{B}_2\mathbf{u}_k^2 + \mathbf{B}_3\mathbf{u}_k^3 + \mathbf{B}_4\mathbf{u}_k^4 + \mathbf{B}_5\mathbf{u}_k^5 \\ \mathbf{x}_{k+2} &= \mathbf{A}\mathbf{x}_{k+1} + \mathbf{B}\mathbf{u}_{k+1} + \mathbf{B}_1\mathbf{u}_{k+1}^1 + \mathbf{B}_2\mathbf{u}_{k+1}^2 + \mathbf{B}_3\mathbf{u}_{k+1}^3 + \mathbf{B}_4\mathbf{u}_{k+1}^4 + \mathbf{B}_5\mathbf{u}_{k+1}^5 \\ \mathbf{x}_{k+3} &= \mathbf{A}\mathbf{x}_{k+2} + \mathbf{B}\mathbf{u}_{k+2} + \mathbf{B}_1\mathbf{u}_{k+2}^1 + \mathbf{B}_2\mathbf{u}_{k+2}^2 + \mathbf{B}_3\mathbf{u}_{k+2}^3 + \mathbf{B}_4\mathbf{u}_{k+2}^4 + \mathbf{B}_5\mathbf{u}_{k+2}^5 \\ \mathbf{x}_{k+4} &= \mathbf{A}\mathbf{x}_{k+3} + \mathbf{B}\mathbf{u}_{k+3} + \mathbf{B}_1\mathbf{u}_{k+3}^1 + \mathbf{B}_2\mathbf{u}_{k+3}^2 + \mathbf{B}_3\mathbf{u}_{k+3}^3 + \mathbf{B}_4\mathbf{u}_{k+3}^4 + \mathbf{B}_5\mathbf{u}_{k+3}^5 \\ \mathbf{x}_{k+5} &= \mathbf{A}\mathbf{x}_{k+4} + \mathbf{B}\mathbf{u}_{k+4} + \mathbf{B}_1\mathbf{u}_{k+4}^1 + \mathbf{B}_2\mathbf{u}_{k+4}^2 + \mathbf{B}_3\mathbf{u}_{k+4}^3 + \mathbf{B}_4\mathbf{u}_{k+4}^4 + \mathbf{B}_5\mathbf{u}_{k+4}^5 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Με βάση τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3 (βλ παραγρ. 3.5.1) για την επίλυση του Nash Feedback μοντέλου και την εύρεση των gains των παικτών (Ki) αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Matlab ο αντίστοιχος κώδικας (βλ. Παράρτημα).

Οι τιμές των  $\mathbf{K}$  μας δίνουν τα κέρδη (gains) τόσο του κεντρικού major παίκτη όσο και των υπολοίπων minors. Στην αγορά της ενέργειας το ρόλο του major παίκτη μπορεί να το παίξει ο Διαχειριστής του Δικτύου ενώ minor παίκτες είναι οι παραγωγοί ή καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο πίνακας  $\mathbf{A}$  εκφράζει την κατάσταση του συστήματος. Αυτό εξαρτάται από τη μορφολογία του συστήματος, το μέγεθος, το robustness και την ποιοτική διάρθρωση του δυναμικού συστήματος.

Οι  $\mathbf{B}$  πίνακες περιγράφουν τα χαρακτηριστικά του μεγάλου και των μικρών παικτών.

## 4.2 Τρεξίματα του μοντέλου και επεξήγηση παραμέτρων

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν σειρά τρεξιμάτων του κώδικα για να μελετήσουμε τη συμπεριφορά του outcome του συστήματος, πόσο επηρεάζονται και ποιοι παίκτες με μικρές ή μεγάλες μεταβολές παραμέτρων του συστήματος ώστε στη συνέχεια να μπορέσουμε να έχουμε συμπεράσματα για τη συμπεριφορά του decision policy tool.

Διαδοχικά θα μελετηθεί η συμπεριφορά των κερδών των παικτών με τα εξής σενάρια μεταβάλλοντας διαδοχικά:

1. Το  $a$  του συστήματος
2. Το  $b$  του συστήματος
3. Το  $q$  του major παίκτη
4. Το  $q$  ενός από τους minor παίκτες

Πριν παρουσιαστούν τα αποτελέσματα αξίζει να γίνει αναφορά σε κάποιες παραμέτρους.

Το  $a$  του συστήματος όσο πιο πολύ τείνει στο μηδέν τόσο πιο stable είναι το σύστημα άρα τόσο πιο «άνετοι» είναι οι παίκτες στη λήψη αποφάσεων με μόνο στόχο το κέρδος του. Σε περίπτωση που το  $a >> 1$  τότε το σύστημα είναι unstable με αποτέλεσμα οι παίκτες να πρέπει να έχουν πλέον την προσοχή τους όχι μόνο πως θα εξασφαλίσουν το μέγιστο κέρδος αλλά και να παραμείνει stable το σύστημα καθώς αυτό θα οδηγήσει σε απώλειες όλων των παικτών.

### 4.2.1 Μεταβολή της παραμέτρου $a$ – Συμπεράσματα

Τα στοιχεία του συστήματος είναι πίνακες  $2 \times 2$ . Στους πίνακες που ακολουθούν στη πρώτη στήλη καταγράφονται οι παράμετροι του συστήματος.

Οι παράμετροι χωρίς αριθμητικό δείκτη αναφέρονται στο major παίκτη ενώ οι παράμετροι με δείκτη 1-5 αναφέρονται στους minor παίκτες.

Στις οριζόντιες σειρές βλέπουμε τα στοιχεία του εκάστοτε πίνακα  $2 \times 2$ : στοιχεία  $(*_{ij})$ .

#### Πίνακας Σταθερών Παραμέτρων στη case study μεταβολής του $a$

Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>
$b$		0.5	0.2	0.1	0.05
$r$		0.1	0.2	0.2	0.15
$r_1$		0.6	0.1	0.1	0.1
$r_2$		0.4	0.3	0.3	0.24
$r_3$		0.5	0.2	0.2	0.25
$r_4$		0.4	0.3	0.3	0.2
$r_5$		0.5	0.3	0.3	0.3
$b_1$		0.15	0.2	0.2	0.05
$b_2$		0.2	0.2	0.2	0.2
$b_3$		0.2	0.2	0.2	0.1
$b_4$		0.15	0.3	0.3	0.2
$b_5$		0.2	0.1	0.1	0.15
$l$		0.1	0.2	0.1	0.2
$l_1$		0.2	0.2	0.1	0.3
$l_2$		0.1	0.2	0.1	0.3



$l_3$	0.1	0.2	0.1	0.25
$l_4$	0.1	0.2	0.1	0.3
$l_5$	0.1	0.2	0.1	0.26
$q$	2	0.3	0.3	0.7
$q_1$	0.3	0.2	0.2	0.15
$q_2$	0.35	0.25	0.25	0.25
$q_3$	0.2	0.2	0.2	0.25
$q_4$	0.3	0.2	0.2	0.28
$q_5$	0.35	0.2	0.2	0.32
$q_6$	0.5	0.1	0.1	0.3

Διατηρούμε τις πιο παραμέτρους σταθερές και αλλάζουμε τις τιμές του  $a$  όπως φαίνεται στους πίνακες που ακολουθούν.

**Τα κέρδη παικτών εκφράζονται με τα  $K$  όπως και συγκεκριμένα:**

**$K$  : gain major παίκτη**

**$K_i$ : gains minor παικτών  $i=0..5$**

➤ **RUN 1**

Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22
<b>a</b>		<b>0.04</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.025</b>
K		2.0964	0.2617	0.2617	0.7155
$K_0$		0.3047	0.1982	0.1982	0.1508
$K_1$		2.0964	0.2617	0.2617	0.7155
$K_2$		0.2094	0.1960	0.1960	0.2518
$K_3$		0.3125	0.1945	0.1945	0.2825
$K_4$		0.3771	0.1890	0.1890	0.3246
$K_5$		0.5	0.1	0.1	0.3

➤ **RUN 2**

Παραμετ/Στοιχ	*11	*12	*13	*14
<b>a</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>
K	2.001	0.3001	0.3001	0.7001
$K_0$	0.3	0.2	0.2	0.15
$K_1$	2.001	0.3001	0.3001	0.7001
$K_2$	0.2	0.2	0.2	0.25
$K_3$	0.3	0.2	0.2	0.28
$K_4$	0.35	0.2	0.2	0.32
$K_5$	0.5	0.1	0.1	0.3

➤ **RUN 3**

Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22
<b>a</b>		<b>0.06</b>	<b>0.08</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>
K		2.1226	0.4705	0.4705	0.9371
$K_0$		0.3065	0.2090	0.2090	0.1624
$K_1$		2.1226	0.4705	0.4705	0.9371
$K_2$		0.2121	0.2168	0.2168	0.2734
$K_3$		0.3167	0.2233	0.2233	0.3125
$K_4$		0.3895	0.2549	0.2549	0.3964
$K_5$		0.5	0.1	0.1	0.3

➤ **RUN 4**

Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22
<b>a</b>		<b>0.0201</b>	<b>0.011</b>	<b>0.011</b>	<b>0.001</b>
K		2.0134	0.3144	0.3144	0.7155
$K_0$		0.3007	0.2007	0.2007	0.1508
$K_1$		2.0134	0.3144	0.3144	0.7155
$K_2$		0.201	0.2011	0.2011	0.2512
$K_3$		0.3012	0.2013	0.2013	0.2814
$K_4$		0.3536	0.2038	0.2038	0.3240
$K_5$		0.5	0.1	0.1	0.3

**Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις**

- Αυξάνοντας το  $a$  έχουμε μείωση του gain του major παίκτη. Σε φυσική σημασία αυτό σημαίνει ότι όσο πιο unstable γίνεται το σύστημα τόσο μεγαλύτερη κίνδυνος ελοχεύει για το κεντρικό παίκτη του συστήματος. Αυτό αποδεικνύεται και από τη λογική προσέγγιση ότι στην κατάρρευση μιας αγοράς (ενέργειας, οικονομική και κατ' επέκταση τραπεζική) ο βασικός παίκτης θα υποστεί τις μεγαλύτερες δομικές ζημιές. Όσο μικρότερος ένας παίκτης τόσο πιο ευέλικτος είναι και τόσο πιο διαχειρίσιμες οι απώλειες.
- Σε όλες τις μεταβολές ο P1 παραμένει προνομιακός παίκτης σε σχέση με τους υπόλοιπους. Αυτό θα έχει σημαντική αξία στην αγορά ενέργειας όταν αποφασίσουμε σε πολιτικό επίπεδο ποιοί παίκτες (παραγωγοί) θέλουμε να προστατευτούν σε ενδεχόμενες απότομες διακυμάνσεις της αγοράς.
- Ο P5 παραμένει ανεπηρέαστος από τις μεταβολές του  $a$ . Χρήσιμο συμπέρασμα επίσης στο decision policy making.
- Όλοι οι παίκτες κερδίζουν με την αύξηση του  $a$ .

#### 4.2.2 Μεταβολή της παραμέτρου $b$

Πίνακας Σταθερών Παραμέτρων στη case study μεταβολής του  $b$

Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>
a		0.04	0.01	0.01	0.025
r		0.1	0.2	0.2	0.15
r <sub>1</sub>		0.6	0.1	0.1	0.1
r <sub>2</sub>		0.4	0.3	0.3	0.24
r <sub>3</sub>		0.5	0.2	0.2	0.25
r <sub>4</sub>		0.4	0.3	0.3	0.2
r <sub>5</sub>		0.5	0.3	0.3	0.3
b <sub>1</sub>		0.15	0.2	0.2	0.05
b <sub>2</sub>		0.2	0.2	0.2	0.2
b <sub>3</sub>		0.2	0.2	0.2	0.1
b <sub>4</sub>		0.15	0.3	0.3	0.2
b <sub>5</sub>		0.2	0.1	0.1	0.15
l		0.1	0.2	0.1	0.2
l <sub>1</sub>		0.2	0.2	0.1	0.3
l <sub>2</sub>		0.1	0.2	0.1	0.3
l <sub>3</sub>		0.1	0.2	0.1	0.25
l <sub>4</sub>		0.1	0.2	0.1	0.3
l <sub>5</sub>		0.1	0.2	0.1	0.26
q		2	0.3	0.3	0.7
q <sub>1</sub>		0.3	0.2	0.2	0.15
q <sub>2</sub>		0.35	0.25	0.25	0.25
q <sub>3</sub>		0.2	0.2	0.2	0.25
q <sub>4</sub>		0.3	0.2	0.2	0.28
q <sub>5</sub>		0.35	0.2	0.2	0.32
q <sub>6</sub>		0.5	0.1	0.1	0.3

Διατηρούμε τις παραμέτρους σταθερές και αλλάζουμε τις τιμές του  $b$  όπως φαίνεται στους πίνακες που ακολουθούν. Τα κέρδη παικτών εκφράζονται με τα  $K$  όπως και συγκεκριμένα:

$K$  : gain major παίκτη

$K_i$ : gains minor παικτών  $i=0..5$

➤ RUN 1						➤ RUN 2					
Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>	Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>
<b>b</b>		<b>0.5</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.05</b>	<b>b</b>		<b>0.7</b>	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>	<b>0.07</b>
K		2.0964	0.2617	0.2617	0.7155	K		2.001	0.3009	0.3009	0.7
K <sub>0</sub>		0.3047	0.1982	0.1982	0.1508	K <sub>0</sub>		0.3	0.2001	0.2001	0.1501
K <sub>1</sub>		2.0964	0.2617	0.2617	0.7155	K <sub>1</sub>		2.001	0.3009	0.3009	0.7
K <sub>2</sub>		0.2094	0.1960	0.1960	0.2518	K <sub>2</sub>		0.2	0.2001	0.2001	0.2501
K <sub>3</sub>		0.3125	0.1945	0.1945	0.2825	K <sub>3</sub>		0.3	0.2	0.2	0.2801
K <sub>4</sub>		0.3771	0.1890	0.1890	0.3246	K <sub>4</sub>		0.3501	0.2002	0.2002	0.3203
K <sub>5</sub>		0.5	0.1	0.1	0.3	K <sub>5</sub>		0.5	0.1	0.1	0.3

➤ RUN 3						➤ RUN 4					
Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22	Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22
<b>b</b>		<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>b</b>		<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.01</b>	<b>0.025</b>
K		2.034	0.2823	0.2823	0.7097	K		2.0237	0.2859	0.2859	0.7090
K <sub>0</sub>		0.3017	0.1993	0.1993	0.1504	K <sub>0</sub>		0.3011	0.1995	0.1995	0.1503
K <sub>1</sub>		2.034	0.2823	0.2823	0.7097	K <sub>1</sub>		2.0237	0.2859	0.2859	0.7090
K <sub>2</sub>		0.2026	0.1987	0.1987	0.2507	K <sub>2</sub>		0.2017	0.199	0.199	0.2506
K <sub>3</sub>		0.3032	0.1983	0.1983	0.2810	K <sub>3</sub>		0.302	0.1987	0.1987	0.2809
K <sub>4</sub>		0.3586	0.1957	0.1957	0.3222	K <sub>4</sub>		0.3556	0.1967	0.1967	0.322
K <sub>5</sub>		0.5	0.1	0.1	0.3	K <sub>5</sub>		0.5	0.1	0.1	0.3

### ✚ Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

- Μεγάλη τιμή του b συνεπάγεται αύξηση των κερδών των παικτών χωρίς ανταγωνιστικό κλίμα. Άρα κοινή επιδίωξη των παικτών είναι η αύξηση του b χωρίς λειτουργία κανόνων ανταγωνισμού άρα χωρίς λειτουργίας του βασικού κανόνα της ελεύθερης οικονομίας. Ένα τέτοιο παράδειγμα στην αγορά της ενέργειας είναι τα feeding tariffs να είναι σταθερά χωρίς κανένα κίνητρο που θα αυξομειώνει τη τιμή τους και να αυξάνονται αυθαίρετα από το σύστημα. (κράτος)
- Ο P5 παραμένει ανεπηρέαστος από τις μεταβολές του a. Παίκτης με συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά που επενδυτικά μπορεί να αποτελέσει pool επενδυτών χαμηλού ρίσκου (pension funds κ.α.)
- Ο P1 και εδώ έχει το μεγαλύτερο κέρδος

#### 4.2.3 Μεταβολή της παραμέτρου q του major παίκτη

Πίνακας Σταθερών Παραμέτρων στη case study μεταβολής του q του major παίκτη

Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22
a		0.01	0.01	0.01	0.01
r		0.1	0.2	0.2	0.15
r <sub>1</sub>		0.6	0.1	0.1	0.1
r <sub>2</sub>		0.4	0.3	0.3	0.24
r <sub>3</sub>		0.5	0.2	0.2	0.25
r <sub>4</sub>		0.4	0.3	0.3	0.2
r <sub>5</sub>		0.5	0.3	0.3	0.3
b <sub>1</sub>		0.15	0.2	0.2	0.05
b <sub>2</sub>		0.2	0.2	0.2	0.2
b <sub>3</sub>		0.2	0.2	0.2	0.1
b <sub>4</sub>		0.15	0.3	0.3	0.2
b <sub>5</sub>		0.2	0.1	0.1	0.15
l		0.1	0.2	0.1	0.2
l <sub>1</sub>		0.2	0.2	0.1	0.3
l <sub>2</sub>		0.1	0.2	0.1	0.3
l <sub>3</sub>		0.1	0.2	0.1	0.25
l <sub>4</sub>		0.1	0.2	0.1	0.3
l <sub>5</sub>		0.1	0.2	0.1	0.26
q		2	0.3	0.3	0.7

$q_1$	0.3	0.2	0.2	0.15
$q_2$	0.35	0.25	0.25	0.25
$q_3$	0.2	0.2	0.2	0.25
$q_4$	0.3	0.2	0.2	0.28
$q_5$	0.35	0.2	0.2	0.32
$q_6$	0.5	0.1	0.1	0.3

Διατηρούμε τις παραμέτρους σταθερές και αλλάζουμε τις τιμές του  $q$  όπως φαίνεται στους πίνακες που ακολουθούν. Τα κέρδη παικτών εκφράζονται με τα  $K$  όπως και συγκεκριμένα:

$K$  : gain major παίκτη

$K_i$ : gains minor παικτών  $i=0..5$

➤ RUN 1						➤ RUN 2					
Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>	Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>
$q$	<b>2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.7</b>	$q$	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.7</b>
$K$	2.0001	0.3001	0.3001	0.3001	0.7001	$K$	2	1	1	1	0.7
$K_0$	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	$K_0$	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15
$K_1$	2.0001	0.3001	0.3001	0.3001	0.7001	$K_1$	2	1	1	1	0.7
$K_2$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25	$K_2$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25
$K_3$	0.3	0.2	0.2	0.2	0.28	$K_3$	0.3	0.2	0.2	0.2	0.28
$K_4$	0.35	0.2	0.2	0.2	0.28	$K_4$	0.35	0.2	0.2	0.2	0.32
$K_5$	0.5	0.1	0.1	0.1	0.3	$K_5$	0.5	0.1	0.1	0.1	0.3

➤ RUN 3						➤ RUN 4					
Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>	Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>
$q$	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	$q$	<b>1.2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1.1</b>
$K$	3.0016	1.0016	1.0016	1.0016	3.0016	$K$	1.2001	1.0001	1.0001	1.0001	1.1001
$K_0$	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	$K_0$	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15
$K_1$	3.0016	1.0016	1.0016	1.0016	3.0016	$K_1$	1.2001	1.001	1.001	1.001	1.001
$K_2$	0.2001	0.2001	0.2001	0.2001	0.2501	$K_2$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25
$K_3$	0.3001	0.2001	0.2001	0.2001	0.2801	$K_3$	0.3	0.2	0.2	0.2	0.28
$K_4$	0.3502	0.2002	0.2002	0.2002	0.3202	$K_4$	0.35	0.2	0.2	0.2	0.32
$K_5$	0.5	0.1	0.1	0.1	0.3	$K_5$	0.5	0.1	0.1	0.1	0.3

### Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

- Οι P2 και P3 παραμένουν σχετικά ανεπηρέαστοι από τις μεταβολές του  $q$
- Ο major παίκτης είναι άμεσα συνδεδεμένος με τη μεταβολή του  $q$  του.

#### 4.2.4 Μεταβολή της παραμέτρου $q$ του minor παίκτη

Πίνακας Σταθερών Παραμέτρων στη case study μεταβολής του  $q$  του minor παίκτη

Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22
a		0.01	0.01	0.01	0.01
r		0.1	0.2	0.2	0.15
$r_1$		0.6	0.1	0.1	0.1
$r_2$		0.4	0.3	0.3	0.24
$r_3$		0.5	0.2	0.2	0.25
$r_4$		0.4	0.3	0.3	0.2
$r_5$		0.5	0.3	0.3	0.3
$b_1$		0.15	0.2	0.2	0.05
$b_2$		0.2	0.2	0.2	0.2
$b_3$		0.2	0.2	0.2	0.1
$b_4$		0.15	0.3	0.3	0.2
$b_5$		0.2	0.1	0.1	0.15
l		0.1	0.2	0.1	0.2
$l_1$		0.2	0.2	0.1	0.3
$l_2$		0.1	0.2	0.1	0.3
$l_3$		0.1	0.2	0.1	0.25
$l_4$		0.1	0.2	0.1	0.3
$l_5$		0.1	0.2	0.1	0.26
q		2	0.3	0.3	0.7
$q_1$		0.3	0.2	0.2	0.15
$q_2$		0.35	0.25	0.25	0.25
$q_3$		0.2	0.2	0.2	0.25
$q_4$		0.3	0.2	0.2	0.28
$q_5$		0.35	0.2	0.2	0.32
$q_6$		0.5	0.1	0.1	0.3

Διατηρούμε τις παραμέτρους σταθερές και αλλάζουμε τις τιμές του  $q_1$  του minor όπως φαίνεται στους πίνακες που ακολουθούν. Τα κέρδη παικτών εκφράζονται με τα  $K$  όπως και συγκεκριμένα:

$K$  : gain major παίκτη

$K_i$ : gains minor παικτών  $i=0..5$

➤ RUN 1						➤ RUN 2					
Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22	Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22
<b>q1</b>		<b>0.3</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.15</b>	<b>q1</b>		<b>0.9</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.6</b>
K		2.0001	0.3001	0.3001	0.7001	K		2.0001	0.3001	0.3001	0.7001
$K_0$		0.3	0.2	0.2	0.15	$K_0$		0.9	0.2	0.2	0.6
$K_1$		2.0001	0.3001	0.3001	0.7001	$K_1$		2.001	0.3001	0.3001	0.7001
$K_2$		0.2	0.2	0.2	0.25	$K_2$		0.2	0.2	0.2	0.25
$K_3$		0.3	0.2	0.2	0.28	$K_3$		0.3	0.2	0.2	0.28
$K_4$		0.35	0.2	0.2	0.28	$K_4$		0.35	0.2	0.2	0.32
$K_5$		0.5	0.1	0.1	0.3	$K_5$		0.5	0.1	0.1	0.3

➤ RUN 3						➤ RUN 4					
Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22	Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22
<b>q1</b>		<b>1.1</b>	<b>1.01</b>	<b>1.01</b>	<b>1.1</b>	<b>q1</b>		<b>2.1</b>	<b>1.9</b>	<b>1.9</b>	<b>9.3</b>

K	2.0001	0.3001	0.3001	0.7001	K	2.0001	0.3001	0.3001	0.7001
$K_0$	1.1	1.01	1.01	1.1	$K_0$	2.1	1.9	1.9	3
$K_1$	2.001	0.3001	0.3001	0.7001	$K_1$	2.0001	0.3001	0.3001	0.7001
$K_2$	0.2	0.2	0.2	0.25	$K_2$	0.2	0.2	0.2	0.25
$K_3$	0.3	0.2	0.2	0.28	$K_3$	0.3	0.2	0.2	0.28
$K_4$	0.35	0.2	0.2	0.32	$K_4$	0.35	0.2	0.2	0.32
$K_5$	0.5	0.1	0.1	0.3	$K_5$	0.5	0.1	0.1	0.3

### Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

- Ο major παίκτης είναι ανεπηρέαστος από τη μεταβολή του  $q$  του minor
- Όλα τα gains των minor παικτών παραμένουν ανεπηρέαστα από τη μεταβολή
- Ο  $P_0$  είναι ο μόνος παίκτης του οποίου το gain επηρεάζεται από τη μεταβολή του  $q$  και ταυτίζεται ακριβώς με τις τιμές του  $q$  (initial prices)

## Κεφάλαιο 5

### Θεωρία Παιγνίων – Εφαρμογή Stackelberg

#### 5. 1 Γενικές Εξισώσεις

Θα επιλύσουμε το σύστημα μας χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά λύση Feedback Stackelberg ενώ για την επίλυση των εξισώσεων μας θα χρησιμοποιήσουμε Dynamic Programming . Τη χρονική στιγμή  $k$  ο major και οι minor players επιλύουν το σύστημα:

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + B_1u_k^1 + B_2u_k^2 + B_3u_k^3 + B_4u_k^4 + B_5u_k^5 \quad k = 0,1,2 \dots \quad (5.1)$$

Με κέρδη του major και minor players αντίστοιχα [ref 9]:

$$J = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} (x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k) \quad (5.2)$$

$$J_s[k, k + 5] = \frac{1}{2} x_{k+5}^T Q_6 x_{k+5} + \frac{1}{2} \sum_{l=0}^4 \left( x_{k+l+1}^T Q_{l+1} x_{k+l+1} + (u_{k+l+1}^{l+1})^T R_{l+1} u_{k+l+1}^{l+1} \right) \quad (5.3)$$

$, x_k \in \mathbb{R}^n, u_k \in \mathbb{R}^m, u_k^i \in \mathbb{R}^{m_i}$

θεωρώντας τα  $u_k$  δεδομένα, και καταλήγουμε στις εξής σχέσεις για τους minor players:

$$\begin{aligned} R_1 u_k^1 + B_1^T K_1 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) &= 0 \\ R_2 u_k^2 + B_2^T K_2 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) &= 0 \\ R_3 u_k^3 + B_3^T K_3 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) &= 0 \\ R_4 u_k^4 + B_4^T K_4 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) &= 0 \\ R_5 u_k^5 + B_5^T K_5 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) &= 0 \end{aligned} \quad (5.4)$$

ενώ ο major player (Leader) επιλύει το εξής πρόβλημα:

$$\min_{u_k, u_k^1, u_k^2, u_k^3, u_k^4, u_k^5} \frac{1}{2} (x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k + x_{k+1}^T K x_{k+1}) \quad (5.5)$$

$$\min_{u_k, u_k^1, u_k^2, u_k^3, u_k^4, u_k^5} \frac{1}{2} (x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k + (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5)^T K (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5))$$

με τους περιορισμούς των 5 εξισώσεων των minor. Οι περιορισμοί είναι γραμμικοί και για αυτό το λόγο μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλαπλασιαστές Lagrange  $\lambda_i \in \mathbb{R}^{m_i}, i = 1,2,3,4,5$ . Όσο οι συναρτήσεις κόστους είναι κυρτές, ορίζουμε το διάνυσμα Lagrange ως προς τους αγνώστους  $u_k, u_k^1, u_k^2, u_k^3, u_k^4, u_k^5$  ίσο με το μηδέν. Μαζί τους πάνω περιορισμούς υπάρχουν οι ικανές συνθήκες για την ελαχιστοποίηση του κόστους του Leader.

Η Langranian εξίσωση είναι:

$$\begin{aligned}
L(u_k, u_k^1, u_k^2, u_k^3, u_k^4, u_k^5, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) = & \frac{1}{2} x_k^T Q x_k + \frac{1}{2} u_k^T R u_k + \frac{1}{2} (A x_k + B u_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + \\
& B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5)^T K (A x_k + B u_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) + \lambda_1^T (R_1 u_k^1 + \\
& B_1^T K_1 (A x_k + B u_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5)) + \lambda_2^T (R_2 u_k^2 + B_2^T K_2 (A x_k + B u_k + \\
& B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5)) + \lambda_3^T (R_3 u_k^3 + B_3^T K_3 (A x_k + B u_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + \\
& B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5)) + \lambda_4^T (R_4 u_k^4 + B_4^T K_4 (A x_k + B u_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5)) + \\
& \lambda_5^T (R_5 u_k^5 + B_5^T K_5 (A x_k + B u_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5)) , \lambda_i \in \mathbb{R}^{m_i}, i = 1, 2, 3, 4, 5.
\end{aligned} \tag{5.6}$$

Θεωρώντας τις μερικές παραγώγους του  $L$  ως προς τα  $u_k, u_k^1, u_k^2, u_k^3, u_k^4, u_k^5$  ίσες με μηδέν έχω αντίστοιχα:

$$\begin{aligned}
& \nabla_{u_k} L(u_k, u_k^1, u_k^2, u_k^3, u_k^4, u_k^5, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) \\
& = R u_k + B^T K (A x_k + B u_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) \\
& + B^T (K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5) = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \nabla_{u_k^1} L(u_k, u_k^1, u_k^2, u_k^3, u_k^4, u_k^5, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) \\
& = B_1^T K (A x_k + B u_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) + R_1 \lambda_1 \\
& + B_1^T (K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5) = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \nabla_{u_k^2} L(u_k, u_k^1, u_k^2, u_k^3, u_k^4, u_k^5, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) \\
& = B_2^T K (A x_k + B u_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) + R_2 \lambda_2 \\
& + B_2^T (K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5) = 0
\end{aligned}$$

(5.7)

$$\begin{aligned}
& \nabla_{u_k^3} L(u_k, u_k^1, u_k^2, u_k^3, u_k^4, u_k^5, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) \\
& = B_3^T K (A x_k + B u_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) + R_3 \lambda_3 \\
& + B_3^T (K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5) = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \nabla_{u_k^4} L(u_k, u_k^1, u_k^2, u_k^3, u_k^4, u_k^5, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) \\
& = B_4^T K (A x_k + B u_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) + R_4 \lambda_4 \\
& + B_4^T (K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5) = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \nabla_{u_k^5} L(u_k, u_k^1, u_k^2, u_k^3, u_k^4, u_k^5, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) \\
& = B_5^T K (A x_k + B u_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) + R_5 \lambda_5 \\
& + B_5^T (K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5) = 0
\end{aligned}$$



Στη συνέχεια προκύπτει ένα σύστημα εξισώσεων με 11 αγνώστους  $u_k, u_k^1, u_k^2, u_k^3, u_k^4, u_k^5, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$  που πρέπει να επιλύσουμε:

1.  $R_1 u_k^1 + B_1^T K_1 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) = 0$
2.  $R_2 u_k^2 + B_2^T K_2 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) = 0$
3.  $R_3 u_k^3 + B_3^T K_3 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) = 0$
4.  $R_4 u_k^4 + B_4^T K_4 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) = 0$
5.  $R_5 u_k^5 + B_5^T K_5 (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) = 0$
6.  $Ru_k + B^T K (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) + B^T (K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5) = 0$
7.  $R_1 \lambda_1 + B_1^T K (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) + B_1^T (K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5) = 0$
8.  $R_2 \lambda_2 + B_2^T K (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) + B_2^T (K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5) = 0$
9.  $R_3 \lambda_3 + B_3^T K (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) + B_3^T (K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5) = 0$
10.  $R_4 \lambda_4 + B_4^T K (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) + B_4^T (K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5) = 0$
11.  $R_5 \lambda_5 + B_5^T K (Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5) + B_5^T (K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5) = 0$

(5.8)

Με τις κατάλληλες παραδοχές, η λύσεις των άγνωστων μεταβλητών είναι γραμμικές ως προς το  $x_k$ .

Έτσι θεωρούμε :

$$u_k = Lx_k, u_k^1 = L_1 x_k, u_k^2 = L_2 x_k, u_k^3 = L_3 x_k, u_k^4 = L_4 x_k, u_k^5 = L_5 x_k \quad (5.9)$$

$$A_c = A + BL + B_1 L_1 + B_2 L_2 + B_3 L_3 + B_4 L_4 + B_5 L_5 \quad (5.10)$$

$$\lambda = K_1 B_1 \lambda_1 + K_2 B_2 \lambda_2 + K_3 B_3 \lambda_3 + K_4 B_4 \lambda_4 + K_5 B_5 \lambda_5 \quad (5.11)$$

Τώρα το σύστημα εξισώσεων μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\begin{aligned} L_1 &= -R_1^{-1} B_1^T K_1 A_c \\ L_2 &= -R_2^{-1} B_2^T K_2 A_c \\ L_3 &= -R_3^{-1} B_3^T K_3 A_c \\ L_4 &= -R_4^{-1} B_4^T K_4 A_c \\ L_5 &= -R_5^{-1} B_5^T K_5 A_c \\ Lx_k &= -R_1^{-1} B^T (KA_c x_k + \lambda) \end{aligned} \quad (5.12)$$

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -R_1^{-1} B_1^T (KA_c x_k + \lambda) \\ \lambda_2 &= -R_2^{-1} B_2^T (KA_c x_k + \lambda) \\ \lambda_3 &= -R_3^{-1} B_3^T (KA_c x_k + \lambda) \\ \lambda_4 &= -R_4^{-1} B_4^T (KA_c x_k + \lambda) \\ \lambda_5 &= -R_5^{-1} B_5^T (KA_c x_k + \lambda) \end{aligned} \quad (5.13)$$

Αντικαθιστώντας τα  $\lambda_i$  στο αρχικό σύστημα προκύπτει:

$$(I + K_1 B_1 R_1^{-1} B_1^T + K_2 B_2 R_2^{-1} B_2^T + K_3 B_3 R_3^{-1} B_3^T + K_4 B_4 R_4^{-1} B_4^T + K_5 B_5 R_5^{-1} B_5^T) \lambda + (K_1 B_1 R_1^{-1} B_1^T + K_2 B_2 R_2^{-1} B_2^T + K_3 B_3 R_3^{-1} B_3^T + K_4 B_4 R_4^{-1} B_4^T + K_5 B_5 R_5^{-1} B_5^T) K A_c x_k = 0 \quad (5.14)$$

Είναι εμφανές ότι αναγκαία συνθήκη για υπάρξει μοναδικής λύσης είναι η αντιστρεψιμότητα του πίνακα  $I + W$  όπου:

$$W = K_1 B_1 R_1^{-1} B_1^T + K_2 B_2 R_2^{-1} B_2^T + K_3 B_3 R_3^{-1} B_3^T + K_4 B_4 R_4^{-1} B_4^T + K_5 B_5 R_5^{-1} B_5^T \quad (5.15)$$

Για αυτό το λόγο αν ο πίνακας  $I + W$  είναι αντιστρέψιμος, έχουμε:

$$\begin{aligned} \lambda &= -(I + W)^{-1} W K A_c x_k \\ L &= -R^{-1} B^T (I + W)^{-1} K A_c \end{aligned} \quad (5.16)$$

Τα κέρδη ελέγχου (control gains) που προκύπτουν είναι τα εξής:

$$\begin{aligned} L_1 &= -R_1^{-1} B_1^T K_1 A_c \\ L_2 &= -R_2^{-1} B_2^T K_2 A_c \\ L_3 &= -R_3^{-1} B_3^T K_3 A_c \\ L_4 &= -R_4^{-1} B_4^T K_4 A_c \\ L_5 &= -R_5^{-1} B_5^T K_5 A_c \end{aligned} \quad (5.17)$$

Ακολουθώντας την ίδια μέθοδο αντικαταστάσεων με το Nash Equilibrium προκύπτουν τα  $K_i$ :

$$\begin{aligned} K &= Q + A_c^T (K + K B R^{-1} B^T K) A_c \\ K_5 &= Q_6 \\ K_4 &= Q_5 + A_c^T (K_5 + K_5 B_5 R_5^{-1} B_5^T K_5) A_c \\ K_3 &= Q_4 + A_c^T (K_4 + K_4 B_4 R_4^{-1} B_4^T K_4) A_c \\ K_2 &= Q_3 + A_c^T (K_3 + K_3 B_3 R_3^{-1} B_3^T K_3) A_c \\ K_1 &= Q_2 + A_c^T (K_2 + K_2 B_2 R_2^{-1} B_2^T K_2) A_c \\ K_0 &= Q_1 + A_c^T (K_1 + K_1 B_1 R_1^{-1} B_1^T K_1) A_c \\ W &= K_1 B_1 R_1^{-1} B_1^T + K_2 B_2 R_2^{-1} B_2^T + K_3 B_3 R_3^{-1} B_3^T + K_4 B_4 R_4^{-1} B_4^T + K_5 B_5 R_5^{-1} B_5^T \\ (I + B R^{-1} B^T (I + W)^{-1} K + B_1 R_1^{-1} B_1^T K_1 + B_2 R_2^{-1} B_2^T K_2 + B_3 R_3^{-1} B_3^T K_3 + B_4 R_4^{-1} B_4^T K_4 \\ &+ B_5 R_5^{-1} B_5^T K_5) A_c = A \end{aligned} \quad (5.18)$$

Παρατήρηση:

- Για να είναι το κόστος του Follower ασυμπτωτικά ευσταθές και πεπερασμένο πρέπει να ισχύει:  $-1 < \text{ιδιοτιμές}(A_c) < 1$

## Κεφάλαιο 6

### Εφαρμογή του αλγορίθμου Stackelberg σε περιβάλλον με ένα κεντρικό μεγάλο παίκτη και πέντε μικρούς. Συμπεράσματα – Προσομοίωση αγοράς ενέργειας.

#### 6.1 Γενικές Αρχές μοντέλου

Η εφαρμογή του μοντέλου ισορροπίας Stackelberg κατα την προσωπική άποψη του συγγραφέα έχει μεγαλύτερη πρακτική αξία και σημασία στην αγορά ενέργειας. Η αγορά της ενέργειας τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε Εθνικό επίπεδο παρουσιάζει έντονες στρεβλώσεις μη επιτρέποντας την ουσιαστική λειτουργία της σε απελευθερωμένο ανταγωνιστικό περιβάλλον. Ανάλογα τη γεωγραφική θέση και το οικονομικό μοντέλο των χωρών υπάρχει ένας «παίκτης» με δεσπόζουσα θέση και αξία όπου συνήθως καθορίζει κατά παρέκκλιση και τους όρους της αγοράς. Έτσι σε κρατικίστικα καθεστώτα (Κίνα, Βενεζουέλα, Ελλάδα) η δημόσια υπηρεσία ηλεκτρισμού παίζει αυτό το ρόλο ενώ σε ελεύθερες αγορές όπως η Ιταλία και οι ΗΠΑ μεγάλοι ιδιωτικοί κολοσσοί παίζουν αυτό το ρόλο.

Στόχος της ανάπτυξης του αλγορίθμου κατα Stackelberg είναι η δημιουργία ενός decision making tool το οποίο θα λαμβάνει υπόψη σειρά ποσοστικών αλλά και ποιοτικών χαρακτηριστικών όπως η ύπαρξη και ο leading ρόλος των μεγάλων παικτών του συστήματος

#### 6.2 Βασικές Εξισώσεις και παράμετροι συστήματος

Το βασικό σύστημα επίλυσης του μοντέλου Stackelberg που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + B_1 u_k^1 + B_2 u_k^2 + B_3 u_k^3 + B_4 u_k^4 + B_5 u_k^5 \quad k = 0,1,2 \dots \quad (6.1)$$

Τα κέρδη του Leader και των Followers αντίστοιχα:

$$J = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} (x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k) \quad (6.2)$$

$$J_s[k, k+5] = \frac{1}{2} x_{k+5}^T Q_6 x_{k+5} + \frac{1}{2} \sum_{l=0}^4 \left( x_{k+l}^T Q_{l+1} x_{k+l} + (u_{k+l}^{l+1})^T R_{l+1} u_{k+l}^{l+1} \right), x_k \in \mathbb{R}^n, u_k \in \mathbb{R}^m, u_k^i \in \mathbb{R}^{m_i} \quad (6.3)$$

Με βάση τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 5 για την επίλυση του Stackelberg Feedback μοντέλο και την εύρεση των gains των παικτών (K<sub>i</sub>) αναπτύχθηκε σε περιβάλλον matlab ο αντίστοιχος κώδικας (βλ. Παράρτημα).

Οι τιμές των K μας δίνουν τα κέρδη (gains) τόσο του κεντρικού major παίκτη (Leader) όσο και των υπολοίπων minors (Followers).

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν σειρά τρεξιμάτων του κώδικα για να μελετήσουμε τη συμπεριφορά του outcome του συστήματος, πόσο επηρεάζονται και ποιοι παίκτες με μικρές ή μεγάλες μεταβολές παραμέτρων του συστήματος ώστε στη συνέχεια να μπορέσουμε να έχουμε συμπεράσματα για τη συμπεριφορά του decision policy tool. Διαδοχικά θα μελετηθεί η συμπεριφορά των κερδών των παικτών με τα εξής σενάρια μεταβάλλοντας διαδοχικά:

1. Το  $a$  του συστήματος
2. Το  $b$  του συστήματος
3. Το  $q$  του Leader
4. Το  $q$  ενός από τους Followers

### 6.3 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

#### 6.3.1 Μεταβολή της παραμέτρου $a$ – Συμπεράσματα

Τα στοιχεία του συστήματος είναι πίνακες  $2 \times 2$ . Στους πίνακες που ακολουθούν στη πρώτη στήλη καταγράφονται οι παράμετροι του συστήματος.

Οι παράμετροι χωρίς αριθμητικό δείκτη αναφέρονται στο major παίκτη ενώ οι παράμετροι με δείκτη 1-5 αναφέρονται στους minor παίκτες.

Στις οριζόντιες σειρές βλέπουμε τα στοιχεία του εκάστοτε πίνακα  $2 \times 2$ : στοιχεία  $(*_{ij})$ .

Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22
b		0.1	0.1	0.01	0.01
r		0.1	0.2	0.2	0.15
$r_1$		0.6	0.1	0.1	0.1
$r_2$		0.4	0.3	0.3	0.24
$r_3$		0.5	0.2	0.2	0.25
$r_4$		0.4	0.3	0.3	0.2
$r_5$		0.5	0.3	0.3	0.3
$b_1$		0.15	0.2	0.2	0.05
$b_2$		0.2	0.2	0.2	0.2
$b_3$		0.2	0.2	0.2	0.1
$b_4$		0.15	0.3	0.3	0.2
$b_5$		0.2	0.1	0.1	0.15
l		0.1	0.2	0.1	0.2
$l_1$		0.2	0.2	0.1	0.3
$l_2$		0.1	0.2	0.1	0.3
$l_3$		0.1	0.2	0.1	0.25
$l_4$		0.1	0.2	0.1	0.3
$l_5$		0.1	0.2	0.1	0.26
q		2	0.3	0.3	0.7
$q_1$		0.3	0.2	0.2	0.15
$q_2$		0.35	0.25	0.25	0.25
$q_3$		0.2	0.2	0.2	0.25
$q_4$		0.3	0.2	0.2	0.28
$q_5$		0.35	0.2	0.2	0.32
$q_6$		0.5	0.1	0.1	0.3

Διατηρούμε τις παραμέτρους σταθερές και αλλάζουμε τις τιμές του a όπως φαίνεται στους πίνακες που ακολουθούν. Τα κέρδη παικτών εκφράζονται μετὰ Κ όπως και συγκεκριμένα:

**K** : gain Leader παίκτη

**K<sub>i</sub>**: gains Followers παικτών  $i=0..5$

RUN 1						RUN 2					
Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>	Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>
<b>a</b>		<b>0.04</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.025</b>	<b>a</b>		<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>
K		2.0237	0.2859	0.2859	0.7090	K		2.001	0.3001	0.3001	0.7001
K <sub>0</sub>		0.3011	0.1995	0.1995	0.1503	K <sub>0</sub>		0.3	0.2	0.2	0.15
K <sub>1</sub>		2.0237	0.2859	0.2859	0.7090	K <sub>1</sub>		2.001	0.3001	0.3001	0.7001
K <sub>2</sub>		0.2017	0.1990	0.1990	0.2506	K <sub>2</sub>		0.2	0.2	0.2	0.25
K <sub>3</sub>		0.3020	0.1987	0.1987	0.2809	K <sub>3</sub>		0.3	0.2	0.2	0.28
K <sub>4</sub>		0.3556	0.1967	0.1967	0.3220	K <sub>4</sub>		0.35	0.2	0.2	0.32
K <sub>5</sub>		0.5	0.1	0.1	0.3	K <sub>5</sub>		0.5	0.1	0.1	0.3

RUN 3						RUN 4					
Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>	Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>
<b>a</b>		<b>0.06</b>	<b>0.08</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>a</b>		<b>0.0201</b>	<b>0.011</b>	<b>0.011</b>	<b>0.001</b>
K		2.1226	0.4705	0.4705	0.9371	K		2.0134	0.3144	0.3144	0.7155
K <sub>0</sub>		0.3065	0.2090	0.2090	0.1624	K <sub>0</sub>		0.3007	0.2007	0.2007	0.1508
K <sub>1</sub>		2.1226	0.4705	0.4705	0.9371	K <sub>1</sub>		2.0134	0.3144	0.3144	0.7155
K <sub>2</sub>		0.2121	0.2168	0.2168	0.2734	K <sub>2</sub>		0.201	0.2011	0.2011	0.2512
K <sub>3</sub>		0.3167	0.2233	0.2233	0.3125	K <sub>3</sub>		0.3012	0.2013	0.2013	0.2814
K <sub>4</sub>		0.3895	0.2549	0.2549	0.3964	K <sub>4</sub>		0.3536	0.2038	0.2038	0.3240
K <sub>5</sub>		0.5	0.1	0.1	0.3	K <sub>5</sub>		0.5	0.1	0.1	0.3

### Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

- Αυξάνοντας το a έχουμε μείωση του gain του Leader παίκτη. Σε φυσική σημασία αυτό σημαίνει ότι όσο πιο unstable γίνεται το σύστημα τόσο μεγαλύτερη κίνδυνος ελοχεύει για το κεντρικό παίκτη του συστήματος. Αυτό αποδεικνύεται και από τη λογική προσέγγιση ότι στην κατάρρευση μιας αγοράς (ενέργειας, οικονομική και κατ' επέκταση τραπεζική) ο βασικός παίκτης θα υποστεί τις μεγαλύτερες δομικές ζημιές. Όσο μικρότερος ένας παίκτης τόσο πιο ευέλικτος είναι και τόσο πιο διαχειρίσιμες οι απώλειες.
- Σε όλες τις μεταβολές ο P1 παραμένει προνομιακός παίκτης σε σχέση με τους υπόλοιπους. Αυτό θα έχει σημαντική αξία στην αγορά ενέργειας όταν αποφασίσουμε σε πολιτικό επίπεδο ποιοι παίκτες (παραγωγοί) θέλουμε να προστατευτούν σε ενδεχόμενες απότομες διακυμάνσεις της αγοράς.
- Όλοι οι παίκτες κερδίζουν με την αύξηση του a.

### 6.3.2 Μεταβολή της παραμέτρου **b** – Συμπεράσματα

Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22
a		0.04	0.01	0.01	0.025
r		0.1	0.2	0.2	0.15
$r_1$		0.6	0.1	0.1	0.1
$r_2$		0.4	0.3	0.3	0.24
$r_3$		0.5	0.2	0.2	0.25
$r_4$		0.4	0.3	0.3	0.2
$r_5$		0.5	0.3	0.3	0.3
$b_1$		0.15	0.2	0.2	0.05
$b_2$		0.2	0.2	0.2	0.2
$b_3$		0.2	0.2	0.2	0.1
$b_4$		0.15	0.3	0.3	0.2
$b_5$		0.2	0.1	0.1	0.15
l		0.1	0.2	0.1	0.2
$l_1$		0.2	0.2	0.1	0.3
$l_2$		0.1	0.2	0.1	0.3
$l_3$		0.1	0.2	0.1	0.25
$l_4$		0.1	0.2	0.1	0.3
$l_5$		0.1	0.2	0.1	0.26
q		2	0.3	0.3	0.7
$q_1$		0.3	0.2	0.2	0.15
$q_2$		0.35	0.25	0.25	0.25
$q_3$		0.2	0.2	0.2	0.25
$q_4$		0.3	0.2	0.2	0.28
$q_5$		0.35	0.2	0.2	0.32
$q_6$		0.5	0.1	0.1	0.3

Διατηρούμε τις παραμέτρους σταθερές και αλλάζουμε τις τιμές του b όπως φαίνεται στους πίνακες που ακολουθούν. Τα κέρδη παικτών εκφράζονται μετὰ Κ όπως και συγκεκριμένα:

**K** : gain Leader παίκτη

**$K_i$** : gains Followers παικτών  $i=0..5$

#### RUN 1

Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22
<b>b</b>		<b>0.5</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.05</b>
K		2.0964	0.2617	0.2617	0.7155
$K_0$		0.3047	0.1982	0.1982	0.1508
$K_1$		2.0964	0.2617	0.2617	0.7155
$K_2$		0.2094	0.1960	0.1960	0.2518
$K_3$		0.3125	0.1945	0.1945	0.2825
$K_4$		0.3771	0.1890	0.1890	0.3246
$K_5$		0.5	0.1	0.1	0.3

#### RUN 2


Παραμετ	Στοιχείο	*11	*12	*21	*22
<b>b</b>		<b>0.7</b>	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>	<b>0.07</b>
K		2.001	0.3009	0.3009	0.7
$K_0$		0.3	0.2001	0.2001	0.1501
$K_1$		2.001	0.3009	0.3009	0.7
$K_2$		0.2	0.2001	0.2001	0.2501
$K_3$		0.3	0.2	0.2	0.2801
$K_4$		0.3501	0.2002	0.2002	0.3203
$K_5$		0.5	0.1	0.1	0.3

**RUN 3**

Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>
<b>b</b>		<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>
K		2.034	0.2823	0.2823	0.7097
K <sub>0</sub>		0.3017	0.1993	0.1993	0.1504
K <sub>1</sub>		2.034	0.2823	0.2823	0.7097
K <sub>2</sub>		0.2026	0.1987	0.1987	0.2507
K <sub>3</sub>		0.3032	0.1983	0.1983	0.2810
K <sub>4</sub>		0.3586	0.1957	0.1957	0.3222
K <sub>5</sub>		0.5	0.1	0.1	0.3

**RUN 4**

Παραμετ	Στοιχείο	* <sub>11</sub>	* <sub>12</sub>	* <sub>21</sub>	* <sub>22</sub>
<b>b</b>		<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.01</b>	<b>0.025</b>
K		2.0237	0.2859	0.2859	0.7090
K <sub>0</sub>		0.3011	0.1995	0.1995	0.1503
K <sub>1</sub>		2.0237	0.2859	0.2859	0.7090
K <sub>2</sub>		0.2017	0.199	0.199	0.2506
K <sub>3</sub>		0.302	0.1987	0.1987	0.2809
K <sub>4</sub>		0.3556	0.1967	0.1967	0.322
K <sub>5</sub>		0.5	0.1	0.1	0.3


**Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις**

- Μεγάλη τιμή του b συνεπάγεται αύξηση των κερδών των παικτών χωρίς ανταγωνιστικό κλίμα. Άρα κοινή επιδίωξη των παικτών είναι η αύξηση του b χωρίς λειτουργία κανόνων ανταγωνισμού άρα χωρίς λειτουργίας του βασικού κανόνα της ελεύθερης οικονομίας. Ένα τέιοιο παράδειγμα στην αγορά της ενέργειας είναι τα feeding tariffs να είναι σταθερά χωρίς κανένα κίνητρο που θα αυξομειώνει τη τιμή τους και να αυξάνονται αυθαίρετα από το σύστημα. (κράτος)
- Ο Leader και εδώ έχει το μεγαλύτερο κέρδος

## Κεφάλαιο 7

### Εφαρμογή σε απελευθερωμένη αγορά ενέργειας με εισαγωγή παραγωγών διαφορετικών χαρακτηριστικών (static case)

#### 7.1 Εισαγωγή - Γενική Περιγραφή Ελληνικής Αγοράς

Το κεφάλαιο αυτό διαφοροποιείται με τη μέχρι τώρα πορεία του thesis. Μετά την ανάλυση του δυναμικού μοντέλου στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια εκτενής περιγραφή της Ελληνικής Αγοράς Ενέργειας και θα δοθεί βαρύτητα σε τεχνικές και επενδυτικές λεπτομέρειες διαφορετικών τεχνολογιών.

Στη συνέχεια γίνεται ανάπτυξη του στατικού μοντέλου λειτουργίας των παραγωγών ενέργειας και του διαχειριστή του δικτύου. Δε θα εφαρμοστεί δυναμικό μοντέλο με χρήση εργαλείων θεωρίας παιγνίων. Για να γίνει αυτό το βήμα πρέπει να μαθηματικοποιηθούν οι φυσικές και ποιοτικές ποσότητες της αγοράς ενέργειας και να εκφραστούν με μαθηματικά μοντέλα που θα εισαχθούν στα δυναμικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Αυτό είναι ένα βήμα στην έρευνα μας που θα πραγματοποιηθεί στο μέλλον.

Η Ελληνική Αγορά ενέργειας λόγω κλιματολογικών και γεωφυσικών συνθηκών ενισχύει ιδιαίτερα τη διεύθυνση των ΑΠΕ καθώς εξασφαλίζει υψηλές αποδόσεις και υψηλή παραγωγή ενέργειας. Στόχος των επενδύσεων σε μονάδες παραγωγής ενέργειας είναι η αποδοτικότητα και η ικανότητα επιβίωσης. Στον πρώτο πίνακα της παρουσιάζεται η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) για τα έτη 2014 και 2020, κατά την ΥΑ/Φ1/οικ.19598/01.10.2010.

Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η πραγματικά εγκατεστημένη ισχύς σταθμών ΑΠΕ την 31.05.2013.

Πιο αναλυτικά :

<b>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ</b>	<b>Επιδιωκόμενη Αναλογία Εγκατεστημένης Ισχύος (MW)</b>		<b>Εγκαταστημένη Ισχύς (MW)</b>
	<b>2014</b>	<b>2020</b>	<b>31.07.2013</b>
<b>Υδροηλεκτρικά (0-15MW)</b>	300	350	218
<b>Φωτοβολταϊκά (εξαιρούνται τα Φ/Β του ειδικού προγράμματος στεγών)</b>	1500	2200	2152
<b>Ηλιοθερμικά</b>	120	250	0
<b>Αιολικά (περιλαμβανόμενων θαλασσίων)</b>	4000	7500	1787
<b>Βιομάζα</b>	200	350	6

*Πίνακας 1: Επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος τεχνολογιών Α.Π.Ε. κατά την ΥΑ/Φ1/οικ.19598/01.10.2010, καθώς και πραγματικά εγκατεστημένη ισχύς σταθμών ΑΠΕ την 31.05.2013*



Παρατηρούμε λοιπόν μεγάλη αύξηση στις τιμές εγκαταστημένης ισχύος τόσο το έτος 2014, όσο και το 2020. Η μόνη εξαίρεση είναι τα φωτοβολταϊκά, στα οποία παρατηρείται μια μικρή πτώση το 2014, αλλά μεγάλη άνοδος στις τιμές εγκαταστημένης ισχύος το έτος 2020. Αξίζει να σημειωθεί ότι εξαιρούνται τα Φ/Β του ειδικού προγράμματος στεγών.

Στον επόμενο πίνακα αναλύεται το εύρος εγγυημένων τιμών χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, και οι εγγυημένες τιμές N3851/2010 (ΦΕΚ Α' 85/04.06.2010), ανά τεχνολογία Α.Π.Ε. με εξαίρεση τα Φ/Β. Πρέπει να αναφερθεί ότι στον πίνακα παρουσιάζεται ενδεικτικά τα εύρη των τιμών που ισχύουν στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι οποίες ακολουθούν την πολιτική των εγγυημένων τιμών, χωρίς να παρουσιάζονται λεπτομέρειες και εξειδικεύσεις αναφορικά με υποκατηγορίες ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ, το επίπεδο παραγωγής, και τεχνολογικές διαφοροποιήσεις των σταθμών ή άλλα μέτρα στήριξης των ΑΠΕ που πιθανόν να ισχύουν συνδυαστικά. Επίσης, οι εγκαταστημένες τιμές N3851/2010 (ΦΕΚ Α' 85/04.06.2010) (€/MWh) ισχύουν για την ετήσια αναπροσαρμογή 50% ως προς το Δείκτη Τιμών Καταναλωτή, για το έτος 2013. Οι τιμές του πίνακα (για το έτος 2013) προσαυξάνονται κατά 20% για αιολικούς σταθμούς, ΜΥΗΕ και γεωθερμία και κατά 15% για τις υπόλοιπες τεχνολογίες πλην των ηλιοθερμικών, σε περίπτωση που οι επενδύσεις υλοποιούνται χωρίς περαιτέρω επιδότηση κεφαλαίου ή φοροαπαλλαγή.

## 7.2 Εγγυημένες Τιμές και Κόστη Εγκατάστασης Τεχνολογιών

Υπογραμμίζεται ότι το Εύρος εγγυημένων τιμών στην Ευρωπαϊκή Ένωση στα ηλιοθερμικά συστήματα αφορά μόνο την Κύπρο και την Πορτογαλία.

<u>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΠΕ</u>	<u>Εύρος εγγυημένων τιμών στην Ε.Ε (€/MWh)</u>	<u>Εγγυημένες τιμές N3851/2010 (ΦΕΚ Α' 85/04.06.2010)(€/MWh) όπως ισχύουν το 2013</u>	
<b>Αιολική ενέργεια</b>	54-166	Διασυνδεδεμένο σύστημα	89,97
		Μη διασυνδεδεμένα νησιά	101,85
<b>Μικρά υδροηλεκτρικά</b>	61-140	89,97	
<b>ηλιοθερμικά</b>	260-273	Χωρίς αποθήκευση	271,24
		Με αποθήκευση (τουλάχιστον 2 ώρες)	291,72
<b>γεωθερμία</b>	141-270	Θερμοκρασία $\leq 90^{\circ}\text{C}$	153,62
		Θερμοκρασία $> 90^{\circ}\text{C}$	101,85
<b>βιομάζα</b>	60-144	Ισχύς $\leq 1\text{MW}$	204,82
		$1\text{MW} < \text{Ισχύς} \leq 5\text{MW}$	179,22
		Ισχύς $> 5\text{MW}$	153,62
<b>Αέριο ΧΥΤΑ</b>	59-120	Ισχύς $\leq 2\text{MW}$	122,89
		Ισχύς $> 2\text{MW}$	101,85
<b>Βιοαέριο</b>	75-166	Ισχύς $\leq 3\text{MW}$	225,31
		Ισχύς $> 3\text{MW}$	204,84

**Πίνακας 2:** Εύρος εγγυημένων τιμών χωρών Ε.Ε. και N3851/2010 (ΦΕΚ Α' 85/04.06.2010), ανά τεχνολογία Α.Π.Ε. πλην Φ/Β

Ο πίνακας 3 παρουσιάζει τα κόστη τα κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας τεχνολογιών Α.Π.Ε και συντάχθηκε σύμφωνα με τις παρακάτω βιβλιογραφικές πηγές :

- EC, DG-Research, SETIS, KPI for the European Wind Energy Initiative, 7 November 2011
- JRC, Technology Map of the SET-Plan, 2011
- NREL-IEA, MultiNational Case Study of the Financial Cost of wind Energy, March 2011
- Poyry, Design of Feed-in Tariffs for Great Britain, 2009
- IEA, ETSAP-Technology Brief Hydropower, 2010
- IEA, Technology Roadmaps Bioenergy for Heat and Power, 2012
- IRENA, RET Cost Analysis Series Hydropower, 2012
- IRENA, RET Cost Analysis Series Biomass, 2012
- VGB, Investment and Operation Cost Figures, 2012
- DIW, Current and Prospective Costs of Electricity Generation until 2050, July 2013

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΠΕ		Κόστος εγκατάστασης (€/MWh)	Κόστος συντήρησης και λειτουργίας (€/kW/έτος)
Αιολική ενέργεια (χερσαία)		1021-2041	27-84
Μικρά υδροηλεκτρικά		1350-7300	35-110
Ηλιοθερμικά	Χωρίς αποθήκευση	2100-6000	30-120
	Με αποθήκευση	4850-8000	80-160
Γεωθερμία	Κύκλου εκτόνωσης διφασικού ρευστού	1600-3200	56-115
	Διαδικού κύκλου	2600-4500	91-158
βιομάζα	Καύσης εστίας	1000-3900	83-202
	Αεριοποίησης	1900-3500	78-231
	Ρευστοποιημένης κλίνης	2000-3500	82-237
Αέριο ΧΥΤΑ/Βιολ. Καθ.	ΜΕΚ	1000-3500	110-275
Βιοαέριο	ΜΕΚ	1250-5000	55-184

**Πίνακας 3:** Κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας τεχνολογιών Α.Π.Ε

Ο πίνακας 4 παραθέτει αναλυτικά τα τεχνοοικονομικά μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν .

Όσον αφορά τον συντελεστή ισχύος των αιολικών και των μικρών υδροηλεκτρικών, οι συντελεστές αυτοί προέρχονται από συγκεντρωτικά στοιχεία των απολογιστικών Δελτίων ΑΠΕ του ΛΑΓΗΕ.

Επιπλέον, για τον υπολογισμό του κόστους εγκατάστασης της γεωθερμίας έχουν ληφθεί υπόψη τα κόστη από κατατεθειμένες αιτήσεις αδειών παραγωγής, οι οποίες αφορούν αποκλειστικά τεχνολογία διαδικού κύκλου. Στον πίνακα αναγράφεται το κόστος συντήρησης και λειτουργίας της βιομάζας και του βιοαερίου, στο οποίο δεν συμπεριλαμβάνεται το κόστος καυσίμου, το οποίο στην ανάλυση λαμβάνεται ίσο με ~0,023€/kWhf.

Τέλος, το κόστος συντήρησης και λειτουργίας του Αερίου ΧΥΤΑ/ Βιολ. Καθ. θεωρείται μηδενικό.

<u>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΠΕ</u>		<u>Κόστος εγκατάστασης (€/MWh)</u>	<u>Κόστος συντήρησης και λειτουργίας (€/kW/έτος)</u>	<u>Συντελεστής Ισχύος</u>
Αιολική ενέργεια	Διασυνδεδεμένο σύστημα	1200	47	25%
	Μη διασυνδεδεμένα νησιά	1400	56	28%
Μικρά υδροηλεκτρικά ≤15MW		2000	50	36%
Ηλιοθερμικά	Χωρίς αποθήκευση	3800	76	20%
	Με αποθήκευση τουλάχιστον 2 ώρες	4800	96	30%
γεωθερμία	Θερμοκρασία ≤90°C	5000	163	70%
	Θερμοκρασία >90°C	5000	163	80%
βιομάζα	Ισχύς ≤ 1MW	3300	154	90%
	1MW < Ισχύς ≤ 5MW	3000	140	90%
	Ισχύς >5MW	2700	126	90%
Αέριο ΧΥΤΑ/Βιολ. Καθ.	Ισχύς ≤2MW	3000	87	75%
	Ισχύς >2MW	2300	87	75%
Βιοαέριο	Ισχύς ≤3MW	3300	143	90%
	Ισχύς >3MW	3000	143	90%

**Πίνακας 4:** Τεχνικοοικονομικά μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση της ΠΑΕ

Στην συνέχεια, στον πίνακά 5 αναφέρονται οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης, στις οποίες στηρίχθηκε η μελέτη απόδοσης και βιωσιμότητας αιολικών σταθμών της ΠΑΕ

Μέσος ετήσιος πληθωρισμός	1,5%
Φορολογικός συντελεστής	26%
Χρονικό διάστημα ανάλυσης επένδυσης	20 έτη (25 για ηλιοθερμικά)
Προσαύξηση στην εγγυημένη τιμή πώλησης ( N3468/2006, Α.13, παρ.1, περ (γ) όπως ισχύει) για όλες τις τεχνολογίες θεωρώντας επενδύσεις χωρίς επιχορήγηση (επιδότηση ή φοροαπαλλαγή)	
Μηδενική υπολειμματική αξία	

**Πίνακας 5:** Βασικές παραδοχές τις ανάλυσης

Στον ακόλουθο πίνακα βλέπουμε την απόδοση επένδυσης (project IRR) για μεταβολή της ισχύουσας εγγυημένης τιμής για αιολικά, ΜΥΗΕ, ηλιοθερμικά και γεωθερμία.

Μεταβολή εγγυημένης τιμής πώλησης	Αιολικά ΔΣ	Αιολικά ΜΑΝ	ΜΥΗΕ	Ηλιοθερμικά χωρίς αποθήκευση	Ηλιοθερμικά με αποθήκευση >2 ώρες	Γεωθερμία χαμηλής θερμοκρασίας T < 90°C	Γεωθερμία χαμηλής θερμοκρασίας T > 90°C
-30%	5,9%	7,0%	5,5%	2,3%	5,4%	8,8%	4,7%
-24%	7,2%	8,3%	6,6%	3,4%	6,5%	10,1%	5,9%
-18%	8,4%	9,6%	7,7%	4,3%	7,5%	11,4%	7,0%
-12%	9,5%	10,8%	8,7%	5,2%	8,4%	12,6%	8,1%
-6%	10,6%	11,9%	9,7%	6,0%	9,4%	13,8%	9,1%
<b>Ονομαστική</b>	<b>11,7%</b>	<b>13,1%</b>	<b>10,6%</b>	<b>6,8%</b>	<b>10,3%</b>	<b>14,9%</b>	<b>10,1%</b>
6%	12,8%	14,2%	11,6%	7,6%	11,2%	16,1%	11,0%
12%	13,8%	15,2%	12,5%	8,4%	12,0%	17,2%	12,0%
18%	14,8%	16,3%	13,3%	9,1%	12,9%	18,3%	12,9%
24%	15,8%	17,3%	14,2%	9,8%	13,7%	19,4%	13,8%
30%	16,7%	18,4%	15,1%	10,6%	14,5%	20,4%	14,6%

**Πίνακας 6α:** Απόδοση επένδυσης (project IRR) για μεταβολή της ισχύουσας εγγυημένης τιμής για αιολικά, ΜΥΗΕ, ηλιοθερμικά και γεωθερμία.

Ο πίνακας 7α είναι πιο συγκεκριμένος και παρουσιάζει τηναπόδοση επένδυσης (project IRR) για μεταβολή της ισχύουσας εγγυημένης τιμής, για διαφορετικές τιμές συντελεστή ισχύος αιολικών πάρκων.

Μεταβολή εγγυημένης τιμής πώλησης	Αιολικά ΔΣ		
	Συντελεστής απόδοσης (Capacity Factor)		
	CF=20%	CF=25%	CF=35%
-30%	2,6%	5,9%	11,4%
-24%	3,9%	7,2%	12,9%
-18%	5,0%	8,4%	14,4%
-12%	6,0%	9,5%	15,7%
-6%	7,1%	10,6%	17,1%
<b>Ονομαστική</b>	<b>8,0%</b>	<b>11,7%</b>	<b>18,4%</b>
6%	9,0%	12,8%	19,8%
12%	9,9%	13,8%	21,1%

18%	10,8%	14,8%	22,3%
24%	11,7%	15,8%	23,6%
30%	12,5%	16,7%	24,9%

**Πίνακας 7α:** Απόδοση επένδυσης (project IRR) για μεταβολή της ισχύουσας εγγυημένης τιμής, για διαφορετικές τιμές συντελεστή ισχύος αιολικών πάρκων

Στον τελευταίο πίνακα παρουσιάζεται η απόδοση επένδυσης (project IRR) για μεταβολή της ισχύουσας

### 7.3 Στατική Μελέτη Εφαρμογής

Η εφαρμογή που θα αναλυθεί αναφέρεται στο τρόπο εισαγωγής και διαχείρισης 4 διαφορετικών τεχνολογιών στο ηλεκτρικό δίκτυο καθώς επίσης και τη συμπεριφορά του δικτύου.

Συγκεκριμένα θα μελετήσουμε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εξής 4 τεχνολογιών:

- ✚ Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Λιγνίτη , i=1 ,(P1)
- ✚ Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά , i=2 ,(P2)
- ✚ Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Αιολικά Πάρκα , i=1 ,(P3)
- ✚ Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Βιομάζα , i=1 ,(P4)

Θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά του συστήματος στιγμιαία. Το ηλεκτρικό δίκτυο χρειάζεται κάθε χρονική στιγμή (π.χ. ένα 24ωρο) μια συνολική ενέργεια  $E_{st}$  η οποία είναι άθροισμα των επιμέρους ποσοτήτων ενέργειας που θα αγοράζει από κάθε ενέργεια.

$$E_{st} = \sum_{i=1}^4 E_{it} = E_{1t} + E_{2t} + E_{3t} + E_{4t} \quad (7.1)$$

Το προφίλ κάθε τεχνολογίας έχει **4 βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά:**

1. **Κόστος Παραγωγής / KWh** . (ευρώ/KWh) -  $C_1$
2. **Περιβαλλοντική Επιβάρυνση** με παραγόμενα gr CO2 ανά παραγόμενη KWh (περιβαλλοντικό αποτύπωμα). Ποιοτικά βαθμονομείται αυτό το χαρακτηριστικό (0-1) -  $C_2$
3. **Δείκτης αξιοπιστίας** προσφερόμενης ενέργειας (έλλειψη στοχαστικότητας) - Ποιοτικά βαθμονομείται αυτό το χαρακτηριστικό (0-1) -  $C_3$
4. **Παραγωγικότητα (κοινωνικό αποτύπωμα)**. Στην ουσία πρόκειται για την απασχολησιμότητα που προσφέρει ανά παραγόμενη KWh. Ποιοτικά βαθμονομείται αυτό το χαρακτηριστικό (0-1) -  $C_4$

Παράλληλα υπάρχουν μια σειρά από penalties και bonus που σχετίζονται με ποιοτικά χαρακτηριστικά της παραγόμενης ενέργειας κάθε τεχνολογίας.





Συγκεκριμένα:

- ❖ **Penalty  $P_c$**  που σχετίζεται με τα παραγόμενα gr CO2 ανά MWh
- ❖ **Bonus  $P_b$**  που σχετίζεται με την αξιοπιστία της προσφερόμενης ενέργειας από κάθε τεχνολογία
- ❖ **Bonus  $P_p$**  που σχετίζεται με την παραγωγικότητα (κοινωνικό αποτύπωμα) της προσφερόμενης ενέργειας από κάθε τεχνολογία.

### 7.3.1 Υπολογισμός customized συντελεστών αξιολόγησης

Η παρούσα μελέτη, ως στόχο έχει να δώσει απαντήσεις σε ζητήματα που έχουν σχέση με το κόστος παραγόμενης ενέργειας από διαφορετικές τεχνολογίες παραγωγής, τον αριθμό εργαζομένων σε κάθε εγκατάσταση (κοινωνικό αποτύπωμα) αλλά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τον τρόπο λειτουργίας τους.

Οι τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας που θα εξεταστούν στη συνέχεια είναι οι εξής:

-  **Αιολικό Πάρκο Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας**
-  **Φωτοβολταϊκό Πάρκο Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας**
-  **Μονάδα Ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμη ύλη βιομάζα**
-  **Μονάδα Ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμη ύλη λιγνίτη.**

Αρχικά γίνεται μια προσπάθεια εύρεσης του λειτουργικού κόστους ανά παραγόμενη MWh σε κάθε μονάδα παραγωγής ενέργειας. Στη συνέχεια υπολογίζεται αριθμός εργαζομένων ανά παραγόμενη MWh και στο τέλος γίνεται αναφορά στην ποσότητα εκπομπής CO<sub>2</sub> από κάθε τεχνολογία παραγωγής ενέργειας.

Στην παρακάτω ανάλυση όλα τα δεδομένα έχουν προκύψει αθροιστικά από τα λειτουργικά κόστη και την συνολική παραγόμενη ενέργεια κάθε τεχνολογίας στο βάθος εικοσαετίας, όπου είναι και η διάρκεια ζωής του κάθε ενεργειακού project.

Στην ανάλυση των δεδομένων έγιναν οι εξής παραδοχές:

#### **Παραδοχές Οικονομικής Ανάλυσης**

1. Η παραγόμενη ενέργεια θα πωλείται για είκοσι (20 έτη αποκλειστικά στον ηλεκτρικό δίκτυο κατά τα όσα αναφέρονται στο άρθρο 13 του Ν.3468/06 περί τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς Α.Π.Ε., όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 5 του Ν.3851/2010.
2. Ο φορολογικός συντελεστής υπολογίζεται σε 25% λαμβάνοντας υπόψη το Ν.3296/2004 (και τις τροποποιήσεις αυτού έως σήμερα) περί φορολογίας εισοδήματος.
3. Η επίδραση του πληθωρισμού λαμβάνεται υπόψη στα κόστη, ο οποίος εκτιμάται σε μεσομακροπρόθεσμο ορίζοντα κατά μέσο όρο 3.0%.

#### **Οι λειτουργικές δαπάνες ανά κατηγορία είναι:**

1. Προσωπικό που θα απασχοληθεί (αμοιβή εργασίας και ασφαλιστικές εισφορές)
2. Δαπάνες Ασφάλισης
3. Ανταποδοτικά Τέλη από εκμετάλλευση δημόσιων, δημοτικών και ιδιωτικών εκτάσεων.
4. Συμβόλαια Συντήρησης εξοπλισμού
5. Αναλώσιμα και λοιπά ανταλλακτικά
6. Λοιπές δαπάνες
7. Κόστος Πρώτης Ύλης (όπου αυτό είναι αναγκαίο)

#### **Κόστος Παραγωγής**

Παρακάτω παρατίθεται οι ετήσιες προβλέψεις του συνολικού κόστους παραγωγής ταξινομημένο σε διάφορες κατηγορίες.

- Επισκευή / Συντήρηση Ανεμογεννητριών και Αιολικού Πάρκου: Για τον υπολογισμό των δαπανών συντήρησης των Α/Γ λαμβάνεται υπ' όψη η εγγύηση των 2 ετών από την έναρξη λειτουργίας του Αιολικού Πάρκου, που παρέχεται με μηδενικό επιπλέον κόστος από τη

κατασκευάστρια εταιρεία των Α/Γ.  
Από το τρίτο και πλέον χρόνο λειτουργίας του Αιολικού Πάρκου η εταιρεία θα αγοράσει συμβόλαια συντήρησης από τη κατασκευάστρια εταιρεία, τα οποία αφορούν λειτουργία – ανταλλακτικά – αναλώσιμα, με ετήσιο κόστος  $9 \text{ Α/Γ} \times 40.000\text{€}/\text{ΑΓ} = 360.000\text{€}$

- Τα συμβόλαια συντήρησης θα αγοραστούν μετά από 2 χρόνια λειτουργίας του αιολικού πάρκου, άρα το 3<sup>ο</sup> έτος λειτουργίας οι δαπάνες για τη συντήρηση θα είναι:  $360.000 * 1,03^2 = 381.924\text{€}$
- Επισκευή / Συντήρηση Ανεμογεννητριών και Αιολικού Πάρκου: Στις υπόλοιπες τρεις τεχνολογίες ο υπολογισμός των δαπανών συντήρησης γίνεται με βάση το 0,3% του συνολικού κόστους της κάθε εγκατάστασης.
- Ασφάλιση: Η κάθε τεχνολογία παραγωγής ενέργειας ασφαρίζεται κατά πολλαπλών κινδύνων (πυρκαγιά, κεραυνός, θύελλα, κακόβουλη ενέργεια, σεισμό κλπ) το δε ετήσιο κόστος ασφάλισης υπολογίζεται 4,5% επί του συνολικού κόστους του έργου.
- Λαμβάνεται υπ' όψη προσαύξηση τιμών ίση με 3.0% κάθε χρόνο.
- Η επένδυση θα βρίσκεται σε λειτουργία σε 2 χρόνια άρα το πρώτο έτος λειτουργίας οι δαπάνες για την ασφάλιση θα είναι:  $X * 1,03^2$
- Ανταποδοτικά Τέλη: Τα ετήσια ανταποδοτικά τέλη είναι ίσα με το 3% επί των εσόδων από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας, η ετήσια τιμή των οποίων αναπροσαρμόζεται σύμφωνα με τη μεταβολή των τιμολογίων της πωλούμενης κιλοβατώρας. Τα ανταποδοτικά τέλη θα καταβάλλονται στον εκάστοτε Δήμο από τη ΔΕΗ. Ανταποδοτικά τέλη υπάρχουν μόνο στην περίπτωση του Αιολικού Πάρκου.
- Λοιπές Δαπάνες: Στις λοιπές δαπάνες εντάσσονται όλες οι δαπάνες που δεν μπορούν να ενταχθούν στις προαναφερθείσες κατηγορίες π.χ. ενεργειακές καταναλώσεις, δαπάνες διάπλασης χώρου, δημόσιες σχέσεις, leasing αυτοκινήτων, καύσιμα, δαπάνες διαβίωσης προσωπικού.
- Λαμβάνεται υπ' όψη προσαύξηση τιμών ίση με 3% κάθε χρόνο.

## 7.4 Παρουσίαση Διαφορετικών Τεχνολογιών Παραγωγής Ενέργειας

### 7.4.1 Αιολικό Πάρκο

Η παρακάτω ανάλυση βασίστηκε στην αίτηση για χορήγηση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από εγκατάσταση αιολικού πάρκου ισχύος 18 MW στη θέση «Άγιος Ιωάννης», του Δήμου Διστόμου, Ν. Βιωτίας, όπου φορέας της επένδυσης είναι η εταιρεία Αιολική Πνοή. Η μελέτη είναι εγκεκριμένη από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας .

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ								
	ΜΙΣΘΟΙ	ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	ΑΣΦΑΛΙΣΗ	ΑΝΤΑΠΟΔΟΤΙΚΑ ΤΕΛΗ	ΣΥΜΒΟΛΑΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ & ΛΟΙΠΑ ΑΝΤ.	ΆΛΛΑ ΕΞΟΔΑ	
	5 ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΙ							
			24455042	5165569	40000	1500	10000	
			0,45%	3%	9ΑΓ	9ΑΓ	9ΑΓ	
							ΣΥΝΟΛΟ	
ΕΤΟΣ 1	80531		116750	154967	0	14322	95481	<b>462050</b>
ΕΤΟΣ 2	82947		120252	158686	0	12908	98345	<b>473139</b>
ΕΤΟΣ 3	85435		123860	162495	381924	9496	101296	<b>864505</b>
ΕΤΟΣ 4	87998		127575	166395	393382	7825	104335	<b>887510</b>
ΕΤΟΣ 5	90638		131403	170388	405183	8060	107465	<b>913137</b>
ΕΤΟΣ 6	93357		135345	174477	417339	8302	110689	<b>939509</b>
ΕΤΟΣ 7	96158		139405	178665	429859	8551	114009	<b>966647</b>
ΕΤΟΣ 8	99043		143587	182953	442755	8807	117430	<b>994574</b>
ΕΤΟΣ 9	102014		147895	187344	456037	9071	120952	<b>1023314</b>
ΕΤΟΣ 10	105074		152332	191840	469718	9344	124581	<b>1052889</b>
ΕΤΟΣ 11	108227		156902	196444	483810	12511	128318	<b>1086212</b>
ΕΤΟΣ 12	111473		161609	201159	498324	15860	132168	<b>1120593</b>
ΕΤΟΣ 13	114818		166457	205987	513274	19399	136133	<b>1156067</b>
ΕΤΟΣ 14	118262		171451	210930	528672	23136	140217	<b>1192668</b>
ΕΤΟΣ 15	121810		176594	215993	544532	27079	144424	<b>1230432</b>
ΕΤΟΣ 16	125464		181892	221176	560868	32354	148756	<b>1270511</b>
ΕΤΟΣ 17	129228		187349	226485	577694	35623	153219	<b>1309598</b>
ΕΤΟΣ 18	133105		192969	231920	595025	40243	157816	<b>1351078</b>
ΕΤΟΣ 19	137098		198758	237486	612876	45108	162550	<b>1393877</b>
ΕΤΟΣ 20	141211		204721	243186	631262	50228	167427	<b>1438035</b>

Πίνακας 8. Λειτουργικά Έξοδα Αιολικού Πάρκου

- Αθροιστικά από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι τα συνολικά λειτουργικά έξοδα σε βάθος εικοσαετίας είναι **21.126.346 €**.



ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ					
	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΑΠΩΛΕΙΕΣ Μ/Σ ΚΑΙ ΔΔ*	ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
	KWh/έτος	%	%	%	KWh/έτος
ΕΤΟΣ 0	0	2	98	100	0
ΕΤΟΣ 1	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 2	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 3	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 4	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 5	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 6	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 7	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 8	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 9	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 10	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 11	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 12	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 13	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 14	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 15	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 16	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 17	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 18	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 19	67232000	2	98	100	64569613
ΕΤΟΣ 20	67232000	2	98	100	64569613

Πίνακας 9. Διαθέσιμη Ενέργεια Αιολικού Πάρκου

- Η διαθέσιμη συνολική ενέργεια σε βάθος εικοσαετίας είναι **1.291.392.260 KWh (1.291.392 MW) με capacity προσφερόμενης ενέργειας 30%**.
- Επομένως τα λειτουργικά κόστη ανά παραγόμενη MWh είναι **16,36 €/ MWh**.
- Στη συγκεκριμένη μελέτη ο αριθμός των εργαζομένων που απασχολούνται είναι **5. Κοινωνικό Αποτύπωμα ( $5/1291392=0.39 * 10^{-5}$ )**

Συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν για τη τεχνολογία είναι:

Κόστος Παραγωγής	Περιβ.Αποτύπωμα(0-1)	Αξιοπιστία (0-1)	Κοινωνικό Αποτυπ.
16.36	0.1	0.3	3.9

## 7.4.2 Φωτοβολταϊκό Πάρκο

Η παρακάτω ανάλυση βασίστηκε στην αίτηση για χορήγηση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 990,72 KW στη θέση «Συκιά-Σάλι Μπέη-Σάλι Κάμπος», του Δ.Δ. Καστελλιανών, του Δήμου Αρκαλοχωρίου, Ν. Ηράκλειο, όπου φορέας της επένδυσης είναι η εταιρεία Κρητική Ενεργειακή Α.Ε.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ								
	ΜΙΣΘΟΙ	ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	ΑΣΦΑΛΙΣΗ	ΑΝΤΑΠΟΔΟΤΙΚΑ ΤΕΛΗ	ΣΥΜΒΟΛΑΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ & ΛΟΙΠΑ ΑΝΤ.	ΆΛΛΑ ΕΞΟΔΑ	
	0 ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΙ							
			2000000	0	2000000	2000000	627274	
			0,45%	3%	0,30%	0	0	
							ΣΥΝΟΛΟ	
ΕΤΟΣ 1			9548	0	0	4244	13309	<b>27101</b>
ΕΤΟΣ 2			9835	0	0	4371	13709	<b>27914</b>
ΕΤΟΣ 3			10130	0	6365	4502	14120	<b>35117</b>
ΕΤΟΣ 4			10433	0	6556	4637	14544	<b>36171</b>
ΕΤΟΣ 5			10746	0	6753	4776	14980	<b>37256</b>
ΕΤΟΣ 6			11069	0	6956	4919	15429	<b>38373</b>
ΕΤΟΣ 7			11401	0	7164	5067	15892	<b>39525</b>
ΕΤΟΣ 8			11743	0	7379	5219	16369	<b>40710</b>
ΕΤΟΣ 9			12095	0	7601	5376	16860	<b>41932</b>
ΕΤΟΣ 10			12458	0	7829	5537	17366	<b>43190</b>
ΕΤΟΣ 11			12832	0	8063	5703	17887	<b>44485</b>
ΕΤΟΣ 12			13217	0	8305	5874	18423	<b>45820</b>
ΕΤΟΣ 13			13613	0	8555	6050	18976	<b>47194</b>
ΕΤΟΣ 14			14022	0	8811	6232	19545	<b>48610</b>
ΕΤΟΣ 15			14442	0	9076	6419	20132	<b>50069</b>
ΕΤΟΣ 16			14876	0	9348	6611	20736	<b>51571</b>
ΕΤΟΣ 17			15322	0	9628	6810	21358	<b>53118</b>
ΕΤΟΣ 18			15782	0	9917	7014	21999	<b>54711</b>
ΕΤΟΣ 19			16255	0	10215	7224	22659	<b>56353</b>
ΕΤΟΣ 20			16743	0	10521	7441	23338	<b>58043</b>

Πίνακας 10. Λειτουργικά Έξοδα ΦΒ Πάρκου

- Αθροιστικά από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι τα συνολικά λειτουργικά έξοδα σε βάθος εικοσαετίας είναι **877.262 €**.

ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ					
	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΑΠΩΛΕΙΕΣ Μ/Σ ΚΑΙ ΔΔ*	ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
	KWh/έτος	%	%	%	KWh/έτος
ΕΤΟΣ 0	0	2	98	100	0
ΕΤΟΣ 1	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 2	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 3	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 4	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 5	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 6	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 7	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 8	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 9	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 10	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 11	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 12	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 13	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 14	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 15	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 16	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 17	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 18	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 19	1390000	2	98	100	1362200
ΕΤΟΣ 20	1390000	2	98	100	1362200

Πίνακας 11. Διαθέσιμη Ενέργεια ΦΒ Πάρκου

- Η διαθέσιμη συνολική ενέργεια σε βάθος εικοσαετίας είναι **27.244.000 KWh (27.244 MWh)**.
- Επομένως τα λειτουργικά κόστη ανά παραγόμενη MWh είναι **32,2 €/ MWh**.
- Στη συγκεκριμένη μελέτη ο αριθμός των εργαζομένων που απασχολούνται είναι 0. (Κοινωνικό Αποτύπωμα = 0)

Συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν για τη τεχνολογία είναι:

Κόστος Παραγωγής	Περιβ.Αποτύπωμα(0-1)	Αξιοπιστία (0-1)	Κοινωνικό Αποτυπ.
32.2	0.0	0.7	0

### 7.4.3 Μονάδα Ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμη ύλη Βιομάζα

Η παρακάτω ανάλυση βασίστηκε στην αίτηση για χορήγηση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμη ύλη βιομάζα ισχύως 2,3MW στη θέση «Λαγκουνάρα-Χωρίζι-Στημένα», του Δήμου Καλύμνου, Ν. Δωδεκανήσων, όπου φορέας της επένδυσης είναι η εταιρεία Πεταλάς Ιωάννης Α.Ε.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ								
	ΜΙΣΘΟΙ	ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	ΑΣΦΑΛΙΣΗ	ΑΝΤΑΠΟΔΟΤΙΚΑ ΤΕΛΗ	ΣΥΜΒΟΛΑΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ & ΛΟΙΠΑ ΑΝΤ.	ΆΛΛΑ ΕΞΟΔΑ	
	8 ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΙ							
		23919 τόνοι	7306228	0	7306228	7306228	3278800	
		70 ευρώ/τόνο	0,45%	3%	0,30%	0	0	
								ΣΥΝΟΛΟ
ΕΤΟΣ 1	200000	1776297	34880	0	0	14612	69570	<b>2095359</b>
ΕΤΟΣ 2	206000	1829586	35927	0	0	15051	71657	<b>2158220</b>
ΕΤΟΣ 3	212180	1884473	37005	0	23254	15502	73806	<b>2246220</b>
ΕΤΟΣ 4	218545	1941007	38115	0	23951	15967	76021	<b>2313607</b>
ΕΤΟΣ 5	225102	1999238	39258	0	24670	16446	78301	<b>2383015</b>
ΕΤΟΣ 6	231855	2059215	40436	0	25410	16940	80650	<b>2454505</b>
ΕΤΟΣ 7	238810	2120991	41649	0	26172	17448	83070	<b>2528140</b>
ΕΤΟΣ 8	245975	2184621	42898	0	26957	17971	85562	<b>2603985</b>
ΕΤΟΣ 9	253354	2250160	44185	0	27766	18511	88129	<b>2682104</b>
ΕΤΟΣ 10	260955	2317664	45511	0	28599	19066	90773	<b>2762567</b>
ΕΤΟΣ 11	268783	2387194	46876	0	29457	19638	93496	<b>2845444</b>
ΕΤΟΣ 12	276847	2458810	48282	0	30341	20227	96301	<b>2930808</b>
ΕΤΟΣ 13	285152	2532574	49731	0	31251	20834	99190	<b>3018732</b>
ΕΤΟΣ 14	293707	2608552	51223	0	32188	21459	102165	<b>3109294</b>
ΕΤΟΣ 15	302518	2686808	52760	0	33154	22103	105230	<b>3202573</b>
ΕΤΟΣ 16	311593	2767412	54342	0	34149	22766	108387	<b>3298650</b>
ΕΤΟΣ 17	320941	2850435	55973	0	35173	23449	111639	<b>3397609</b>
ΕΤΟΣ 18	330570	2935948	57652	0	36228	24152	114988	<b>3499537</b>
ΕΤΟΣ 19	340487	3024026	59381	0	37315	24877	118438	<b>3604524</b>
ΕΤΟΣ 20	350701	3114747	61163	0	38435	25623	121991	<b>3712659</b>

Πίνακας 12. Λειτουργικά Έξοδα Μονάδας Βιομάζας

- Τα συνολικά λειτουργικά έξοδα σε βάθος εικοσαετίας είναι **56.847.550 €**.

ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ					
	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΣ ΚΑΙ ΔΔ*	ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
	KWh/έτος	%	%	%	KWh/έτος
ΕΤΟΣ 0	0	2	98	100	0
ΕΤΟΣ 1	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 2	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 3	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 4	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 5	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 6	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 7	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 8	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 9	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 10	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 11	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 12	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 13	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 14	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 15	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 16	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 17	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 18	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 19	18736000	2	98	100	18361280
ΕΤΟΣ 20	18736000	2	98	100	18361280

Πίνακας 13. Διαθέσιμη Ενέργεια Μονάδας Βιομάζας

- Η διαθέσιμη συνολική ενέργεια σε βάθος εικοσαετίας είναι **367.225.600 KWh (367.226MWh)**.
- Επομένως τα λειτουργικά κόστη ανά παραγόμενη MWh είναι **154,8 €/ MWh**.
- Στη συγκεκριμένη μελέτη ο αριθμός των εργαζομένων που απασχολούνται είναι 8.
- (Κοινωνικό Αποτύπωμα =  $8/367226=2.1 * 10^{-5}$ )

Συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν για τη τεχνολογία είναι:

Κόστος Παραγωγής	Περιβ.Αποτύπωμα(0-1)	Αξιοπιστία (0-1)	Κοινωνικό Αποτυπ.
154.8	0.4	0.9	0.21

#### 7.4.4 Μονάδα Ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμη ύλη Λιγνίτη

Σήμερα, η παραγωγή της ΔΕΗ ουσιαστικά επιδοτείται από το κράτος (δωρεάν διάθεση λιγνιτωρυχείων) ενώ στο κόστος παραγωγής δεν περιλαμβάνεται το εξωτερικό κόστος, ούτε όμως και το κόστος των δικαιωμάτων εκπομπών (που από 1-1- 2013 θα επιβαρύνει σημαντικά τη λιγνιτική κίλοβατώρα), με αποτέλεσμα το (ανηγμένο) κόστος της λιγνιτικής κίλοβατώρας της ΔΕΗ να μην ξεπερνά σήμερα τα 5 eurocents/kWh.

Σύμφωνα με μελέτη της Booz Allen Hamilton, το υψηλότερο λειτουργικό κόστος παρουσιάζεται στις παλαιές μονάδες Μεγαλόπολη I (91,3 €/MWh) και Μεγαλόπολη II (80,1 €/MWh). Ο μέσος όρος του λειτουργικού κόστους αντιστοιχών μονάδων εκτός Ελλάδος, ανέρχεται σε 41,9 €/MWh, ενώ στην Ελλάδα η μεγαλύτερη απόδοση (σταθμός Φλώρινας) δεν ξεπερνά τα 26,6 €/MWh.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σε αυτό το κόστος δεν περιλαμβάνεται το εξωτερικό κόστος, δηλαδή το κόστος από τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, στην αλλαγή του κλίματος, στην τοπική ρύπανση και στην υγεία των τοπικών κοινοτήτων. Σύμφωνα με το κοινοτικό πρόγραμμα ExternE (<http://www.externe.info/results.html>) αυτό ανέρχεται σε 4,6-25,5 eurocents/kWh (ανάλογα με τον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής, με μέση εκτίμηση 8 eurocents/kWh), ενώ η πιο απαισιόδοξη εκτίμηση (για το σταθμό της Μεγαλόπολης – μονάδες I-III) ανεβάζει το κόστος αυτό σε 72 eurocents/kWh.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Power station	Total external cost (million €/yr)	Marginal external cost (€/MWh)
Kozani - Agios Dimitrios	392.6	34.19
Keratsini	18.0	10.87
Aliveri	46.4	34.91
Amyndaion	164.6	42.73
Kozani - Kardias	293.1	32.19
Komotini	23.3	8.76
Lavrion	94.9	17.23
Megalopolis	518.7	93.15
Ptolemaida	151.3	39.99
Florina	60.2	27.15
Rhodes	43.3	62.82
Crete - Linoperamata	48.3	39.95
Crete - Chania	35.0	36.29
Total	1,889.8	37.77

*D. Georgakellos, External cost of air pollution from thermal power plants: case of Greece (2007), International Journal of Energy Sector Management, Vol. 1 Iss: 3, pp.257 – 272, <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1621831>*

**Table 3. External costs of existing and candidate power units (mEURO/kWh)**

	Low External Cost estimates	Mean External Cost estimates	High External Cost estimates
<i>Existing Units</i>			
Lignite 1 (Ptolemais)	108.90	135.96	584.1
Lignite 2 (Kardia)	73.92	98.67	451.44
Lignite 3 (St. Dimitrios)	101.97	128.04	548.79
Lignite 4 (Megalopoli A)	121.11	154.44	720.72
Lignite 5 (Megalopoli B)	40.26	64.35	332.64
Lignite 6 (Amyntaio)	214.5	254.76	1118.7
Lignite 7 (St. Dimitrios V)	24.75	46.20	269.61
Fuel oil	25.41	47.19	214.17
Natural gas	4.95	14.06	80.38
Hydro	3.76	4.88	6.00
<i>Scheduled and Candidate Units</i>			
Lignite	24.75	46.20	269.61
Natural gas	4.95	14.06	80.38
Hydro	3.76	4.88	6.00
Wind	2.19	2.41	6.04
Biomass	3.47	3.99	14.52
Photovoltaics	1.03	1.40	6.30

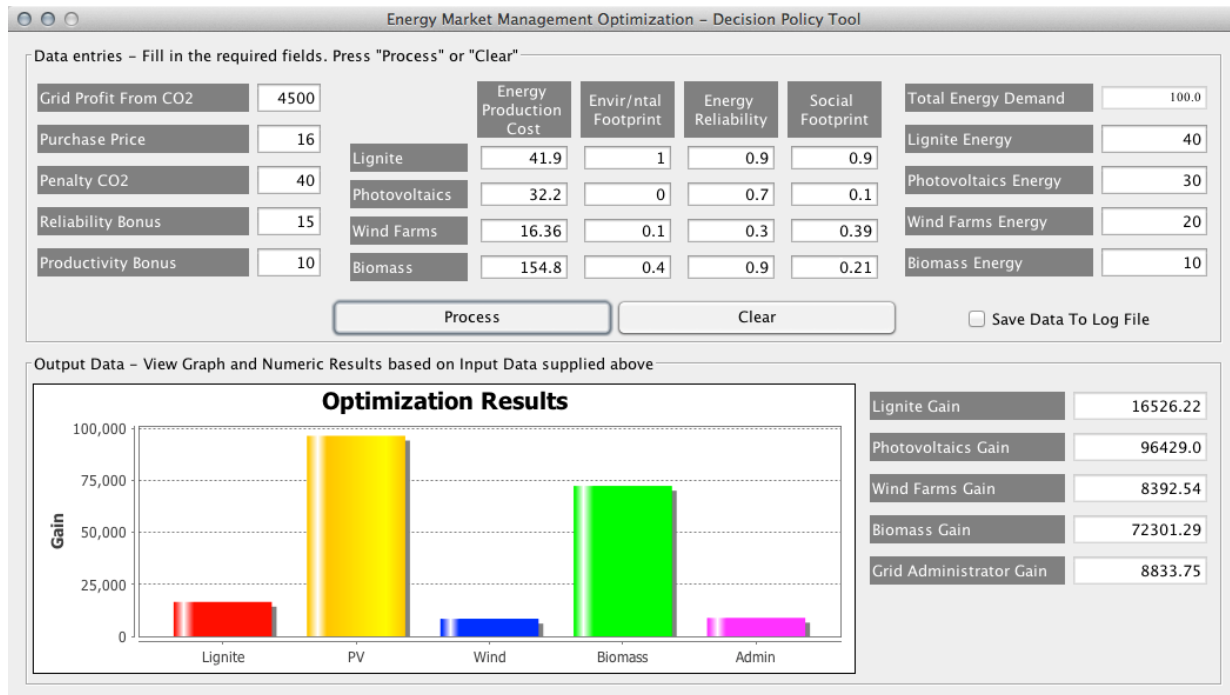
*Diakoulaki D., Mirasgentis S., Tziantzi M. (2001). Environmental externalities and the development of renewable energy sources. Laboratory of Industrial and Energy Economics, Department of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, [www.soc.uoc.gr/calendar/2000EAERE/papers/PDF/F4-Diakoulaki.pdf](http://www.soc.uoc.gr/calendar/2000EAERE/papers/PDF/F4-Diakoulaki.pdf)*

**Συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν για τη τεχνολογία είναι:**

Κόστος Παραγωγής	Περιβ.Αποτύπωμα(0-1)	Αξιοπιστία (0-1)	Κοινωνικό Αποτυπ.
41.9	1	0.9	6

## 7.5 Δοκιμαστικό run αλγορίθμου – Ανάπτυξη Εφαρμογής

Στη συνέχεια αναπτύχθηκε σε περιβάλλον java εφαρμογή (βλ. Παράρτημα) που στατικά μας δίνει την επιλογή να εφαρμόζουμε σημειακές πολιτικές και να βλέπουμε τα κέρδη τόσο των τεχνολογιών (minor players) αλλά και του κεντρικού παίκτη του Διαχειριστή του Δικτύου (major player)



Στη συνέχεια παρουσιάζονται 7 διαφορετικές περιπτώσεις. Μέσω της τιμολογιακής πολιτικής κέρδη του δικτύου και των τεχνολογιών.

### Energy Market Management Optimization Log File

<b>INPUT DATA</b>	<b>Case 1</b>	<b>Case 2</b>	<b>Case 3</b>	<b>Case 4</b>	<b>Case 5</b>	<b>Case 6</b>	<b>Case 7</b>
Grid Profit From CO2:	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0
Purchase Price:	<b>16.0</b>	<b>18.0</b>	<b>22.0</b>	<b>25.0</b>	<b>22.0</b>	<b>26.0</b>	<b>15.0</b>
Penalty CO2:	<b>40.0</b>	<b>40.0</b>	<b>25.0</b>	<b>30.0</b>	<b>20.0</b>	<b>20.0</b>	<b>35.0</b>
Reliability Bonus:	<b>15.0</b>	<b>15.0</b>	<b>15.0</b>	<b>30.0</b>	<b>15.0</b>	<b>20.0</b>	<b>25.0</b>
Productivity Bonus:	<b>10.0</b>	<b>10.0</b>	<b>10.0</b>	<b>5.0</b>	<b>10.0</b>	<b>25.0</b>	<b>20.0</b>
Lignite Energy Prod. Cost:	41.9	41.9	41.9	41.9	41.9	41.9	41.9
Lignite Env. Footprint:	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Lignite Energy Reliability:	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Lignite Social Footprint:	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
PV Energy Production Cost:	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2
PV Env. Footprint:	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
PV Energy Reliability:	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
PV Social Footprint:	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Wind Energy Prod. Cost:	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36
Wind Env. Footprint:	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Wind Energy Reliability:	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Wind Social Footprint:	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
Biomass Energy Prod. Cost:	154.8	154.8	154.8	154.8	154.8	154.8	154.8
Biomass Env. Footprint:	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Biomass Energy Reliability:	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9



Biomass Social Footprint:	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Total Energy(estimation):	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Lignite Energy:	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
Photovoltaics Energy:	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Wind Farms Energy:	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Biomass Energy:	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
<b>OUTPUT</b>							
<b>Lignite Gain:</b>	16526.22	16606.22	17366.22	8515.11	17566.22	45839.56	35668.44
<b>Photovoltaics Gain:</b>	96429.0	96489	96609	48714	96609	241734	193209
<b>Wind Farms Gain:</b>	8392.54	8432.54	8542.54	4487.67	8552.54	21247.16	16832.29
<b>Biomass Gain:</b>	72301.29	72321.29	72421.29	35709.14	72441.29	183097.71	146115.57
<b>Grid Administrator Gain:</b>	<b>8833.75</b>	<b>8633.75</b>	<b>7543.75</b>	<b>105056.87</b>	<b>7313.75</b>	<b>-289435.63</b>	<b>-189342.5</b>

<b>INPUT DATA</b>	<b>Case 8</b>	<b>Case 9</b>	<b>Case 10</b>	<b>Case 11</b>	<b>Case 12</b>	<b>Case 13</b>	<b>Case 14</b>
Grid Profit From CO2:	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
Purchase Price:	16	16	16	16	16	16	16
Penalty CO2:	40	40	40	40	40	40	40
Reliability Bonus:	10	10	10	10	10	10	10
Productivity Bonus:	10	10	10	10	10	10	10
Lignite Energy Prod. Cost:	<b>41.9</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>23</b>	<b>30</b>
Lignite Env. Footprint:	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>
Lignite Energy Reliability:	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.7</b>
Lignite Social Footprint:	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>
PV Energy Production Cost:	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2
PV Env. Footprint:	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
PV Energy Reliability:	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
PV Social Footprint:	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Wind Energy Prod. Cost:	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36
Wind Env. Footprint:	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Wind Energy Reliability:	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Wind Social Footprint:	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
Biomass Energy Prod. Cost:	154.8	154.8	154.8	154.8	154.8	154.8	154.8
Biomass Env. Footprint:	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Biomass Energy Reliability:	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Biomass Social Footprint:	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Total Energy(estimation):	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Lignite Energy:	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
Photovoltaics Energy:	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Wind Farms Energy:	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Biomass Energy:	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
<b>OUTPUT</b>							
<b>Lignite Gain:</b>	<b>16346.22</b>	<b>13555.56</b>	<b>14035.56</b>	<b>15546.67</b>	<b>15080</b>	<b>11942.86</b>	<b>11613.33</b>
<b>Photovoltaics Gain:</b>	96324	96324	96324	96324	96324	96324	96324
<b>Wind Farms Gain:</b>	8362.54	8362.54	8362.54	8362.54	8362.54	8362.54	8362.54
<b>Biomass Gain:</b>	72256.29	72256.29	72256.29	72256.29	72256.29	72256.29	72256.29
<b>Grid Administrator Gain:</b>	<b>9193.75</b>	<b>12260.42</b>	<b>-42219.6</b>	<b>-43330.7</b>	<b>-42664.03</b>	<b>-21646.89</b>	<b>-3597.36</b>

<b>INPUT DATA</b>	<b>Case 15</b>	<b>Case 16</b>	<b>Case 17</b>	<b>Case 18</b>	<b>Case 19</b>	<b>Case 20</b>	<b>Case 21</b>
Grid Profit From CO2:	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0	4500.0
Purchase Price:	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
Penalty CO2:	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
Reliability Bonus:	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Productivity Bonus:	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Lignite Energy Prod. Cost:	41.9	41.9	41.9	41.9	41.9	41.9	41.9
Lignite Env. Footprint:	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Lignite Energy Reliability:	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Lignite Social Footprint:	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
PV Energy Production Cost:	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2

PV Env. Footprint:	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
PV Energy Reliability:	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
PV Social Footprint:	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Wind Energy Prod. Cost:	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36	16.36
Wind Env. Footprint:	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Wind Energy Reliability:	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Wind Social Footprint:	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
Biomass Energy Prod. Cost:	<b>154.8</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>154.8</b>	154.8	154.8	154.8
Biomass Env. Footprint:	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	0.4	0.4	0.4
Biomass Energy Reliability:	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	0.9	0.9	0.9
Biomass Social Footprint:	<b>0.21</b>	<b>0.21</b>	<b>0.15</b>	<b>0.7</b>	0.21	0.21	0.21
Total Energy(estimation):	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Lignite Energy:	40.0	40.0	40.0	40.0	<b>40.0</b>	<b>30.0</b>	<b>15.0</b>
Photovoltaics Energy:	30.0	30.0	30.0	30.0	<b>30.0</b>	<b>30.0</b>	<b>35.0</b>
Wind Farms Energy:	20.0	20.0	20.0	20.0	<b>20.0</b>	<b>20.0</b>	<b>15.0</b>
Biomass Energy:	10.0	10.0	10.0	10.0	<b>10.0</b>	<b>20.0</b>	<b>35.0</b>

**OUTPUT**

<b>Lignite Gain:</b>	16526.22	16526.22	16526.22	16526.22	<b>16526.22</b>	<b>12394.67</b>	<b>6197.33</b>
<b>Photovoltaics Gain:</b>	96429.0	96429.0	96429.0	96429.0	<b>96429.0</b>	<b>96429.0</b>	<b>112500.5</b>
<b>Wind Farms Gain:</b>	8392.54	8392.54	8392.54	8392.54	<b>8392.54</b>	<b>8392.54</b>	<b>6294.41</b>
<b>Biomass Gain:</b>	<b>72301.29</b>	<b>60739.76</b>	<b>85446.67</b>	<b>20581.29</b>	<b>72301.29</b>	<b>144602.57</b>	<b>253054.5</b>
<b>Grid Administrator Gain:</b>	<b>8833.75</b>	<b>20643.27</b>	<b>436.37</b>	<b>74053.75</b>	<b>8833.75</b>	<b>-87464.98</b>	<b>-248215.6</b>

## Κεφάλαιο 8

### Εφαρμογή: Ενεργειακή βελτιστοποίηση λειτουργίας υδρευτικού συστήματος με εφαρμογή στη ΔΕΥΑΧ Χανίων.

#### 8.1 Εισαγωγή

Η εξοικονόμηση και η μείωση του κόστους χρήσης της ενέργειας, καθώς επίσης και ο περιορισμός της ανάγκης συνεχούς αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος του Ηλεκτρικού Συστήματος αποτελούν επιτακτικές ανάγκες στο σύγχρονο πεδίο της ενέργειας. Η Ελλάδα αντιμετωπίζοντας, ειδικά τους θερινούς μήνες, προβλήματα υπερφόρτωσης του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έχει στραφεί στη προσπάθεια βέλτιστης διαχείρισης της κατανάλωσης και διανομής της ισχύος του συστήματος.

Παράλληλα η γεωγραφική και γεωφυσική θέση της Ελλάδος σε συνδυασμό με το Μεσογειακό κλίμα δημιουργούν την ανάγκη για βέλτιστη διαχείριση και ενός άλλου «κοινωνικού αγαθού», του νερού. Το θερμό και ξηρό κλίμα του Ελλαδικού χώρου σε συνδυασμό με το φτωχό σε αποθέματα νερού υπέδαφος, καθιστούν ζωτικής σημασίας τη λελογισμένη κατανάλωση του νερού και ειδικά σε περιοχές της νησιωτικής Ελλάδας που το πρόβλημα παρατηρείται πιο έντονο.

Βασικοί παράγοντες επίσης αυτής της έντασης του προβλήματος είναι η αύξηση της κατανάλωσης λόγω της πληθυσμιακής αύξησης, της αλλαγής των συνθηκών και των απαιτήσεων ζωής (καταναλωτικό μοντέλο) και της αλόγιστης κατανάλωσης, που είναι συνδυασμένη με ένα παραγωγικό και αναπτυξιακό μοντέλο αδηφάγο και αδιάφορο για τους φυσικούς πόρους. Τα φαινόμενα αυτά συντελούν δευτερογενώς και στην αύξηση της ρύπανσης με την ανέλεγκτη διάθεση εκροών.

Στην Ελλάδα, οι υδρολογικές και γεωμορφολογικές ανισότητες (άνιση χωροχρονική κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και κατά μείζονα λόγο των απορροών, έντονες γεωμορφολογικές διαφοροποιήσεις ανά υδατικό διαμέρισμα), σε συνδυασμό με τη χρονική αντιστροφή της κατανομής της ζήτησης και της υπερσυγκέντρωσής της σε περιορισμένους χώρους με ασήμαντους υδατικούς πόρους, δεν ευνοούν βέβαια από οικονομοτεχνική άποψη την τεχνικά αξιόπιστη και οικονομικά εφικτή κάλυψη των αναγκών στις διάφορες χρήσεις του νερού.

Η κρισιμότητα των θεμάτων διαχείρισης υδατικών πόρων εντείνεται από τις επιλογές χωρίς σχεδιασμό και πρόβλεψη, την υποτίμηση των προβλημάτων ποιότητας και ποσότητας των υδατικών πόρων και την καθυστέρηση εισαγωγής του περιβαλλοντικού παράγοντα στον αναπτυξιακό σχεδιασμό και στην διαδικασία της αγοράς.

Η πολυδιάσπαση και η ανταγωνιστικότητα των σχετικών με τους υδατικούς πόρους αρμοδιοτήτων σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, η απουσία προσωπικού και υλικοτεχνικής υποδομής, η έλλειψη σχεδιασμού και προγραμματισμού έχουν το προφανές αποτέλεσμα μιας περιστασιακής και μη ορθολογικής διαχείρισης.

Η περιοχή των Χανίων, όπως και η πλειονότητα των επαρχιακών πόλεων της Ελλάδος, όσο αφορά στις ανάγκες τους σε ύδρευση και άρδευση στηρίζονται σε μια σειρά γεωτρήσεων σε ένα δίκτυο δεξαμενών που διασυνδέονται μεταξύ τους. Η διακίνηση των ποσοτήτων νερού από δεξαμενή σε δεξαμενή και στη τελική κατανάλωση γίνεται μέσω ενός δικτύου ηλεκτρικών αντλιών-αντλιοστασίων.

Συγκεκριμένα, στόχος μας είναι η δημιουργία λογισμικού διαχείρισης ενέργειας (ΛΔΕ), το οποίο να αναπροσαρμόζει τη λειτουργία των αντλιοστασίων **με γνώμονα τη βελτιστοποίηση της τιμολογιακής δαπάνης προς τη ΔΕΗ και της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης**, λαμβάνοντας υπόψη :

1. Τα όρια ασφαλείας της στάθμης των δεξαμενών.
2. Τη συχνότητα επανεκκινήσεων αντλιών.
3. Το προφίλ ζήτησης ενέργειας και κατ' επέκταση το προφίλ ζήτησης νερού

Το βασικό χαρακτηριστικό της προτεινόμενης λύσης είναι η εφαρμογή μεθόδων βελτίστου ελέγχου. Αυτό σημαίνει τη δημιουργία μιας δυναμικά μεταβαλλόμενης αλληλουχίας ενεργειών. Η

βασική λειτουργία της μεθόδου πρέπει να υλοποιείται δίχως την αναγκαιότητα ανθρώπινης παρέμβασης.

Συγκεκριμένα διατυπώνουμε το πρόβλημα ως ένα δυναμικό πρόβλημα, διακριτού χρόνου, γραμμικό ως προς την κατάσταση και τον έλεγχο, με γραμμικούς περιορισμούς στην κατάσταση και τις τιμές του ελεγκτή. Το κόστος είναι μη γραμμικό στη περίπτωση που εξετάζουμε και αυτή η μη γραμμικότητα οφείλεται στο τιμολόγιο της ΔΕΗ που συναρτά το κόστος με τη μέγιστη καταναλισκόμενη ενέργεια με σκοπό την εξομάλυνση των απαιτήσεων των καταναλωτών και το περιορισμών των αιχμών ζήτησης. Χρησιμοποιώντας ένα απλό μετασχηματισμό μετατρέπουμε το κόστος από μη γραμμικό σε γραμμικό και έτσι μπορούμε να λύσουμε το πρόβλημα με γραμμικό προγραμματισμό αποφεύγοντας έτσι τη χρήση πολύπλοκων μη γραμμικών ή στοχαστικών μεθόδων βελτιστοποίησης. Το μοντέλο είναι εύκολο να επεκταθεί για κάλυψη γενικότερων περιπτώσεων με περισσότερες αντλίες και τυχόν άλλους περιορισμούς.

Το θέμα που πραγματευόμαστε είναι αρκετά σημαντικό και έχουν ασχοληθεί μαζί του και άλλοι μελετητές. Στο τέλος του κειμένου αναφέρονται ενδεικτικά κάποια references και σχετική βιβλιογραφία.

## 8.2 ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΩΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ-ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Όπως θα προκύψει από τη λεπτομερή παρουσίαση του προβλήματος μας η θεωρητική περιγραφή του είναι η εξής. Δίνεται ένα γραμμικό σύστημα διακριτού χρόνου:

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k \quad (8.1)$$

Το κόστος είναι:

$$J = \sum_{k=0}^N c_k u_k \quad (\text{άθροισμα εσωτερικών γινομένων}) \quad (8.2)$$

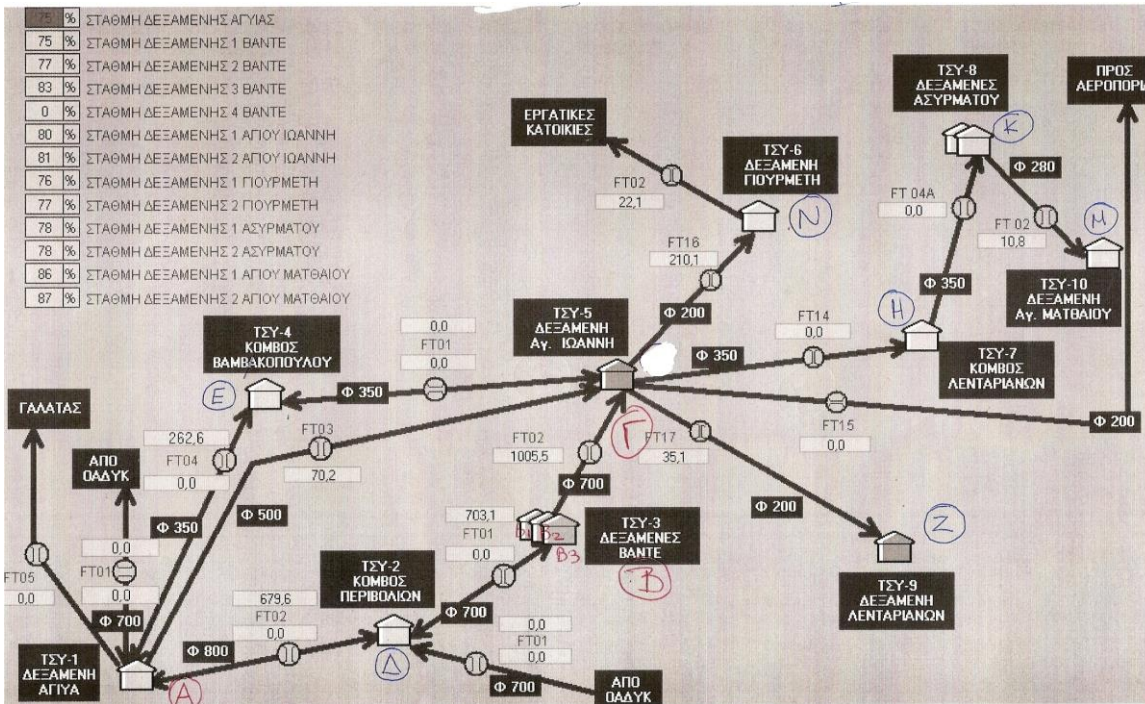
ενώ πρέπει να ικανοποιούνται περιορισμοί της μορφής :  $C_k u_k + D_k x_k \leq d_k$

όπου A,B,C,D είναι μήτρες κατάλληλων διαστάσεων και  $x_k, u_k, c_k, d_k$  διανύσματα.

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να επιλυθεί μέσω της αρχής ελαχίστου του Pontryagin για συστήματα διακριτού χρόνου ή μέσω δυναμικού προγραμματισμού. Αν ο χρονικός ορίζοντας N που θέλουμε να μελετήσουμε το σύστημα είναι μικρός, τότε μπορούμε να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα απευθείας με γραμμικό προγραμματισμό με πιο γρήγορα και άμεσα αποτελέσματα και αυτή είναι η μεθοδολογία που ακολουθούμε .

### 8.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Ύστερα από αυτοψία στο χώρο των Χανίων όπως επίσης και αντλώντας στοιχεία και δεδομένα από το σύστημα SCADA που είναι εγκατεστημένο στην περιοχή έχουμε αναλυτικά το πιο κάτω γράφημα:

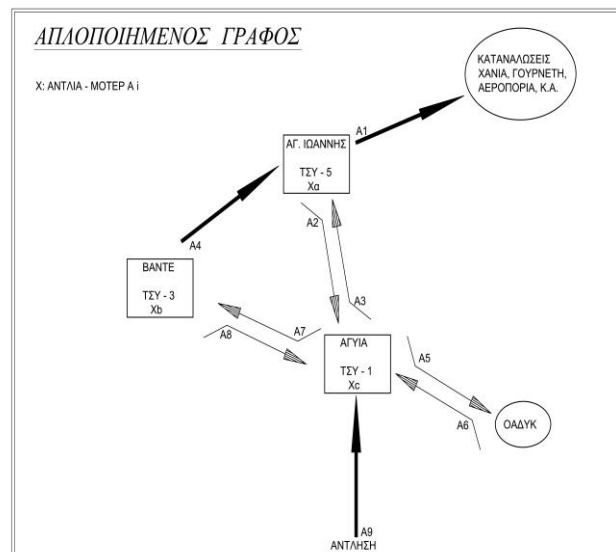


ΣΧΗΜΑ 1 Διάγραμμα Συστήματος Άρδευσης Περιοχής Χανίων

Από τον πλήρη γράφο του συστήματος προχωρήσαμε αρχικά σε μια σειρά απλοποιήσεων και παραδοχών. Συγκεκριμένα θεωρούμε την ύπαρξη δεξαμενής συγκέντρωσης μεγάλης ποσότητας νερού μόνο στις περιοχές

- Αγ. Ιωάννης
- Βαντέ
- Αγγιά

Οι υπόλοιπες περιοχές παρουσιάζονται μόνο ως καταναλώσεις που αντλούν ποσότητες νερού ανάλογα με το εκάστοτε demand από τις δεξαμενές αυτές. Ποιες είναι οι πορείες ποσοτήτων νερού φαίνονται από το σχήμα 2.



ΣΧΗΜΑ 2

Το εξεταζόμενο σύστημα όπως παρατηρούμε και στο άνωθι γράφημα αποτελείται από τρεις δεξαμενές. Η δεξαμενή του Βαντέ που θα συμβολίζεται ως W, η δεξαμενή του Α.Ιωάννη που θα συμβολίζεται ως V και η δεξαμενή της Αγυιάς που θα συμβολίζεται ως Q. Η δειγματοληψία της στάθμης θα γίνεται κάθε 6 ώρες. Με A1,A2...A6 ορίζεται ο ρυθμός μεταγωγής των υδάτων σε μια δεξαμενή. ( $m^3/h$ ). Ανάμεσα στις δεξαμενές και γενικότερα ανάμεσα στο σημείο εκκίνησης και άφιξης μεσολαβεί μια αντλία. Οι αντλίες αυτές έχουν διακόπτες που συμβολίζονται  $\Delta A1_k, \Delta A2_k, \dots, \Delta A3_k$  όπου κ συμβολίζονται οι χρονικές στάθμες όπου γίνεται η δειγματοληψία. Εφόσον παίρνουμε μετρήσεις κάθε 6 έχω : κ=0 αναφέρεται στις 00:00, κ=1 στις 6:00, κ=2 στις 12:00 και κ=3 στις 18:00.

#### 8.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ-ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η ποσότητα του νερού ( $m^3$ ) σε κάθε δεξαμενή συμβολίζεται  $W_i, V_i, Q_i$  ενώ η ποσότητα του νερού μέσα στις δεξαμενές σε κάθε δειγματοληψία συμβολίζεται ως:

$$\begin{aligned} W_{k+1} &= W_k + 6 * A7 * \Delta A7_k - 6 * A8 * \Delta A8_k - 6 * A4 * \Delta A4_k \\ V_{k+1} &= V_k + 6 * A4 * \Delta A4_k + 6 * A3 * \Delta A3_k - 6 * A2 * \Delta A2_k - 6 * A1 * \Delta A1_k \\ Q_{k+1} &= Q_k + 6 * A2 * \Delta A2_k + 6 * A8 * \Delta A8_k + 6 * A9 * \Delta A9_k + 6 * A6 * \Delta A6_k \\ &\quad - 6 * A7 * \Delta A7_k - 6 * A5 * \Delta A5_k - 6 * A3 * \Delta A3_k \end{aligned} \quad (8.3)$$

Αυτές είναι οι εξισώσεις καταστάσεως του συστήματος.

Οι παροχές  $A_i$  που συμβολίζονται θεωρούνται στο παρόν στάδιο σταθερές και είναι οι εξής:

$A1=950 \text{ m}^3/h$	$A4=550 \text{ m}^3/h$	$A7=750 \text{ m}^3/h$
$A2=700 \text{ m}^3/h$	$A5=600 \text{ m}^3/h$	$A8=650 \text{ m}^3/h$
$A3=850 \text{ m}^3/h$	$A6=650 \text{ m}^3/h$	$A9=950 \text{ m}^3/h$

Στα διαφορετικά χρονικά επίπεδα έχουμε διαφορετικές ποσότητες νερού σε κάθε δεξαμενή. Συγκεκριμένα:

Ωρα	Συμβολισμός Δεξαμενής
6:00	W1, V1, Q1
12:00	W2, V2, Q2
18:00	W3, V3, Q3
24:00	W4, V4, Q4

Οι δεξαμενές έχουν αρχική ποσότητα νερού:  $W_0=1500 \text{ m}^3$ ,  $V_0=2500 \text{ m}^3$ ,  $Q_0=3500 \text{ m}^3$

Επίσης βάσει γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δεξαμενών αλλά και του προφίλ ζήτησης της περιοχής υπάρχουν κατώτερα και ανώτερα όρια πλήρωσης της κάθε δεξαμενής:

Δηλαδή:	$W_{\min}=1000 \text{ m}^3$	$V_{\min}=2000 \text{ m}^3$	$Q_{\min}=3000 \text{ m}^3$
	$W_{\max}=5500 \text{ m}^3$	$V_{\max}=6500 \text{ m}^3$	$Q_{\max}=8000 \text{ m}^3$

$$1000 \leq W1, W2, W3, W4 \leq 5500$$

$$2000 \leq V1, V2, V3, V4 \leq 6500$$

$$3000 \leq Q1, Q2, Q3, Q4 \leq 8000$$

Στο όλο εγχείρημα οι μεταβλητές που μας ενδιαφέρουν και θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά τους είναι οι διακόπτες  $\Delta A_{ij}$  ( $\Delta A_{ij}$ : διακόπτης διαδρομής  $i$  χρονική περίοδο  $j$ ) των αντλιών σε κάθε όδευση του νερού. Η μελέτη μας θα γίνει θεωρώντας αυτές τους διακόπτες αναλογικούς αρχικά και στη συνέχεια δυαδικούς (1 ή 0).

Οι παράμετροι των αντλιών είναι:

- $J$  : η ισχύς της αντλίας σε kw - 20kW
- $R$ : ευρώ ανά κιλοβατώρα (ευρώ/kwh) – 0,4 € /kWh

Το κόστος  $R$  στο συγκεκριμένο στάδιο μελέτης θα το θεωρήσουμε γραμμικά σταθερό 0,4 € /kWh.

Οι αναλυτικές παραμετρικές εξισώσεις της κάθε δεξαμενής:

### ΔΕΞΑΜΕΝΗ W

$$\begin{aligned} W_1 &= 1500 + 6 * A_7 * \Delta A_{7_0} - 6 * A_8 * \Delta A_{8_0} - 6 * A_4 * \Delta A_{4_0} \\ W_2 &= W_1 + 6 * A_7 * \Delta A_{7_1} - 6 * A_8 * \Delta A_{8_1} - 6 * A_4 * \Delta A_{4_1} \\ W_3 &= W_2 + 6 * A_7 * \Delta A_{7_2} - 6 * A_8 * \Delta A_{8_2} - 6 * A_4 * \Delta A_{4_2} \\ W_4 &= W_3 + 6 * A_7 * \Delta A_{7_3} - 6 * A_8 * \Delta A_{8_3} - 6 * A_4 * \Delta A_{4_3} \end{aligned} \quad (8.4)$$

$$\begin{aligned} W_1 &= 1500 + 4500 * \Delta A_{7_0} - 3900 \Delta A_{8_0} - 3300 \Delta A_{4_0} \\ W_2 &= 1500 + 4500 * \Delta A_{7_0} - 3900 \Delta A_{8_0} - 3300 \Delta A_{4_0} + \\ &+ 4500 * \Delta A_{7_1} - 3900 \Delta A_{8_1} - 3300 \Delta A_{4_1} \\ W_3 &= 1500 + 4500 * \Delta A_{7_0} - 3900 \Delta A_{8_0} - 3300 \Delta A_{4_0} + \\ &+ 4500 * \Delta A_{7_1} - 3900 \Delta A_{8_1} - 3300 \Delta A_{4_1} + \\ &+ 4500 * \Delta A_{7_2} - 3900 \Delta A_{8_2} - 3300 \Delta A_{4_2} \\ W_4 &= 1500 + 4500 * \Delta A_{7_0} - 3900 \Delta A_{8_0} - 3300 \Delta A_{4_0} + \\ &+ 4500 * \Delta A_{7_1} - 3900 \Delta A_{8_1} - 3300 \Delta A_{4_1} + \\ &+ 4500 * \Delta A_{7_2} - 3900 \Delta A_{8_2} - 3300 \Delta A_{4_2} + \\ &+ 4500 * \Delta A_{7_3} - 3900 \Delta A_{8_3} - 3300 \Delta A_{4_3} \end{aligned} \quad (8.5)$$

### ΔΕΞΑΜΕΝΗ V

$$\begin{aligned} V_1 &= 2500 + 6 * A_4 * \Delta A_{4_0} + 6 * A_3 * \Delta A_{3_0} - 6 * A_2 * \Delta A_{2_0} - 6 * A_1 * \Delta A_{1_0} \\ V_2 &= V_1 + 6 * A_4 * \Delta A_{4_1} + 6 * A_3 * \Delta A_{3_1} - 6 * A_2 * \Delta A_{2_1} - 6 * A_1 * \Delta A_{1_1} \\ V_3 &= V_2 + 6 * A_4 * \Delta A_{4_2} + 6 * A_3 * \Delta A_{3_2} - 6 * A_2 * \Delta A_{2_2} - 6 * A_1 * \Delta A_{1_2} \\ V_4 &= V_3 + 6 * A_4 * \Delta A_{4_3} + 6 * A_3 * \Delta A_{3_3} - 6 * A_2 * \Delta A_{2_3} - 6 * A_1 * \Delta A_{1_3} \end{aligned} \quad (8.6)$$

$$\begin{aligned} V_1 &= 2500 + 3300 * \Delta A_{4_0} + 5100 * \Delta A_{3_0} - 4200 * \Delta A_{2_0} - 5700 \Delta A_{1_0} \\ V_2 &= 2500 + 3300 * \Delta A_{4_0} + 5100 * \Delta A_{3_0} - 4200 * \Delta A_{2_0} - 5700 \Delta A_{1_0} + \\ &+ 3300 * \Delta A_{4_1} + 5100 * \Delta A_{3_1} - 4200 * \Delta A_{2_1} - 5700 \Delta A_{1_1} \\ V_3 &= 2500 + 3300 * \Delta A_{4_0} + 5100 * \Delta A_{3_0} - 4200 * \Delta A_{2_0} - 5700 \Delta A_{1_0} + \\ &+ 3300 * \Delta A_{4_1} + 5100 * \Delta A_{3_1} - 4200 * \Delta A_{2_1} - 5700 \Delta A_{1_1} + 3300 * \Delta A_{4_2} + \\ &+ 5100 * \Delta A_{3_2} - 4200 * \Delta A_{2_2} - 5700 * \Delta A_{1_2} \\ V_4 &= 2500 + 3300 * \Delta A_{4_0} + 5100 * \Delta A_{3_0} - 4200 * \Delta A_{2_0} - 5700 \Delta A_{1_0} + \\ &+ 3300 * \Delta A_{4_1} + 5100 * \Delta A_{3_1} - 4200 * \Delta A_{2_1} - 5700 \Delta A_{1_1} + 3300 * \Delta A_{4_2} + \\ &+ 5100 * \Delta A_{3_2} - 4200 * \Delta A_{2_2} - 5700 * \Delta A_{1_2} + 3300 * \Delta A_{4_3} + \\ &+ 5100 * \Delta A_{3_3} - 4200 * \Delta A_{2_3} - 5700 \Delta A_{1_3} \end{aligned} \quad (8.7)$$

### ΔΕΞΑΜΕΝΗ Q

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_0 + 6 * A_2 * \Delta A_{2_0} + 6 * A_8 * \Delta A_{8_0} + \\ &+ 6 * A_9 * \Delta A_{9_0} + 6 * A_6 * \Delta A_{6_0} - 6 * A_7 * \Delta A_{7_0} - \\ &- 6 * A_5 * \Delta A_{5_0} - 6 * A_3 * \Delta A_{3_0} \\ Q_2 &= Q_1 + 6 * A_2 * \Delta A_{2_1} + 6 * A_8 * \Delta A_{8_1} + \\ &+ 6 * A_9 * \Delta A_{9_1} + 6 * A_6 * \Delta A_{6_1} - \\ &- 6 * A_7 * \Delta A_{7_1} - 6 * A_5 * \Delta A_{5_1} - 6 * A_3 * \Delta A_{3_1} \\ Q_3 &= Q_2 + 6 * A_2 * \Delta A_{2_2} + 6 * A_8 * \Delta A_{8_2} + \\ &+ 6 * A_9 * \Delta A_{9_2} + 6 * A_6 * \Delta A_{6_2} - \\ &- 6 * A_7 * \Delta A_{7_2} - 6 * A_5 * \Delta A_{5_2} - 6 * A_3 * \Delta A_{3_2} \\ Q_4 &= Q_3 + 6 * A_2 * \Delta A_{2_3} + 6 * A_8 * \Delta A_{8_3} + \\ &+ 6 * A_9 * \Delta A_{9_3} + 6 * A_6 * \Delta A_{6_3} - \\ &- 6 * A_7 * \Delta A_{7_3} - 6 * A_5 * \Delta A_{5_3} - 6 * A_3 * \Delta A_{3_3} \end{aligned}$$

(8.8)

$$\begin{aligned} Q_1 &= 3500 + 4200 * \Delta A_{2_0} + 3900 * \Delta A_{8_0} + 5700 * \Delta A_{9_0} + \\ &+ 3900 * \Delta A_{6_0} - 4500 * \Delta A_{7_0} - 3600 * \Delta A_{5_0} - 5100 * \Delta A_{3_0} \\ Q_2 &= 3500 + 4200 * \Delta A_{2_0} + 3900 * \Delta A_{8_0} + 5700 * \Delta A_{9_0} + \\ &+ 3900 * \Delta A_{6_0} - 4500 * \Delta A_{7_0} - 3600 * \Delta A_{5_0} - 5100 * \Delta A_{3_0} + \\ &+ 4200 * \Delta A_{2_1} + 3900 * \Delta A_{8_1} + 5700 * \Delta A_{9_1} + \\ &+ 3900 * \Delta A_{6_1} - 4500 * \Delta A_{7_1} - 3600 * \Delta A_{5_1} - 5100 * \Delta A_{3_1} \\ Q_3 &= 3500 + 4200 * \Delta A_{2_0} + 3900 * \Delta A_{8_0} + 5700 * \Delta A_{9_0} + \\ &+ 3900 * \Delta A_{6_0} - 4500 * \Delta A_{7_0} - 3600 * \Delta A_{5_0} - 5100 * \Delta A_{3_0} + \\ &+ 4200 * \Delta A_{2_1} + 3900 * \Delta A_{8_1} + 5700 * \Delta A_{9_1} + \\ &+ 3900 * \Delta A_{6_1} - 4500 * \Delta A_{7_1} - 3600 * \Delta A_{5_1} - 5100 * \Delta A_{3_1} + \\ &+ 4200 * \Delta A_{2_2} + 3900 * \Delta A_{8_2} + 5700 * \Delta A_{9_2} + 3900 * \Delta A_{6_2} - \\ &- 4500 * \Delta A_{7_2} - 3600 * \Delta A_{5_2} - 5100 * \Delta A_{3_2} \\ Q_4 &= 3500 + 4200 * \Delta A_{2_0} + 3900 * \Delta A_{8_0} + 5700 * \Delta A_{9_0} + \\ &+ 3900 * \Delta A_{6_0} - 4500 * \Delta A_{7_0} - 3600 * \Delta A_{5_0} - 5100 * \Delta A_{3_0} + \\ &+ 4200 * \Delta A_{2_1} + 3900 * \Delta A_{8_1} + 5700 * \Delta A_{9_1} + \\ &+ 3900 * \Delta A_{6_1} - 4500 * \Delta A_{7_1} - 3600 * \Delta A_{5_1} - 5100 * \Delta A_{3_1} + \\ &+ 4200 * \Delta A_{2_2} + 3900 * \Delta A_{8_2} + 5700 * \Delta A_{9_2} + 3900 * \Delta A_{6_2} - \\ &- 4500 * \Delta A_{7_2} - 3600 * \Delta A_{5_2} - 5100 * \Delta A_{3_2} + 4200 * \Delta A_{2_3} + \\ &+ 3900 * \Delta A_{8_3} + 5700 * \Delta A_{9_3} + 3900 * \Delta A_{6_3} - 4500 * \Delta A_{7_3} - \\ &- 3600 * \Delta A_{5_3} - 5100 * \Delta A_{3_3} \end{aligned}$$

(8.9)

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω οι μεταβλητές μας είναι οι διακόπτες  $\Delta A_{ij}$ . Συγκεκριμένα στο σύστημα μας είναι:

$\Delta A_{10} - X_1$	$\Delta A_{11} - X_5$
$\Delta A_{20} - X_2$	$\Delta A_{21} - X_6$
$\Delta A_{30} - X_3$	$\Delta A_{31} - X_7$
$\Delta A_{40} - X_4$	$\Delta A_{41} - X_8$
$\Delta A_{50} - X_{17}$	$\Delta A_{51} - X_{18}$
$\Delta A_{60} - X_{21}$	$\Delta A_{61} - X_{22}$
$\Delta A_{70} - X_{25}$	$\Delta A_{71} - X_{26}$
$\Delta A_{80} - X_{29}$	$\Delta A_{81} - X_{30}$
$\Delta A_{90} - X_{33}$	$\Delta A_{91} - X_{34}$

$\Delta A_{12} - X_9$	$\Delta A_{13} - X_{13}$
$\Delta A_{22} - X_{10}$	$\Delta A_{23} - X_{14}$
$\Delta A_{32} - X_{11}$	$\Delta A_{33} - X_{15}$
$\Delta A_{42} - X_{12}$	$\Delta A_{43} - X_{16}$
$\Delta A_{52} - X_{19}$	$\Delta A_{53} - X_{20}$



$\Delta A62 - X23$	$\Delta A63 - X24$
$\Delta A72 - X27$	$\Delta A73 - X28$
$\Delta A82 - X31$	$\Delta A83 - X32$
$\Delta A92 - X35$	$\Delta A93 - X36$

Πλέον οι προς εξέταση εξισώσεις με τις πιο πάνω μεταβλητές έχουν ως εξής:

**$\Delta E \Xi A M E N H W$**

$$W1 = 1500 + 4500 * X25 - 3900X29 - 3300X4$$

$$W2 = 1500 + 4500 * X25 - 3900X29 - 3300X4 +$$

$$+ 4500 * X26 - 3900X30 - 3300X8$$

$$W3 = 1500 + 4500 * X25 - 3900X29 - 3300X4 +$$

$$+ 4500 * X26 - 3900X30 - 3300X8 +$$

$$+ 4500 * X27 - 3900X31 - 3300X12$$

$$W4 = 1500 + 4500 * X25 - 3900X29 - 3300X4 +$$

$$+ 4500 * X26 - 3900X30 - 3300X8 +$$

$$+ 4500 * X27 - 3900X31 - 3300X12 +$$

$$+ 4500 * X28 - 3900X32 - 3300X16$$

(8.10)

**$\Delta E \Xi A M E N H V$**

$$V1 = 2500 + 3300 * X4 + 5100 * X3 - 4200 * X2 -$$

$$- 5700 * X1$$

$$V2 = 2500 + 3300 * X4 + 5100 * X3 - 4200 * X2 -$$

$$- 5700 * X1 + 3300 * X8 + 5100 * X7 - 4200 * X6 -$$

$$- 5700 * X5$$

$$V3 = 2500 + 3300 * X4 + 5100 * X3 - 4200 * X2 -$$

$$- 5700 * X1 + 3300 * X8 + 5100 * X7 - 4200 * X6 -$$

$$- 5700 * X5 + 3300 * X12 + 5100 * X11 - 4200 * X10 -$$

$$- 5700 * X9$$

$$V4 = 2500 + 3300 * X4 + 5100 * X3 - 4200 * X2 -$$

$$- 5700 * X1 + 3300 * X8 + 5100 * X7 - 4200 * X6 -$$

$$- 5700 * X5 + 3300 * X12 + 5100 * X11 - 4200 * X10 -$$

$$- 5700 * X9 + 3300 * X16 + 5100 * X15 - 4200 * X14 - 5700X13$$

(8.11)

**$\Delta E \Xi A M E N H Q$**

$$\begin{aligned}
Q1 &= 3500 + 4200 * X2 + 3900 * X29 + 5700 * X33 + \\
&+ 3900 * X21 - 4500 * X25 - 3600 * X17 - 5100 * X3 \\
Q2 &= 3500 + 4200 * X2 + 3900 * X29 + \\
&+ 5700 * X33 + 3900 * X21 - 4500 * X25 - \\
&- 3600 * X17 - 5100 * X3 + 4200 * X6 + \\
&+ 3900 * X30 + 5700 * X34 + 3900 * X22 - \\
&- 4500 * X26 - 3600 * X18 - 5100 * X7 \\
Q3 &= 3500 + 4200 * X2 + 3900 * X29 + \\
&+ 5700 * X33 + 3900 * X21 - 4500 * X25 - \\
&- 3600 * X17 - 5100 * X3 + 4200 * X6 + \\
&+ 3900 * X30 + 5700 * X34 + \\
&+ 3900 * X22 - 4500 * X26 - 3600 * X18 - \\
&- 5100 * X7 + 4200 * X10 + 3900 * X31 + \\
&+ 5700 * X35 + 3900 * X23 - 4500 * X27 - \\
&- 3600 * X19 - 5100 * X11 \\
Q4 &= 3500 + 4200 * X2 + 3900 * X29 + 5700 * X33 + \\
&+ 3900 * X21 - 4500 * X25 - 3600 * X17 - 5100 * X3 + \\
&+ 4200 * X6 + 3900 * X30 + 5700 * X34 + 3900 * X22 - \\
&- 4500 * X26 - 3600 * X18 - 5100 * X7 + 4200 * X10 + \\
&+ 3900 * X31 + 5700 * X35 + 3900 * X23 - 4500 * X27 - \\
&- 3600 * X19 - 5100 * X11 + 4200 * X14 + \\
&+ 3900 * X32 + 5700 * X36 + 3900 * X24 - \\
&- 4500 * X28 - 3600 * X20 - 5100 * X15
\end{aligned}
\tag{8.12}$$

## 8.5 ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### Περίπτωση 1<sup>η</sup> : Γραμμικό κόστος

Εάν θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε τη συνάρτηση κόστους  $f(x)$  όπου  $f(x)$ :

$$\begin{aligned}
f(x) &= \sum_{k=0}^3 6 * R * J(\Delta A1k + \Delta A2k + \Delta A3k + \dots + \Delta A9k) = \\
&= 48 * (X1 + X2 + X3 + \dots + X10 + X11 + X12 + \dots + X35 + X36)
\end{aligned}
\tag{8.13}$$

Τότε έχουμε ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού.

Το επόμενο βήμα έχοντας καταστρώσει τις περιγραφικές εξισώσεις, την εξίσωση κόστους και τα όρια εμβέλειας και συμπεριφοράς των μεταβλητών χρησιμοποιείται γραμμικός προγραμματισμός (linear programming) σε περιβάλλον Matlab όπως φαίνεται πιο κάτω. Συγκεκριμένα το σύστημα μας έχει ως εξής:

$$A * X \leq b$$

$$LBnb \leq X \leq UBnb$$

$$\text{συναρτηση\_κοστους\_} f(x)$$



$$Pc = \left[ \sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^9 20 * a_i(k) \right] * 6 = 120 * \sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^9 a_i(k)$$

$$P \max = \max_k \left[ \sum_{i=1}^n a_i(k) P_i \right] \quad (8.15)$$

Το κόστος λειτουργίας του συστήματος δίνεται από την σχέση (2) το οποίο αντανακλά το τιμολόγιο της ΔΕΗ χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη προς το παρόν τα συνημίτονα των αντλιών:

$$\text{cost} = 400 * C2 * \max_k \left( \sum_{i=1}^n a_i(k) * P_i \right) + C3 * \max \left( 0, \sum_{k=1}^{k \max} \left( \sum_{i=1}^n a_i(k) * P_i - 400 \right) \right) \quad (8.16)$$

Όπου:

$$Z2 = C3 * \max \left( 0, \sum_{k=1}^{k \max} \left( \sum_{i=1}^n a_i(k) * P_i - 400 \right) \right)$$

$$Z1 = 400 * C2 * \max_k \left( \sum_{i=1}^n a_i(k) * P_i \right) \quad (8.17)$$

Έτσι το κόστος της (2) είναι **Cost = Z1+Z2**

Οι περιορισμοί που προκύπτουν για τα Z1,Z2:

$$Z1 \geq a1(1) * P + a2(1) * P + \dots + a9(1) * P$$

$$Z1 \geq a1(2) * P + a2(2) * P + \dots + a9(2) * P$$

$$Z1 \geq a1(3) * P + a2(3) * P + \dots + a9(3) * P$$

$$Z1 \geq a1(4) * P + a2(4) * P + \dots + a9(4) * P \quad (8.18)$$

Συνολικά στο σύστημα μας υπάρχουν 38 μεταβλητές. Οι 36 αναφέρονται στις 9 αντλίες και στο ποσοστό λειτουργίας της κάθε αντλίας ανά 6 ώρες [ai(k)(i: 1-9, κ: 1-4)] ενώ οι 2 άλλες αναφέρονται στις μεταβλητές Z1 και Z2 της συνάρτησης κόστους, Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας των μεταβλητών.

Το αρχικό σύστημα με τους νέους περιορισμούς είναι ως εξής:

$$X = \begin{bmatrix} X1 \\ \cdot \\ \cdot \\ X38 \end{bmatrix}, \quad \left[ \left\langle A \right| \begin{array}{l} 0 \_ 0 \\ \cdot \_ \cdot \\ \cdot \_ \cdot \\ 0 \_ 0 \end{array} \right] \begin{bmatrix} X1 \\ \cdot \\ \cdot \\ X36 \\ X37 \\ X38 \end{bmatrix} \leq b \rightarrow Ax \leq b \quad (8.19)$$

Ο πίνακας από τις 6 σχέσεις των περιορισμών έχει ως εξής:



4. **Version 4:** Η αντλία 1 που τροφοδοτεί τους κύριους καταναλωτές του συστήματος λειτουργεί στο 100% και η αντλία 9 που αντλεί νερό έχει σα minimum λειτουργίας το 40%. Οι υπόλοιπες αντλίες λειτουργούν από 40% έως 100% ενώ οι αντλίες 5,6 μπορούν να είναι ανενεργές.
5. **Version 5:** Η αντλία 1 που τροφοδοτεί τους κύριους καταναλωτές του συστήματος λειτουργεί στο 100% και η αντλία 9 που αντλεί νερό έχει σα minimum λειτουργίας το 40%. Οι υπόλοιπες αντλίες λειτουργούν από 40% έως 100% ενώ οι αντλίες 5,6 λειτουργούν σαν minimum το 30%.

Ακολουθούν οι πίνακες λειτουργίας των αντλιών στις 5 εκδοχές και τα κόστη τους.

• **Version 1**

Αντλία	Εξάωρο	1° (6:00)	2° (12:00)	3° (18:00)	4° (24:00)
1		80%	80%	80%	80%
2		0%	0%	0%	0%
3		65,09%	86,79%	83,45%	81,15%
4		48,48%	0%	0%	0%
5		0%	0%	0%	0%
6		0%	0%	0%	0%
7		24,44%	0%	0%	0%
8		0%	0%	0%	0%
9		40%	42,74%	46,08%	48,38%
<b>Συντελεστές Z1/Z2</b>		Z1=41,9059		Z2=0	
<b>ΚΟΣΤΟΣ</b>		41,9059			

• **Version 2**

Αντλία	Εξάωρο	1° (6:00)	2° (12:00)	3° (18:00)	4° (24:00)
1		80%	80%	80%	80%
2		10%	10%	10%	10%
3		67,30%	91,98%	90,08%	85,50%
4		40,98%	10%	10%	10%
5		10%	10%	10%	10%
6		10%	10%	10%	10%
7		45,60%	10%	10%	10%
8		10%	10%	10%	10%
9		40%	40,92%	42,83%	47,40%
<b>Συντελεστές Z1/Z2</b>		Z1=54,5807		Z2=0	
<b>ΚΟΣΤΟΣ</b>		54,5807			

• **Version 3**

Αντλία	Εξάωρο	1° (6:00)	2° (12:00)	3° (18:00)	4° (24:00)
1		80%	80%	80%	80%
2		40%	40%	40%	40%
3		77,08%	99,47%	97,25%	92,69%
4		54,82%	40%	40%	40%
5		12,53%	0%	0%	0%
6		0%	0%	0%	0%
7		100%	49,04%	50,99%	55,72%
8		40%	40%	40%	40%
9		40%	41,10%	41,37%	41,20%

<b>Συντελεστές Z1/Z2</b>	Z1=77,9220	Z2=335,9078
<b>ΚΟΣΤΟΣ</b>	413,8298	

• **Version 4**

Αντλία	Εξάωρο	1° (6:00)	2° (12:00)	3° (18:00)	4° (24:00)
<b>1</b>		100%	100%	100%	100%
<b>2</b>		40%	40%	40%	40%
<b>3</b>		100%	100%	100%	100%
<b>4</b>		100%	46,97%	54,90%	59,34%
<b>5</b>		45%	0%	0%	0%
<b>6</b>		0%	0%	0%	0%
<b>7</b>		100%	85,76%	66,93%	66,41%
<b>8</b>		40%	40%	40%	40%
<b>9</b>		40%	55,09%	66%	62,07%
<b>Συντελεστές Z1/Z2</b>		Z1=93,5654		Z2=762,1774	
<b>ΚΟΣΤΟΣ</b>		855,7428			

• **Version 5**

Αντλία	Εξάωρο	1° (6:00)	2° (12:00)	3° (18:00)	4° (24:00)
<b>1</b>		100%	100%	100%	100%
<b>2</b>		40%	40%	40%	40%
<b>3</b>		100%	100%	100%	100%
<b>4</b>		100%	47%	54,76%	59,45%
<b>5</b>		55,83%	10%	10%	10%
<b>6</b>		10%	10%	10%	10%
<b>7</b>		100%	86,14%	66,54%	66,44%
<b>8</b>		40%	40%	40%	40%
<b>9</b>		40%	54,16%	66%	61,42%
<b>Συντελεστές Z1/Z2</b>		Z1=97,4601		Z2=857,2826	
<b>ΚΟΣΤΟΣ</b>		954,7201			

### 8.6.1 Ερμηνεία Αποτελεσμάτων

Το κόστος σε ημερήσια βάση όπως ήταν το αναμενόμενο αυξάνει καθώς αυξάνουν και οι αντλίες που θέτουμε σε λειτουργία λόγω των απαιτήσεων που βάζουμε. Επίσης οι αντλίες 5,6 που συνδέουν τις 2 βασικές δεξαμενές χωρίς ενδιάμεσες καταναλώσεις παρατηρούμε ότι παραμένουν ανενεργές και ενεργοποιούνται όταν χρειάζεται μια από τις 2 κύριες δεξαμενές νερό για να καλύψει τις ανάγκες της.

### 8.6.2 Εφαρμογή μοντέλου

Στην πιο πάνω ανάλυση μας παρουσιάσαμε τη λειτουργία του μοντέλου που θα εφαρμοστεί στην περιοχή των Χανίων για ένα τυχαίο 24ωρο με επίσης τυχαία demands για κατανάλωση. Το επόμενο βήμα μας είναι χρησιμοποιώντας τα προφίλ ζήτησης που υπάρχουν για κάθε μέρα να ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία δημιουργώντας 365 αντίστοιχους πίνακες σε μια βάση δεδομένων για ένα έτος το οποίο θα αποτελεί τον οδηγό εφαρμογής για κάθε έτος.



## Κεφάλαιο 9

### Πολυκριτηριακές αποφάσεις για ενεργειακές επενδύσεις και εκκαθάριση της αγοράς

#### 9.1 Εισαγωγή

Η μετάβαση της λειτουργίας της αγοράς ενέργειας σε απελευθερωμένο περιβάλλον με πολλούς ανεξάρτητους παραγωγούς και καταναλωτές δημιούργησε ένα περιβάλλον όπου οι παίκτες συνεργάζονται ή ανταγωνίζονται για να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους. Αυτή η διαδικασία γίνεται μέσω των προσφορών που κάνουν στον διαχειριστή της αγοράς ο οποίος τις παίρνει και εκκαθαρίζει την αγορά ανά τακτά χρονικά διαστήματα και σύμφωνα με το ρυθμιστικό πλαίσιο που υπάρχει.

Με την απελευθέρωση της αγοράς δημιουργήθηκε ένα νέο πλαίσιο πολύ πιο σύνθετο από το προηγούμενο. Πλέον, υπάρχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σχετικά με τη διείσδυση των ΑΠΕ στο σύστημα και τους περιβαλλοντικούς κανόνες γενικότερα με στόχο τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Επομένως είναι απαραίτητοι ανεξάρτητοι οργανισμοί που θα είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία της αγοράς. Αυτοί έχουν ως στόχο να συντονίζουν και να λαμβάνουν τις καλύτερες αποφάσεις προκειμένου να μεγιστοποιηθεί το κοινωνικό όφελος. Υπάρχουν όμως πολλές πηγές ενέργειας που πρέπει να ληφθούν υπόψη και να αξιολογηθούν, όπως πετρέλαιο, λιγνίτης, φυσικό αέριο, ΑΠΕ κλπ. Το κοινωνικό όφελος όμως δεν πρέπει να είναι μόνο οικονομικό καθώς υπάρχουν και άλλοι παράγοντες τους οποίους ο διαχειριστής θα πρέπει να συνεκτιμήσει.

Τα κριτήρια λοιπόν για την αξιολόγηση αυτών των παραγωγών ενέργειας είναι πολλά: τιμή, ποσότητα, αξιοπιστία, ευελιξία, περιβαλλοντικό αποτύπωμα και εκπομπές, στρατηγικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά της κάθε επένδυσης, κορεσμός για το κάθε είδος κλπ. Για καθένα από αυτά τα κριτήρια ο παραγωγός βαθμολογείται, είτε με συγκεκριμένες βαθμονομημένες μεθόδους για τα ποσοτικά κριτήρια όπως οι εκπομπές, είτε με εκτιμήσεις όσον αφορά τα ποιοτικά κριτήρια. Αυτές οι βαθμολογίες, είτε είναι υπολογισμένες, είτε εκτιμώμενες, πιθανόν να υπόκεινται σε λάθη. Ωστόσο δεν θα πρέπει να επηρεάζουν την τελική απόφαση του διαχειριστή αλλιώς θα πρέπει να γίνει συνεκτίμηση και των λαθών.

Επομένως, η ρυθμιστική αρχή της αγοράς ενέργειας πρέπει να αποφασίσει ποιες πηγές και παραγωγοί θα αδειοδοτηθούν ή θα επιδοτηθούν και ο διαχειριστής της λαμβάνει τις προσφορές τους και φροντίζει για τις συναλλαγές. Το ρίσκο που εμπεριέχουν οι αποφάσεις τους πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψιν. Θεωρώντας πως αυτοί οι ρόλοι συσχετίζονται, υποθέτουμε πως όλες αυτές οι υποχρεώσεις ανήκουν σε έναν ανεξάρτητο διαχειριστή που ρυθμίζει και εκκαθαρίζει την αγορά. Αυτός θέτει όρια που πρέπει να ικανοποιούν τα κριτήρια αξιολόγησης και επιλέγει αναλόγως τους παραγωγούς από τους οποίους θα προμηθευτεί η αγορά. Πρέπει να ληφθεί υπόψη πως ίσως η βέλτιστη απόφαση να μην είναι μοναδική και να προτείνονται διάφορες επιλογές ανάλογα την περίπτωση.

Στην επίλυση αυτού του πολυκριτηριακού προβλήματος χρειάζεται να βρεθεί το σύνολο λύσεων Παρέτο. Για το λόγο αυτό σε όλα τα κριτήρια αντιστοιχίζονται συντελεστές βαρύτητας, επομένως μπορούν όλα να ενσωματωθούν σε μία συνάρτηση που θα αντιπροσωπεύει το κέρδος του διαχειριστή από οικονομικής, τεχνικής, κοινωνικής και περιβαλλοντικής πλευράς αναλόγως την πολιτική που ακολουθεί. Αυτή η συνάρτηση βελτιστοποιείται με κατάλληλους αλγόριθμους μικτού ακέραιου προγραμματισμού. Διαφορετικοί συντελεστές βαρύτητας δίνουν διαφορετικές βέλτιστες λύσεις που αποτελούν το σύνολο Παρέτο. Η επιλογή ανάμεσα στις λύσεις Παρέτο και η απόφαση για τους συντελεστές βαρύτητας ανήκει στον διαχειριστή. Αφού αυτός αντιπροσωπεύει την κοινωνία, η απόφαση που θα παρθεί γίνεται πολιτικό θέμα το οποίο πιθανόν μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους ενδιαφερόμενους. Κάθε φορά που ο διαχειριστής αποφασίζει κάποια πολιτική, οι συμμετέχοντες στην αγορά θα προσαρμόζουν τη στρατηγική τους και αυτή η συμπεριφορά πρέπει να ληφθεί υπόψη, για αυτό στο μοντέλο που θα παρουσιαστεί θα μπορούσαν να προστεθούν έννοιες της θεωρίας παιγνίων.

## 9.2 Διατύπωση του προβλήματος

Στόχος είναι η υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων ενός διαχειριστή της αγοράς ενέργειας, ο οποίος πρέπει να διαλέξει τους κατάλληλους προμηθευτές ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη διάφορα κριτήρια και την πολιτική του. Τα ίδια κριτήρια ισχύουν τόσο στην επιδότηση κάποιων τεχνολογιών παραγωγής, όσο και στην εκκαθάριση της αγοράς. Τα κριτήρια αυτά πρέπει να είναι αναγκαία και ικανά για την αξιολόγηση μιας ενεργειακής πηγής. Ο διαχειριστής θέλει επίσης να θέσει κάποια όρια που πρέπει να ικανοποιούνται. Αφού βρει τις εφικτές λύσεις του προβλήματος, τον ενδιαφέρει η βέλτιστη που αντιπροσωπεύει το μέγιστο κοινωνικό όφελος. Η πολυκριτηριακή μέθοδος υποστήριξης αποφάσεων που χρησιμοποιείται είναι απλή και αποτελεσματική.

## 9.3 Εισαγωγικό παράδειγμα

Δοσμένων κάποιων παραγωγών ενέργειας που έχουν αξιολογηθεί βάσει κάποιων κριτηρίων, καλούμαστε να αποφασίσουμε ποιοι πρέπει να επιλεγούν είτε πρόκειται για επιδοτήσεις ενεργειακών επενδύσεων, είτε για προμήθεια ενέργειας. Στον Πίνακα 1 δίνεται ένα τέτοιο παράδειγμα αξιολόγησης οκτώ παραγωγών (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8) με εννέα κριτήρια (Cr1: τιμή ανά μονάδα, Cr2: ποσότητα, Cr3: αξιοπιστία, Cr4: ευελιξία, Cr5: εκπομπές COx, Cr6: εκπομπές NOx, Cr7: στρατηγικά χαρακτηριστικά, Cr8: κοινωνικά χαρακτηριστικά, Cr9: κορεσμός). Η βαθμολογίες είναι θεωρητικές και δίνονται ενδεικτικά, αλλά ο διαχειριστής της αγοράς έχει τη δυνατότητα να βρει τις αντίστοιχες τιμές σε πραγματικά προβλήματα.

Πίνακας 1: Βαθμολογία παραγωγών ( $A = (a_{j,i}), j = 1,2, \dots, 9, i = 1,2, \dots, 8$ )

Cr\R	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Cr1	2	2.1	2.4	1.9	3	3.2	2.2	2.4
Cr2	115	80	90	150	20	15	110	80
Cr3	100	95	85	90	70	75	95	95
Cr4	80	90	60	80	85	80	75	70
Cr5	1	1.1	1.1	1	0.2	0.1	0.5	0.7
Cr6	1	0.8	0.9	1.2	0.3	0.5	0.2	0.3
Cr7	100	80	100	70	100	100	60	30
Cr8	70	65	85	90	75	85	65	95
Cr9	70	65	80	65	75	40	90	50

Σε κάθε παραγωγό αντιστοιχεί μια στήλη αξιολόγησης. Τα κριτήρια 3, 4, 7, 8 και 9 μπορούν να πάρουν μέγιστη τιμή 100 (πχ. 80 σημαίνει 80%). Οι τιμές των κριτηρίων 5 και 6 δίνουν την παραγόμενη ποσότητα εκπομπών ανά μονάδα. Είναι προφανές πως επιθυμούμε υψηλές τιμές για τα κριτήρια 2, 3, 4, 7 και 8 αλλά χαμηλές τιμές για τα κριτήρια 1, 5, 6 και 9 που έχουν αρνητική έννοια. Αν μας ενδιέφερε μόνο η τιμή και η ποσότητα φαίνεται πως κυριαρχεί ο παραγωγός 4 αλλά αυτό αλλάζει αν συνυπολογιστούν και άλλα κριτήρια. Επιπλέον, ο παραγωγός 5 είναι υπερτερεί όσον αφορά τις εκπομπές αλλά υστερεί στα υπόλοιπα κριτήρια.

Υποθέτοντας, πως η επιλογή του παραγωγού R1 συμβολίζεται με  $w_1 = 1$  ενώ η μη επιλογή του με  $w_1 = 0$  και αντίστοιχα για τους υπόλοιπους, η τελική απόφαση είναι ένα διάνυσμα δυαδικών μεταβλητών  $\mathbf{w} = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7, w_8)$ . Κάθε παραγωγός αξιολογείται με βάση τα κριτήρια  $Cr_j, j \in R$ . Σε κάθε κριτήριο αντιστοιχεί ένα κόστος  $J_j$ . Το  $J_2$  είναι το άθροισμα των γινομένων της ποσότητας κάθε παραγωγού επί το αντίστοιχο  $w_i$ . Αντιστοίχως ορίζονται τα  $J_7$  και  $J_8$ . Τα  $J_5$  και  $J_6$  είναι γινόμενα τιμής του

κριτηρίου, της αντίστοιχης ποσότητας και του  $w_i$ . Τα  $J_3$  και  $J_4$  είναι κλάσματα αντίστοιχων γινομένων προς το  $J_2$  ενώ και το  $J_9$  είναι κλάσμα επίσης, ο μέσος κορεσμός των επιλεγόμενων παραγωγών.

Μαθηματικά, η ποσότητα ενέργειας που επιλέγεται δίνεται από τον τύπο:

$$J_2(\mathbf{w}) = 115w_1 + 80w_2 + 90w_3 + 150w_4 + 20w_5 + 15w_6 + 110w_7 + 80w_8 \quad (9.1)$$

$$J_2(\mathbf{w}) = \sum_{i=1}^8 \alpha_{2,i} w_i \quad (9.2)$$

Το κόστος της από τον τύπο:

$$J_1(\mathbf{w}) = 2 * 115w_1 + 2.1 * 80w_2 + 2.4 * 90w_3 + 1.9 * 150w_4 + 3 * 20w_5 + 3.2 * 15w_6 + 2.2 * 110w_7 + 2.4 * 80w_8 \quad (9.3)$$

$$J_1(\mathbf{w}) = \sum_{i=1}^8 \alpha_{1,i} \alpha_{2,i} w_i \quad (9.4)$$

Η συνολική αξιοπιστία είναι:

$$J_3(\mathbf{w}) = \frac{\sum_{i=1}^8 \alpha_{3,i} \alpha_{2,i} w_i}{\sum_{i=1}^8 \alpha_{2,i} w_i} \quad (9.5)$$

Παρομοίως, η συνολική ευελιξία είναι:

$$J_4(\mathbf{w}) = \frac{\sum_{i=1}^8 \alpha_{4,i} \alpha_{2,i} w_i}{\sum_{i=1}^8 \alpha_{2,i} w_i} \quad (9.6)$$

Προφανώς για να οριστούν τα κόστη που είναι κλάσματα πρέπει να επιλεγεί τουλάχιστον ένας παραγωγός, διαφορετικά το πρόβλημα δεν έχει εφικτές λύσεις.

Οι συνολικές εκπομπές COx είναι:

$$J_5(\mathbf{w}) = \sum_{i=1}^8 \alpha_{5,i} \alpha_{2,i} w_i \quad (9.7)$$

Αντίστοιχα οι συνολικές εκπομπές NOx είναι:

$$J_6(\mathbf{w}) = \sum_{i=1}^8 \alpha_{6,i} \alpha_{2,i} w_i \quad (9.8)$$

Τα στρατηγικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά συνδέονται με το ποιοι παραγωγοί επιλέχτηκαν, ενώ ο κορεσμός έχει σχέση και με το πόσοι ήταν. Επομένως τα υπόλοιπα κόστη δίνονται από τους τύπους:

$$J_7(\mathbf{w}) = \sum_{i=1}^8 \alpha_{7,i} w_i \quad (9.9)$$

$$J_8(\mathbf{w}) = \sum_{i=1}^8 \alpha_{8,i} w_i \quad (9.10)$$

$$J_9(\mathbf{w}) = \frac{\sum_{i=1}^8 \alpha_{9,i} w_i}{\sum_{i=1}^8 w_i} \quad (9.11)$$

Τα κόστη  $J_1$ ,  $J_5$ ,  $J_6$  και  $J_9$  πρέπει να ελαχιστοποιηθούν, άρα είναι λογικό να έχουν ανώτατα όρια, ενώ τα  $J_2$ ,  $J_3$ ,  $J_4$ ,  $J_7$  και  $J_8$  πρέπει να μεγιστοποιηθούν (αυτά τα κόστη μπορούν να θεωρηθούν κέρδη), άρα είναι λογικό να έχουν κατώτατα όρια.

#### 9.4 Αντικειμενική συνάρτηση και περιορισμοί

Όπως αναφέρθηκε, πρέπει κάποια από τα  $J_j$  να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερα και κάποια όσο γίνεται μικρότερα. Μπορεί λοιπόν να τους δοθεί κάποιο κατώφλι τιμών  $J_j^*$  που δεν μπορούν να υπερβούν ( $J_j(\mathbf{w}) \geq J_j^*$  ή  $J_j(\mathbf{w}) \leq J_j^*$ ). Επομένως, ο διαχειριστής θέτει κάποια κατώφλια/όρια σε όσα από τα κόστη θέλει και για να βρει ποιες λύσεις και επιλογές τα ικανοποιούν, λύνει ένα πρόβλημα ικανοποιησιμότητας (satisfiability) το οποίο είναι:

Εύρεση του  $\mathbf{w} = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7, w_8)$ ,  $w_i = 0$  or  $1$ ,  
έτσι ώστε:

$$\begin{aligned} J_j(\mathbf{w}) &\geq J_j^*, \text{ για κάποια } j \in \{2,3,4,7,8\} \\ J_j(\mathbf{w}) &\leq J_j^*, \text{ για κάποια } j \in \{1,5,6,9\} \end{aligned} \quad (9.12)$$

Στο πρόβλημα (1) οι τιμές  $J_j^*$  είναι γνωστές. Αυτού του είδους τα προβλήματα μπορεί να έχουν πολλές λύσεις. Αλλάζοντας τα  $J_j^*$  αλλάζουν και οι λύσεις αυτές. Προσπαθώντας να επιτύχουμε μεγάλες ή μικρές τιμές για κάποια κόστη  $J_j(\mathbf{w})$  οδηγούμαστε σε ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης ή ελαχιστοποίησης αντίστοιχα, το οποίο είναι:

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{w}} J_3(\mathbf{w}) \\ \text{έτσι ώστε: } J_j(\mathbf{w}) \geq J_j^* \text{ ή } J_j(\mathbf{w}) \leq J_j^*, \quad \text{για κάποια } j \in [1,9] \end{aligned} \quad (9.13)$$

Προσπαθούμε λοιπόν να βελτιστοποιήσουμε ένα κόστος κάτω από κάποιους περιορισμούς οι οποίοι δεν χρειάζεται να αφορούν όλα τα κριτήρια. Επίσης, σε κάποια κόστη μπορεί να δοθούν πάνω και κάτω όρια. Επιπλέον, είναι πιθανόν να θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε περισσότερα από ένα κόστη ταυτόχρονα. Πχ:

$$\min_{\mathbf{w}} \{-J_2(\mathbf{w}), J_5(\mathbf{w}), J_6(\mathbf{w})\} \quad (9.14)$$

έτσι ώστε:  $J_j(\mathbf{w}) \geq J_j^*$ , για  $j = 3,4,7,8$

Το πρόσημο του κάθε κόστους εξαρτάται από το αν πρέπει να μεγιστοποιηθεί ή ελαχιστοποιηθεί το κόστος αυτό. Για να βρούμε τις λύσεις Παρέτο δημιουργούμε μια συνάρτηση που περιλαμβάνει όλα τα κόστη. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται η μέθοδος των βαρών που ανήκει στον πολυκριτηριακό μαθηματικό προγραμματισμό και προκύπτει:

$$\min_{\mathbf{w}} \{b_1(-J_2(\mathbf{w})) + b_2 J_5(\mathbf{w}) + b_3 J_6(\mathbf{w})\} \quad (9.15)$$

έτσι ώστε:  $J_j(\mathbf{w}) \geq J_j^*$ ,  $j = 3,4,7,8$

όπου  $b_1, b_2, b_3 \geq 0$  είναι τα βάρη που δίνονται και για κάθε  $\mathbf{b} = (b_1, b_2, b_3)$  υπάρχει μια λύση Pareto. Αυτά τα βάρη δείχνουν τη βαρύτητα, δηλαδή τη σημασία που έχει το κάθε κριτήριο. Για αυτό το λόγο μετά από διμερείς συγκρίσεις μεταξύ τους μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε θετική τιμή, αλλά για ευκολότερη κατανόηση θεωρούμε πως ύστερα από κατάλληλες πράξεις έχουν άθροισμα 1 και εκφράζουν ποσοστά σημαντικότητας. Επομένως το τελικό πρόβλημα που περιλαμβάνει όλα τα κόστη με τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας είναι:

$$\max_{\mathbf{w}} \begin{pmatrix} -b_1 J_1(\mathbf{w}) + b_2 J_2(\mathbf{w}) + b_3 J_3(\mathbf{w}) + b_4 J_4(\mathbf{w}) - b_5 J_5(\mathbf{w}) \\ -b_6 J_6(\mathbf{w}) + b_7 J_7(\mathbf{w}) + b_8 J_8(\mathbf{w}) - b_9 J_9(\mathbf{w}) \end{pmatrix} \quad (9.16)$$

$$b_j \geq 0, \sum_{j=1}^9 b_j = 1, j=1,2,\dots,9$$

Εάν δεν θέλει ο διαχειριστής να συμπεριληφθούν κάποια κόστη στην αντικειμενική μπορεί να θεωρήσει τα βάρη τους μηδενικά. Με αυτόν τον τρόπο καλύπτονται όλες οι πιθανές περιπτώσεις. Διαφορετικά διάνυσμα  $\mathbf{b} = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9)$  δίνουν διαφορετικές λύσεις Παρέτο. Επομένως το διάνυσμα των βαρών αντικατοπτρίζει την ενεργειακή πολιτική του διαχειριστή και εξαρτάται από τις προτιμήσεις του. Θα μελετήσουμε λοιπόν τα προβλήματα (1), (2) και (3) όπου ο διαχειριστής βρίσκει τις εφικτές λύσεις που ικανοποιούν τους περιορισμούς που θέτει και μετά διαλέγει την καλύτερη από αυτές.

Σε περίπτωση που οι επιλογές που μπορεί να κάνει ο διαχειριστής δεν είναι δυαδικές αλλά ακέραιοι αριθμοί ή δεκαδικοί, πχ. αν ένας παραγωγός έχει πολλά εργοστάσια ή μπορεί να διαθέσει τη μισή παραγωγή του, το αντίστοιχο πρόβλημα μπορεί εύκολα να μετατραπεί με τη χρήση επιπλέον δυαδικών μεταβλητών σε πρόβλημα δυαδικού ακέραιου προγραμματισμού όπως και αυτό που θα λύσουμε με βάση το εισαγωγικό παράδειγμα. Όσο βέβαια αυξάνεται η πολυπλοκότητα του προβλήματος, αυξάνει και ο χρόνος επίλυσής του.

## 9.5 Αξιολόγηση λύσεων

Εκτός από το πρόβλημα (2) που συνήθως έχει μοναδική λύση, τα άλλα δύο προβλήματα έχουν πολλές λύσεις. Επομένως χρειάζεται μια μεθοδολογία για να επιλέγεται μία από τις εφικτές. Συγκεκριμένα για το πρόβλημα (3), οι λύσεις εξαρτώνται από τα βάρη που θα δοθούν, άρα και από το ποιος επιλέγει αυτά τα βάρη. Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους ο διαχειριστής μπορεί να προσδιορίσει τα βάρη και να διαλέξει κάποια από τις εφικτές λύσεις, οι οποίοι προκύπτουν από θεωρία παιγνίων, διαπραγματεύσεις και πολυκριτηριακή ανάλυση.

Πολύ σημαντικό είναι να εξεταστεί εάν η τελική λύση αλλάζει εάν αλλάξουν έστω λίγο οι παράμετροι του προβλήματος. Εφόσον όπως αναφέρθηκε οι βαθμολογίες των παραγωγών μπορεί να υπόκεινται σε λάθη, εάν αυτά μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες αλλαγές στο τελικό αποτέλεσμα η λύση δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη. Τέτοιες αλλαγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για να φανεί η σημασία συγκεκριμένων παραμέτρων ή να μελετηθεί πιθανή πρόθεση κάποιων να χειραγωγήσουν την τελική απόφαση. Για όλους αυτούς τους λόγους είναι απαραίτητη και μια ανάλυση ευαισθησίας όσον αφορά την τελική λύση.

## 9.6 Μέθοδος επίλυσης

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν.

### 9.6.1 Πρόβλημα 1: Ικανοποιησιμότητα

Αρχικά, επιλύουμε το πρόβλημα ικανοποιησιμότητας που σημαίνει ότι θέλουμε να βρούμε όλες τις εφικτές λύσεις. Άρα εξετάζονται όλες οι λύσεις που ικανοποιούν τους περιορισμούς του διαχειριστή. Για να βρεθούν αυτές πρέπει να γίνει πλήρης απαρίθμηση όλων των πιθανών συνδυασμών επιλογών. Αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι πολύ απαιτητική σε χρόνο υπολογισμού, αλλά στη συγκεκριμένη περίπτωση με οκτώ παραγωγούς και εννέα κριτήρια ο χρόνος που χρειάζεται είναι ελάχιστος. Σε περίπτωση που το πρόβλημα είναι περίπλοκο, μπορούμε να επιταχύνουμε τη διαδικασία κάνοντας πιο αυστηρούς τους περιορισμούς για να περιορίσουμε τον αριθμό των εφικτών λύσεων ή ψάχνοντας για εφικτές λύσεις που έχουν μικρή απόκλιση από κάποια γνωστή ή πιθανή βέλτιστη λύση πχ. 10%. Σε κάθε περίπτωση το

πρόβλημα ικανοποιησιμότητας είναι πολύ σημαντικό καθώς μπορεί να δώσει μια πρώτη ένδειξη για τις πιθανές λύσεις και να παρέχει το σύνολο των εφικτών λύσεων από το οποίο θα επιλεγεί κάποια.

### 9.6.2 Πρόβλημα 2a: Γραμμικός Ακέραιος Προγραμματισμός

Μετά το πρόβλημα ικανοποιησιμότητας, έχουμε το πρόβλημα ελαχιστοποίησης ή μεγιστοποίησης ενός κόστους  $J_j$ . Έχουμε λοιπόν ένα πρόβλημα δυαδικού ακέραιου προγραμματισμού όπου η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί είναι γραμμικοί (οι μη γραμμικές αντικειμενικές συναρτήσεις θα αναλυθούν στην επόμενη παράγραφο). Στο παράδειγμα που λύνουμε όλα τα κόστη είναι γραμμικά εκτός των  $J_3$ ,  $J_4$  και  $J_9$ . Υπάρχουν αποτελεσματικοί αλγόριθμοι για τέτοιου είδους προβλήματα καθώς και πολλές μέθοδοι για καλύτερη επαναδιατύπωση των προβλημάτων που πρέπει ωστόσο να χρησιμοποιούνται με προσοχή. Το πρόβλημα τελικώς διατυπώνεται ως:

$$\min_{\mathbf{w}} f^T \mathbf{w} \text{ ή } \max_{\mathbf{w}} f^T \mathbf{w}$$

$$\text{έτσι ώστε: } \mathbf{A}_1 \mathbf{w} \leq \mathbf{c}_1, \mathbf{A}_2 \mathbf{w} \geq \mathbf{c}_2$$

όπου τα διανύσματα  $\mathbf{A}$  και  $\mathbf{c}$  περιέχουν σταθερές και το  $\mathbf{w}$  δυαδικές μεταβλητές όπως αναφέρθηκε.

Περιορισμοί της μορφής  $\frac{\sum_i a_i w_i}{\sum_i d_i w_i} \leq c$  μετασχηματίζονται σε  $\sum_i (a_i - cd_i) w_i \leq 0$  αφού οι παρονομαστές στην περίπτωση που εξετάζουμε είναι πάντα θετικοί. Το ίδιο ισχύει και για περιορισμούς της μορφής  $\frac{\sum_i a_i w_i}{\sum_i d_i w_i} \geq c$ .

### 9.6.3 Πρόβλημα 2b: Κλασματικός Ακέραιος Προγραμματισμός

Στην περίπτωση που έχουμε μη γραμμικά κόστη στην αντικειμενική συνάρτηση χρειάζεται να επιλεγούν προσεκτικά πιο περίπλοκοι αλγόριθμοι που να συγκλίνουν. Ωστόσο, στο συγκεκριμένο παράδειγμα όλες οι μη γραμμικές συναρτήσεις είναι πηλικά γραμμικών συναρτήσεων και άρα το πρόβλημα μπορεί να γραμμικοποιηθεί χρησιμοποιώντας τεχνικές του κλασματικού προγραμματισμού. Η επεξεργασία αυτών των συναρτήσεων στους περιορισμούς είναι ίδια με αυτή της προηγούμενης ενότητας.

Εάν λοιπόν υπάρχει ένα μη γραμμικό κόστος τέτοιας μορφής στην αντικειμενική συνάρτηση το πρόβλημα είναι:

$$\min \frac{p_i + \sum_j p_{ij} x_j}{q_i + \sum_j q_{ij} x_j} \quad (9.17)$$

έτσι ώστε:

$$q_i + \sum_j q_{ij} x_j > 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (9.18)$$

$$r_k + \sum_j r_{kj} x_j \leq 0 \quad k = 1, \dots, h \quad (9.19)$$

$$x_j = \{0,1\} \quad j = 1, \dots, n$$

θέτοντας  $y_i$  ίσο με  $1 / (q_i + \sum_j q_{ij} x_j)$ , το πρόβλημα γίνεται:

$$\min \sum_i (p_i y_i + \sum_j p_{ij} y_i x_j) \quad (9.20)$$

έτσι ώστε:

$$q_i y_i + \sum_j q_{ij} y_i x_j = 1 \quad i = 1, \dots, m \quad (9.21)$$

$$r_k + \sum_j r_{kj} x_j \leq 0 \quad k = 1, \dots, h \quad (9.22)$$

$$x_j = \{0,1\} \quad y_i \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (9.23)$$

οι όροι που προκύπτουν από ένα μετασχηματισμό  $z = xy$  μπορούν να αναπαρασταθούν από τέσσερις ανισότητες:

$y - z \leq K - Kx$ ,  $z \leq y$ ,  $z \leq Kx$ ,  $z \geq 0$  όπου  $K > y$  και  $x$  δυαδικός.

Επομένως προκύπτει ένα πρόβλημα μικτού ακέραιου προγραμματισμού με δυαδικές και θετικές μεταβλητές. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να μετασχηματιστεί οποιοδήποτε πρόβλημα έχει στην αντικειμενική συνάρτηση γραμμικές ή/και κλασματικές συναρτήσεις αυτής της μορφής.

### 9.7 Πρόβλημα 3: Πολυκριτηριακός Ακέραιος Προγραμματισμός

Η πιο γενική από τις περιπτώσεις είναι αυτή όπου στην αντικειμενική συνάρτηση εμπεριέχονται πολλά από τα κόστη. Η πολυκριτηριακή ανάλυση έχει χρησιμοποιηθεί πολύ τα τελευταία χρόνια στην υποστήριξη αποφάσεων. Η ύπαρξη πολλών αντικειμενικών συναρτήσεων που πρέπει να βελτιστοποιηθούν είναι επέκταση του κλασσικού μαθηματικού προγραμματισμού. Το πρόβλημα είναι:

$$\begin{aligned} & \text{Max or Min } \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)\} \\ & \text{Subject to: } x \in S \end{aligned}$$

όπου  $x$  το διάνυσμα των μεταβλητών απόφασης,  $f_1, f_2, \dots, f_n$  οι αντικειμενικές συναρτήσεις (γραμμικές ή μη γραμμικές) και  $S$  το σύνολο εφικτών λύσεων.

Όταν πρέπει να βελτιστοποιηθούν πολλές συναρτήσεις ταυτόχρονα, οι οποίες είναι και αντικρουόμενες μεταξύ τους δεν υπάρχει μια βέλτιστη λύση με την κλασσική έννοια. Πρέπει λοιπόν να βρεθεί το σύνολο λύσεων που δεν κυριαρχούνται από άλλες και ονομάζονται λύσεις Παρέτο. Οι μέθοδοι για να λυθεί ένα τέτοιο πρόβλημα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το αν ο αποφασίζων εμπλέκεται στη διαδικασία από πριν, κατά τη διάρκεια ή μετά την εύρεσή τους. Η μέθοδος των βαρών που χρησιμοποιούμε είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους και μετά την εύρεση των λύσεων Παρέτο ο αποφασίζων διαλέγει κάποια από αυτές. Για το λόγο αυτό τα διάφορα κόστη αθροίζονται και τους αντιστοιχίζεται ένας συντελεστής βαρύτητας  $b_i$  αναλόγως της σημασίας τους. Προσέχοντας λοιπόν τα πρόσημα που θα δοθούν στα κόστη παίρνουμε μια συνάρτηση  $J$  που αντιπροσωπεύει το κέρδος του διαχειριστή και πρέπει να μεγιστοποιηθεί. Προφανώς, όσο πιο σημαντικό είναι ένα κόστος, τόσο ωφελούνται οι παραγωγοί που έχουν καλή βαθμολογία σε αυτό και αντίστροφα.

Στόχος μας είναι η επίλυση ενός διαμορφωμένου προβλήματος από τον διαχειριστή επομένως στα βάρη δίνονται αυθαίρετα τιμές και οδηγούμαστε στη βέλτιστη λύση. Όπως όμως έχουμε αναφέρει υπάρχουν πολλοί τρόποι και δυσκολίες για να υπολογιστούν ακριβώς τα βάρη από τον διαχειριστή. Με διαφορετικά βάρη καταλήγουμε σε διαφορετικές βέλτιστες λύσεις οπότε είναι θέμα του διαχειριστή ποια από αυτές θα επιλέξει στο τέλος όπως ισχύει και για το πρόβλημα ικανοποιησιμότητας.

Το πρόβλημα αυτό είναι το πιο γενικό και επεκτείνει τις προηγούμενες περιπτώσεις καθώς κάθε γραμμικό ή κλασματικό κόστος προστίθενται στην αντικειμενική συνάρτηση σύμφωνα και με τις μετατροπές της προηγούμενης ενότητας. Το ίδιο ισχύει και για τους περιορισμούς.

### 9.8 Παραδείγματα

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται οι λύσεις κάποιων παραδειγμάτων ώστε να φανεί η αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων. Στο παράδειγμά μας έχουμε οκτώ παραγωγούς εννέα κριτήρια αλλά τα ίδια ισχύουν για οποιαδήποτε άλλη περίπτωση.

#### 9.8.1 Παραδείγματα για το Πρόβλημα 1

Όσο πιο αυστηρά είναι τα όρια που θέτονται τόσο λιγότερες είναι οι εφικτές λύσεις που ικανοποιούν τους περιορισμούς. Από ένα σημείο και μετά, τα πολύ αυστηρά όρια μπορεί να οδηγήσουν το πρόβλημα να

μην έχει λύση. Στη συνέχεια παρατίθενται τρία παραδείγματα που διαφέρουν στο κατώτερο επιτρεπτό όριο για το δεύτερο κόστος που σχετίζεται με την ποσότητα.

### Παράδειγμα 1.1

- Για  $J_1 < 10000$ ,  $J_2 > 300$ ,  $J_3 > 30$ ,  $J_4 > 30$ ,  $J_5 < 1000$ ,  $J_6 < 1000$ ,  $J_7 > 50$ ,  $J_8 > 50$ ,  $J_9 < 60$  οι εφικτές λύσεις φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: αποτελέσματα παραδείγματος 4.1.1

w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>	w <sub>4</sub>	w <sub>5</sub>	w <sub>6</sub>	w <sub>7</sub>	w <sub>8</sub>	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>6</sub>	J <sub>7</sub>	J <sub>8</sub>	J <sub>9</sub>
0	0	1	1	0	1	0	1	741	335	89.179	72.239	306.50	292.50	300	355	58.75
0	1	0	1	0	0	0	1	645	310	92.581	80.000	294.00	268.00	180	250	60.00
0	1	0	1	0	1	0	1	693	325	91.769	80.000	295.50	275.50	280	335	55.00
0	1	0	1	1	1	0	1	753	345	90.507	80.290	299.50	281.50	380	410	59.00
0	1	1	1	0	1	0	1	909	415	90.301	75.663	394.50	356.50	380	420	60.00
1	0	0	1	0	1	0	1	755	360	93.681	77.778	322.50	326.50	300	340	56.25
1	0	0	1	1	1	0	1	815	380	92.434	78.158	326.50	332.50	400	415	60.00
1	0	1	0	0	1	0	1	686	300	92.917	71.333	271.50	227.50	330	335	60.00
1	1	0	0	1	1	0	1	698	310	94.274	80.323	264.50	216.50	410	390	60.00
1	1	0	1	0	1	0	0	731	360	93.681	82.222	354.50	366.50	350	310	60.00
1	1	0	1	0	1	0	1	923	440	93.920	80.000	410.50	390.50	380	405	58.00

### Παράδειγμα 1.2

- Για  $J_1 < 10000$ ,  $J_2 > 400$ ,  $J_3 > 30$ ,  $J_4 > 30$ ,  $J_5 < 1000$ ,  $J_6 < 1000$ ,  $J_7 > 50$ ,  $J_8 > 50$ ,  $J_9 < 60$  οι εφικτές λύσεις φαίνονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: αποτελέσματα παραδείγματος 4.1.2

w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>	w <sub>4</sub>	w <sub>5</sub>	w <sub>6</sub>	w <sub>7</sub>	w <sub>8</sub>	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>6</sub>	J <sub>7</sub>	J <sub>8</sub>	J <sub>9</sub>
0	1	1	1	0	1	0	1	909	415	90.301	75.663	394.50	356.50	380	420	60.00
1	1	0	1	0	1	0	1	923	440	93.920	80.000	410.50	390.50	380	405	58.00

### Παράδειγμα 1.3

- Για  $J_1 < 10000$ ,  $J_2 > 500$ ,  $J_3 > 30$ ,  $J_4 > 30$ ,  $J_5 < 1000$ ,  $J_6 < 1000$ ,  $J_7 > 50$ ,  $J_8 > 50$ ,  $J_9 < 60$  δεν υπάρχουν εφικτές λύσεις. Από τα προηγούμενα παραδείγματα φάνηκε άλλωστε πως η μέγιστη εφικτή τιμή για το  $J_2$  ήταν 440.

Μπορούμε να παρατηρήσουμε εύκολα πως κάποιοι παραγωγοί επιλέγονται σε πιο πολλές περιπτώσεις από άλλους. Κάποιοι μάλιστα ίσως επιλέγονται σε κάθε περίπτωση ή σε καμία, όπως ο παραγωγός R7. Αυτό είναι ενδεικτικό της σταθερότητας των λύσεων και της ευαισθησίας τους σε αλλαγές στους περιορισμούς. Περισσότερα για αυτό το θέμα θα αναφερθούν στην επόμενη ενότητα. Αυτές οι



παρατηρήσεις θα φαίνονταν ακόμα πιο εύκολα εάν οι λύσεις είχαν ταξινομηθεί ανάλογα με το κόστος που μας ενδιαφέρει. Για παράδειγμα, ταξινομώντας τον Πίνακα 2 ως προς το  $J_2$  παίρνουμε τον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: ταξινομημένα αποτελέσματα παραδείγματος 4.1.1

w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>	w <sub>4</sub>	w <sub>5</sub>	w <sub>6</sub>	w <sub>7</sub>	w <sub>8</sub>	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>6</sub>	J <sub>7</sub>	J <sub>8</sub>	J <sub>9</sub>
1	1	0	1	0	1	0	1	923	440	93.920	80.000	410.50	390.50	380	405	58.00
0	1	1	1	0	1	0	1	909	415	90.301	75.663	394.50	356.50	380	420	60.00
1	0	0	1	1	1	0	1	815	380	92.434	78.158	326.50	332.50	400	415	60.00
1	0	0	1	0	1	0	1	755	360	93.681	77.778	322.50	326.50	300	340	56.25
1	1	0	1	0	1	0	0	731	360	93.681	82.222	354.50	366.50	350	310	60.00
0	1	0	1	1	1	0	1	753	345	90.507	80.290	299.50	281.50	380	410	59.00
0	0	1	1	0	1	0	1	741	335	89.179	72.239	306.50	292.50	300	355	58.75
0	1	0	1	0	1	0	1	693	325	91.769	80.000	295.50	275.50	280	335	55.00
0	1	0	1	0	0	0	1	645	310	92.581	80.000	294.00	268.00	180	250	60.00
1	1	0	0	1	1	0	1	698	310	94.274	80.323	264.50	216.50	410	390	60.00
1	0	1	0	0	1	0	1	686	300	92.917	71.333	271.50	227.50	330	335	60.00

Εδώ παρατηρούμε πως οι παραγωγοί R4 και R6 επιλέγονται πιο συχνά σε σχέση με του R3 και R5 εάν θέλουμε μεγάλες τιμές του  $J_2$ . Συμπερασματικά, η απόφαση για τους παραγωγούς R4, R6, R7, R8 είναι πιο σταθερή σε σχέση με τους R3 και R5, ενώ για τους R1 και R2 δεν φαίνεται να υπάρχει κανένα μοτίβο που να βοηθάει στην απόφαση. Αντίστοιχα, μπορούμε να ταξινομήσουμε τα αποτελέσματα ως προς οποιαδήποτε κριτήριο ενδιαφέρει. Αν για παράδειγμα ο διαχειριστής θέλει μια φιλική προς το περιβάλλον πολιτική μπορεί να ταξινομήσει τις εφικτές λύσεις ως προς το άθροισμα των  $J_5$  και  $J_6$ , που αφορούν τις εκπομπές. Οποιαδήποτε απόφαση προφανώς και με τη σειρά της θα επηρεάσει τη στρατηγική και τις κινήσεις των συμμετεχόντων στην αγορά για αυτό η επιλογή πρέπει να γίνει με προσοχή και να συνοδεύεται από μελέτες που θα προβλέπουν αυτές τις συμπεριφορές.

## 9.8.2 Παραδείγματα για το Πρόβλημα 2

Αυτή είναι η πιο απλή μορφή του προβλήματος βελτιστοποίησης. Έχουμε γραμμική αντικειμενική και περιορισμούς που εξαρτώνται από δυαδικές μεταβλητές. Όλα τα παραδείγματα από αυτή την ενότητα και μετά λύνονται χρησιμοποιώντας το λογισμικό GAMS.

### Παράδειγμα 1.4

Εδώ βελτιστοποιούνται τα κόστη  $J_1$ ,  $J_2$  και  $J_3$ , ύστερα από αναδιατύπωση σύμφωνα με την Ενότητα 3.3, ενώ προστίθενται και κάποιοι περιορισμοί για τα υπόλοιπα κριτήρια σε κάθε περίπτωση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5: αποτελέσματα παραδείγματος 4.2.1

απόφαση	κριτ βελτιστ.	όρια κριτ															
w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>	w <sub>4</sub>	w <sub>5</sub>	w <sub>6</sub>	w <sub>7</sub>	w <sub>8</sub>	J <sub>j</sub>	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>6</sub>	J <sub>7</sub>	J <sub>8</sub>	J <sub>9</sub>
0	1	1	1	0	0	0	1	minJ <sub>1</sub> = 861	-	400	30	30	1000	1000	50	50	70
1	1	0	1	0	1	1	0	maxJ <sub>2</sub> = 470	1000	-	30	30	1000	1000	50	50	70

1	0	0	1	1	0	0	0	$\max J_2 = 285$	600	-	30	30	1000	1000	50	50	70
1	1	0	0	0	0	0	1	$\max J_3 = 97.091$	1000	200	-	30	1000	1000	50	50	70
1	1	0	0	0	1	1	1	$\max J_3 = 95.688$	1000	400	-	30	1000	1000	50	50	70

Παρατηρούμε πως όσο στενεύουν τα όρια για τα κριτήρια, τόσο περιορίζονται οι εφικτές λύσεις και χειροτερεύει η βέλτιστη.

### 9.8.3 Παραδείγματα για το Πρόβλημα 3

Σε αυτά τα παραδείγματα τα βάρη θεωρούνται αποφασισμένα ή ο διαχειριστής θέλει να δοκιμάσει διάφορα σενάρια και να βρει το σύνολο Παρέτο. Τα κόστη  $J_3, J_4, J_9$  που είναι μη γραμμικά πρέπει να μετασχηματιστούν και τελικά έχουμε πάλι ένα πρόβλημα μικτού ακέραιου προγραμματισμού.

#### Παράδειγμα 1.5

Σε αυτό το παράδειγμα ο διαχειριστής έχει ήδη αποφασίσει την ενεργειακή πολιτική που θα ακολουθήσει, δηλαδή τα βάρη. Για διάφορους περιορισμούς και βάρη τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: αποτελέσματα παραδείγματος 4.3.1

απόφαση								κέρδος	βάρη									περιορισμοί
$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$	$w_8$	J	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$	$J_j$
1	1	1	0	1	1	1	0	165.351	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.4	0.05	0.05	$J_1 < 1000$
1	1	1	0	1	1	1	0	291.601	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.6	0.05	0.05	$J_1 < 1000$
0	1	1	0	1	1	0	1	229.804	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.6	0.05	0.05	$J_1 < 1000, J_2 < 300$
0	0	0	0	1	1	0	1	63.822	0.05	0.05	0.6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	$J_1 < 1000$
1	1	1	0	1	1	1	0	90.173	0.05	0.05	0.5	0.05	0.05	0.05	0.15	0.05	0.05	$J_1 < 1000$
0	0	0	0	0	1	0	0	-135	0.6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	-

Ο διαχειριστής μπορεί να θέσει καθόλου, άνω, κάτω ή και τα δύο όρια σε κάποια κόστη. Όπως παρατηρούμε μικρές αλλαγές στα βάρη ίσως αλλάξουν τη βέλτιστη λύση ενώ άλλες μεγαλύτερες να μην την επηρεάσουν. Όσο αυστηροποιούνται οι περιορισμοί η βέλτιστη λύση γίνεται χειρότερη. Το κέρδος μπορεί να γίνει ακόμα και αρνητικό εάν τα αρνητικά κόστη υπερβούν τα κέρδη. Αυτές οι αλλαγές αφορούν και την ευαισθησία των λύσεων και πρέπει να λυθούν αρκετά παραδείγματα για να γίνει κατανοητό πώς κάθε τιμή και όριο επηρεάζει τη βέλτιστη λύση.

#### Παράδειγμα 1.6

Εδώ υπολογίζουμε το εφικτό σύνολο δεδομένου ότι  $J_1 < 1000, J_2 > 400, J_3 > 30, J_4 > 30, J_5 < 1000, J_6 < 1000, J_7 > 50, J_8 > 50, J_9 < 70$ . Οι πιθανοί συνδυασμοί βαρών είναι άπειροι αλλά υποθέτουμε πως ο διαχειριστής θεωρεί όλα τα κόστη ισοδύναμα εκτός από ένα που είναι το πιο σημαντικό σε σχέση με τα άλλα. Ενδεικτικά στο σημαντικό δίνεται συντελεστής βαρύτητας 6 και στα υπόλοιπα συντελεστές ίσοι με 0,05. Ίσως λοιπόν ο διαχειριστής δεν έχει αποφασίσει πιο είναι το πιο σημαντικό κριτήριο για αυτόν, οπότε ψάχνει το σύνολο των λύσεων που είναι βέλτιστες για κάθε αντίστοιχο συνδυασμό βαρών. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: αποτελέσματα παραδείγματος 4.3.2

$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$	$w_8$	J	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$
0	1	1	1	0	0	0	1	-5147,281	6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

1	0	0	1	0	1	1	1	2777,506	0.05	6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
1	1	0	0	0	1	1	1	561,006	0.05	0.05	6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
1	1	0	0	1	1	1	1	467,395	0.05	0.05	0.05	6	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
1	1	0	0	0	1	1	1	-1885,559	0.05	0.05	0.05	0.05	6	0.05	0.05	0.05	0.05
1	1	0	0	1	0	1	1	-1384,046	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	6	0.05	0.05	0.05
1	1	1	0	1	1	1	0	3207,601	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	6	0.05	0.05
0	1	1	1	1	1	0	1	2934,398	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	6	0.05
1	1	0	1	0	1	0	1	-364,254	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	6

Λύνοντας το πρόβλημα ικανοποιησιμότητας, υπάρχουν 31 εφικτές λύσεις που να ικανοποιούν τους περιορισμούς αυτού του παραδείγματος. Για κάθε συνδυασμό βαρών βρίσκουμε τη βέλτιστη λύση από αυτές τις εφικτές. Με βάση τις βέλτιστες λύσεις ο διαχειριστής μπορεί να αποφασίσει ποια ενεργειακή πολιτική και ποια λύση προτιμάει. Και σε αυτήν την περίπτωση κάποιες λύσεις επιλέγονται πιο συχνά σε σχέση με άλλες, ενώ κάποιες βέλτιστες επιλογές είναι ίδιες για διαφορετικούς συνδυασμούς βαρών. Η τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης βέβαια είναι διαφορετικές και σε αυτές τις περιπτώσεις. Παρατηρούμε πως όταν η βαρύτητα των αρνητικών κοστών είναι μεγάλη το κέρδος του διαχειριστή είναι αρνητικό. Ίσως αυτό το αποτέλεσμα μπορούσε να βελτιωθεί αν οι απαιτήσεις για ενέργεια ήταν χαμηλότερες.

## 9.9 Ευαισθησία/Σταθερότητα

Όπως σε κάθε πρόβλημα βελτιστοποίησης μας ενδιαφέρει η σταθερότητα του συστήματος. Η ανάλυση ευαισθησίας μελετά τις αλλαγές της βέλτιστης λύσης αναλόγως των αλλαγών στις παραμέτρους του προβλήματος. Ωστόσο, οι ακέραιοι αριθμοί δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν με την κλασσική έννοια της ευαισθησίας. Σε ένα πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού, η σταθερότητα των λύσεων εξαρτάται από τη σταθερότητα στην επιλογή που θα κάνουμε. Άρα ένα σταθερό σύστημα θα πρέπει σε γενικές γραμμές να επιλέγει ή να απορρίπτει τους ίδιους παραγωγούς εάν οι αλλαγές των παραμέτρων είναι μικρές. Ένας τρόπος για να μελετηθεί αυτό είναι η ταξινόμηση των λύσεων του προβλήματος ικανοποιησιμότητας όπως δείξαμε στο τέλος της ενότητας 4.1.2. Για να μειωθεί η πολυπλοκότητα μπορούμε να επικεντρωθούμε μόνο στις ταξινομημένες λύσεις που είναι κοντά στη βέλτιστη.

Επομένως, η σταθερότητα είναι σημαντική όταν δίνουμε τιμές στα βάρη  $w_i$  που είναι συνεχείς μεταβλητές. Επίσης, η κλασσική έννοια της ευαισθησίας αφορά τις βαθμολογίες των παραγωγών για κάθε κριτήριο, οι οποίες μπορεί να περιέχουν λάθη μέτρησης ή εκτίμησης. Ακόμα και αν είναι όμως σωστές ίσως αλλάξουν ξαφνικά, πχ. σε περίπτωση βλάβης σε ένα εργοστάσιο παραγωγής. Επομένως πρέπει να μελετηθεί πώς μικρές αλλαγές μπορεί να επηρεάσουν την βέλτιστη λύση πριν παρθεί η τελική απόφαση.

Θα εξετάσουμε ξανά το πιο από μας παράδειγμα, αυτό της μεγιστοποίησης του  $J_2$ . Στο παράδειγμα 4.2.1 υπολογίσαμε πως η βέλτιστη λύση για  $J_1 < 1000$ ,  $J_3 > 30$ ,  $J_4 > 30$ ,  $J_5 < 1000$ ,  $J_6 < 1000$ ,  $J_7 > 50$ ,  $J_8 > 50$ ,  $J_9 < 70$  είναι:

$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$	$w_8$	$J_2$
1	1	0	1	0	1	1	0	470

Εάν η τιμή του παραγωγού R4 ανέβει από 1.9 σε 2.1, η βέλτιστη λύση γίνεται:

$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$	$w_8$	$J_2$
1	0	0	1	0	0	1	1	455

Ωστόσο, εάν τα κοινωνικά χαρακτηριστικά του παραγωγού R4 βαθμολογηθούμε με 60 αντί για 90, η βέλτιστη λύση δεν αλλάζει:

$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$	$w_8$	$J_2$
1	1	0	1	0	1	1	0	470

1	1	0	1	0	1	1	0	470
---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Αυτό συμβαίνει γιατί τα όρια που τέθηκαν για τα κοινωνικά χαρακτηριστικά είναι χαλαρά σε σχέση με την τιμή. Επομένως η ευαισθησία του αποτελέσματος εξαρτάται και από τη διατύπωση του προβλήματος.

## 9.10 Συμπεράσματα και επεκτάσεις

Στις απελευθερωμένες αγορές ενέργειας μελλοντικά, ένας ανεξάρτητος διαχειριστής θα πρέπει να αποφασίζει ποιοι παραγωγοί είναι καλύτεροι βασιζόμενος όχι μόνο στην τιμή τους αλλά και σε άλλα κριτήρια με στόχο τη μεγιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους. Σε αυτό το κεφάλαιο κάναμε μια πολυκριτηριακή προσέγγιση και δημιουργήσαμε ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων.

Ο διαχειριστής θα πρέπει να αποφασίζει κάθε φορά τη σημασία που θα έχουν τα διάφορα κριτήρια και να τα ενσωματώνει σε μια αντικειμενική συνάρτηση που θα βελτιστοποιεί. Μπορεί επίσης να βρίσκει όλες τις εφικτές λύσεις και μετά να επιλέγει κάποια από αυτές. Μελετήσαμε πώς αυτή η αντικειμενική και το όλο πρόβλημα με τους περιορισμούς του διατυπώνεται και λύνεται χρησιμοποιώντας ακέραιο προγραμματισμό. Επίσης είδαμε πώς οι δυαδικές μεταβλητές μπορούν να μειώσουν την πολυπλοκότητα και να βοηθήσουν σε περίπτωση μη γραμμικών συναρτήσεων. Με αυτή τη μεθοδολογία μπορούν να λυθούν γενικά και ρεαλιστικά προβλήματα. Αξίζει να μελετηθεί η περίπτωση όπου κάποιος παράγωγος συνδυάζει πολλές πηγές ενέργειας και τεχνολογίας επομένως είναι πιο δύσκολη η βαθμολόγησή του.

Τα αποτελέσματά μας βασίζονται σε ένα εισαγωγικό παράδειγμα και δείχνουν πώς επηρεάζεται η βέλτιστη λύση από τους περιορισμούς που τίθενται και πώς μικρές αλλαγές στις παραμέτρους. Βέβαια οι βαθμολογίες των παραγωγών πρέπει να είναι όσο πιο ακριβείς γίνεται. Τέλος και η ενεργειακή πολιτική που θα ακολουθηθεί, δηλαδή τα βάρη στην αντικειμενική συνάρτηση, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο. Επομένως, χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση του πώς επιλέγονται αυτά τα βάρη. Η παρουσία πολλών συμμετεχόντων στην αγορά, όπως διάφοροι παραγωγοί, καταναλωτές, διοικητικές αρχές κλπ οδηγούν και σε έννοιες και μεθοδολογίες από τη θεωρία παιγνίων.

## Κεφάλαιο 10

### Συμπεράσματα – Μελλοντικοί Ερευνητικοί Στόχοι

Η αγορά ενέργειας αποτελεί μια διαφορετική αγορά από τις υπόλοιπες. Ο τομέας της ενέργειας ενσωματώνει μια σειρά κρίσιμων παραγόντων που ξεφεύγουν της κλασικής οικονομοτεχνικής προσέγγισης.

Συγκεκριμένα για την Ελληνική αγορά συντρέχουν μια σειρά παραγόντων που καθιστούν τη διαχείριση της εν λόγω αγοράς ακόμα πιο ιδιαίτερη και δύσκολη.

Ο γεωστρατηγικός ρόλος και θέση της Ελλάδος σε συνδυασμό με τη διαμάχη της Δύσης με τη Ρωσική ενεργειακή επεκτατική πολιτική καθιστούν την Ελλάδα ένα ενδιάμεσο κρίσιμο ενεργειακό κόμβο.

Παράλληλα το δίλημμα της απελευθέρωσης ή μη της εκμετάλλευσης του φθηνού λιγνίτη από ιδιώτες, η εισαγωγή και οι όροι εισαγωγής των ΑΠΕ στο δίκτυο καθώς επίσης και η τιμολογιακή πολιτική απέναντι στην παραγωγή ενέργειας από φυσικό αέριο αποτελούν κεφαλαιώδους σημασίας ζητήματα τα οποία θα καθορίσουν και σε μεγάλο βαθμό την Ελληνική Ενεργειακή Πολιτική.

Στο ήδη δύσκολο και δαιδαλώδες αυτό σκηνικό αναμόρφωσης της Ελληνικής Αγοράς Ενέργειας πρέπει να προστεθεί και η δυσδιάκριτη παρουσία θεσμών και αρχών στη ρύθμιση της .

Ο συγγραφέας και οι απόψεις του είναι ξεκάθαρα υπέρ της πλήρης απελευθέρωσης της αγοράς. Η αγορά ενέργειας λειτουργεί κάτω από ένα στρεβλωμένο καθεστώς χειραγώγησης και κρατισμού. Η μη διάθεση των λιγνιτικών κοιτασμάτων σε ιδιώτες και η ολοκληρωτική παρουσία της ΔΕΗ στην αγορά έχουν απαγορεύσει τη λειτουργία της αγοράς και του υγιούς ανταγωνισμού.

Η ενοποίηση της Ευρωπαϊκής Αγοράς σε συνδυασμό με το χρηματιστήριο ρύπων και πράσινων πιστοποιητικών είναι ένα πρώτο βήμα προς τον εξορθολογισμό και της ελληνικής αγοράς ενέργειας.

Στόχος της διατριβής είναι να δείξει ότι σε ένα σύστημα όπου υπάρχουν σκληροί κανόνες λειτουργίας και ο παρεμβατισμός του Κράτους είναι απαγορευτικός, τότε οι παίκτες της αγοράς μπορούν να εφαρμόσουν «παίγνια» τα οποία στο τέλος έχουν στόχο το κέρδος του παίκτη - παραγωγού αλλά και μέσω του ανταγωνισμού το κέρδος του καταναλωτή (οικιακού και βιομηχανικού).

Παράλληλα στόχος της διατριβής είναι η εισαγωγή ποιοτικών παραμέτρων στη λήψη αποφάσεων. Περιβαλλοντικοί , κοινωνικοί και εθνικοί παράγοντες μπορούν να εισαχθούν και να δώσουν μια νέα διάσταση στη λήψη αποφάσεων.

Βασικά εργαλεία βελτιστοποίησης αλλά και η εισαγωγή της Θεωρίας Παιγνίων αποτέλεσε το μαθηματικό εφαλτήριο της διατριβής ενώ παράλληλα επιχειρήθηκε να μοντελοποιηθεί η συμπεριφορά υπαρκτών επενδυτικών σχεδίων στο τομέα της ενέργειας.

Στόχος της περαιτέρω ερευνητικής μας εργασίας με τον Καθηγητή κ.Παπαβασιλόπουλο είναι η δημιουργία ενός δυναμικού μοντέλου αποφάσεων προσανατολισμένο στην ενέργεια. Η προσομοίωση σεναρίων αλλά και η μελέτη της σταθερότητας ενός δικτύου σε ακραία σενάρια αποτελούν μόνο ένα μικρό δείγμα των δυναμικών προεκτάσεων του αντικειμένου έρευνας και εργασίας μας.

## Παράρτημα Α

### Κώδικας Java για την οπτικοποίηση και την εκτέλεση του κώδικα στο Κεφάλαιο 7

#### OptimizationRenderer.java

```
package nk.opt.common;
import java.awt.Color;
import java.awt.EventQueue;
import java.awt.event.ActionListener;
import java.awt.event.ActionEvent;
import java.awt.Toolkit;
import java.awt.Dimension;
import java.awt.Component;
import java.awt.Font;
import java.awt.Paint;
import java.awt.BorderLayout;
import java.io.File;
import java.io.IOException;
import java.util.Calendar;
import java.util.Random;
import javax.swing.JFrame;
import javax.swing.JOptionPane;
import javax.swing.JPanel;
import javax.swing.UnsupportedLookAndFeelException;
import javax.swing.border.EmptyBorder;
import javax.swing.border.TitledBorder;
import javax.swing.UIManager;
import javax.swing.JLabel;
import javax.swing.JButton;
import javax.swing.SwingConstants;
import javax.swing.border.LineBorder;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.JCheckBox;
import com.jgoodies.forms.layout.FormLayout;
import com.jgoodies.forms.layout.ColumnSpec;
import com.jgoodies.forms.layout.RowSpec;
import com.jgoodies.forms.factories.FormFactory;
import org.jfree.chart.ChartFactory;
import org.jfree.chart.ChartPanel;
import org.jfree.chart.JFreeChart;
import org.jfree.chart.plot.CategoryPlot;
import org.jfree.chart.plot.PlotOrientation;
import org.jfree.data.category.DefaultCategoryDataset;
import nk.opt.controls.JNumericTextField;
import nk.opt.lib.OptimizationException;
import nk.opt.lib.OptimizationHandler;
import nk.opt.lib.OptimizationRenderer;
public class EnergyGridOptimization extends JFrame {
    private JPanel contentPane;
    private JPanel plnput;
    private JPanel plnputInitial;
    private JLabel lblGridProfitFromCo;
    private JNumericTextField numGridProfitFromCo;
    private JLabel lblPurchasePrice;
    private JNumericTextField numPurchasePrice;
    private JLabel lblPenaltyCo;
    private JNumericTextField numPenaltyCo;
    private JLabel lblReliabilityBonus;
    private JNumericTextField numReliabilityBonus;
    private JLabel lblProductivityBonus;
    private JNumericTextField numProductivityBonus;
    private JPanel plnputGrid;
    private JLabel lblEnergyCost;
    private JLabel lblEnvironmentalFootprint;
    private JLabel lblEnergyReliability;
    private JLabel lblSocialFootprint;
    private JLabel lblLignite;
    private JNumericTextField numLigniteEnergyProductionCost;
    private JNumericTextField numLigniteEnvironmentalFootprint;
    private JNumericTextField numLigniteEnergyReliability;
    private JNumericTextField numLigniteSocialFootprint;
    private JLabel lblPhotovoltaics;
    private JNumericTextField numPhotovoltaicsEnergyProductionCost;
    private JNumericTextField numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint;
    private JNumericTextField numPhotovoltaicsEnergyReliability;
    private JNumericTextField numPhotovoltaicsSocialFootprint;
    private JLabel lblWindFarms;
    private JNumericTextField numWindFarmsEnergyProductionCost;
    private JNumericTextField numWindFarmsEnvironmentalFootprint;
    private JNumericTextField numWindFarmsEnergyReliability;
    private JNumericTextField numWindFarmsSocialFootprint;
    private JLabel lblBiomass;
    private JNumericTextField numBiomassEnergyProductionCost;
    private JNumericTextField numBiomassEnvironmentalFootprint;
    private JNumericTextField numBiomassEnergyReliability;
    private JNumericTextField numBiomassSocialFootprint;
    private JPanel plnputLast;
    private JLabel lblTotalEnergyDemand;
    private JNumericTextField numTotalEnergyDemand;
    private JLabel lblLigniteEnergy;
    private JNumericTextField numLigniteEnergy;
```

```

private JLabel lblPhotovoltaicsEnergy;
private JNumericTextField numPhotovoltaicsEnergy;
private JLabel lblWindFarmsEnergy;
private JNumericTextField numWindFarmsEnergy;
private JLabel lblBiomassEnergy;
private JNumericTextField numBiomassEnergy;
private JButton btnProcess;
private JButton btnClear;
private JCheckBox chkSaveDataToLogFile;
private JPanel pOutput;
private JPanel pChart;
private JPanel pNumericResults;
private JLabel lblLigniteGain;
private JNumericTextField numLigniteGain;
private JLabel lblPhotovoltaicsGain;
private JNumericTextField numPhotovoltaicsGain;
private JLabel lblWindFarmsGain;
private JNumericTextField numWindFarmsGain;
private JLabel lblBiomassProfit;
private JNumericTextField numBiomassGain;
private JLabel lblGridAdministratorGain;
private JNumericTextField numGridAdministratorGain;
public static void main(String[] args) {
    setupLookAndFeel();
    EventQueue.invokeLater(new Runnable() {
        public void run() {
            try {
                EnergyGridOptimization frmMain = new EnergyGridOptimization();
                frmMain.setLocationRelativeTo(null);
                frmMain.setVisible(true);
            } catch (Exception e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
    });
}

public EnergyGridOptimization() {
    initGUI();
    getRootPane().setDefaultButton(this.btnProcess);
}

private void initGUI() {
    setIconImage(Toolkit.getDefaultToolkit().getImage(EnergyGridOptimization.class.getResource("/resources/applcon.png")));
    setTitle("Energy Market Management Optimization - Decision Policy Tool");
    setResizable(false);
    setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
    //setBounds(0, 0, 800, 560);
    contentPane = new JPanel();
    contentPane.setBorder(new EmptyBorder(5, 5, 5, 5));
    setContentPane(contentPane);
    contentPane.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
        FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,
        ColumnSpec.decode("default:grow"),
        FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,
        new RowSpec[] {
            RowSpec.decode("fill:4dlu"),
            RowSpec.decode("fill:157dlu"),
            RowSpec.decode("fill:4dlu"),
            RowSpec.decode("fill:175dlu"),
            RowSpec.decode("fill:4dlu"),
        }
    }, new JPanel());
    pInput.setBorder(new TitledBorder(UIManager.getBorder("TitledBorder.border"), "Data entries - Fill in the required fields. Press \"Process\" or \"Clear\"",
        TitledBorder.LEADING, TitledBorder.TOP, null, null));
    contentPane.add(pInput, "2, 2, fill, fill");
    pInput.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
        ColumnSpec.decode("1dlu"),
        ColumnSpec.decode("126dlu"),
        ColumnSpec.decode("1dlu"),
        ColumnSpec.decode("120dlu"),
        ColumnSpec.decode("1dlu"),
        ColumnSpec.decode("120dlu"),
        ColumnSpec.decode("1dlu"),
        ColumnSpec.decode("134dlu"),
        ColumnSpec.decode("1dlu"),
    }, new RowSpec[] {
        RowSpec.decode("fill:4dlu"),
        RowSpec.decode("fill:115dlu"),
        RowSpec.decode("fill:2dlu"),
        RowSpec.decode("fill:20dlu"),
        RowSpec.decode("fill:4dlu"),
    }
    ));
    pInputInitial = new JPanel();
    pInput.add(pInputInitial, "2, 2, fill, fill");
    pInputInitial.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
        ColumnSpec.decode("2dlu"),
        ColumnSpec.decode("90dlu"),
        ColumnSpec.decode("2dlu"),
        ColumnSpec.decode("30dlu"),
        ColumnSpec.decode("2dlu"),
    }, new RowSpec[] {
        RowSpec.decode("fill:4dlu"),
        RowSpec.decode("fill:15dlu"),
        RowSpec.decode("fill:7dlu"),
        RowSpec.decode("fill:15dlu"),
        RowSpec.decode("fill:7dlu"),
        RowSpec.decode("fill:15dlu"),
        RowSpec.decode("fill:7dlu"),
    }
    ));
}

```

```

RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"));
lblGridProfitFromCo = new JLabel("Grid Profit From CO2");
lblGridProfitFromCo.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblGridProfitFromCo.setOpaque(true);
lblGridProfitFromCo.setForeground(Color.WHITE);
lblGridProfitFromCo.setBackground(Color.GRAY);
pInputInitial.add(lblGridProfitFromCo, "2, 2, fill, fill");
numGridProfitFromCo = new JNumericTextField();
numGridProfitFromCo.setAllowNegative(false);
numGridProfitFromCo.setPrecision(2);
numGridProfitFromCo.setFormat(3);
numGridProfitFromCo.setMaxLength(6);
numGridProfitFromCo.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInputInitial.add(numGridProfitFromCo, "4, 2, fill, default");
lblPurchasePrice = new JLabel("Purchase Price");
lblPurchasePrice.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblPurchasePrice.setForeground(Color.WHITE);
lblPurchasePrice.setOpaque(true);
lblPurchasePrice.setBackground(Color.GRAY);

pInputInitial.add(lblPurchasePrice, "2, 4, fill, fill");
numPurchasePrice = new JNumericTextField();
numPurchasePrice.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPurchasePrice.setAllowNegative(false);
numPurchasePrice.setPrecision(2);
numPurchasePrice.setFormat(3);
numPurchasePrice.setMaxLength(6);
pInputInitial.add(numPurchasePrice, "4, 4, fill, default");
lblPenaltyCo = new JLabel("Penalty CO2");
lblPenaltyCo.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblPenaltyCo.setForeground(Color.WHITE);
lblPenaltyCo.setOpaque(true);
lblPenaltyCo.setBackground(Color.GRAY);
pInputInitial.add(lblPenaltyCo, "2, 6, fill, fill");
numPenaltyCo = new JNumericTextField();
numPenaltyCo.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPenaltyCo.setAllowNegative(false);
numPenaltyCo.setPrecision(2);
numPenaltyCo.setFormat(3);
numPenaltyCo.setMaxLength(6);
pInputInitial.add(numPenaltyCo, "4, 6, fill, default");
lblReliabilityBonus = new JLabel("Reliability Bonus ");
lblReliabilityBonus.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblReliabilityBonus.setForeground(Color.WHITE);
lblReliabilityBonus.setOpaque(true);
lblReliabilityBonus.setBackground(Color.GRAY);
pInputInitial.add(lblReliabilityBonus, "2, 8, fill, fill");
numReliabilityBonus = new JNumericTextField();
numReliabilityBonus.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numReliabilityBonus.setAllowNegative(false);
numReliabilityBonus.setPrecision(2);
numReliabilityBonus.setFormat(3);
numReliabilityBonus.setMaxLength(6);
pInputInitial.add(numReliabilityBonus, "4, 8, fill, default");
lblProductivityBonus = new JLabel("Productivity Bonus");
lblProductivityBonus.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblProductivityBonus.setForeground(Color.WHITE);
lblProductivityBonus.setOpaque(true);
lblProductivityBonus.setBackground(Color.GRAY);
pInputInitial.add(lblProductivityBonus, "2, 10, fill, fill");
numProductivityBonus = new JNumericTextField();
numProductivityBonus.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numProductivityBonus.setAllowNegative(false);
numProductivityBonus.setPrecision(2);
numProductivityBonus.setFormat(3);
numProductivityBonus.setMaxLength(6);
pInputInitial.add(numProductivityBonus, "4, 10, fill, default");
pInputGrid = new JPanel();
pInput.add(pInputGrid, "4, 2, 3, 1, fill, fill");
pInputGrid.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
FormFactory.UNRELATED_GAP_COLSPEC,
ColumnSpec.decode("50dlu"),
FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,
ColumnSpec.decode("40dlu"),
FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,
ColumnSpec.decode("40dlu"),
FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,
ColumnSpec.decode("40dlu"),
FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,
ColumnSpec.decode("40dlu"),
FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,
new RowSpec[] {
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
FormFactory.DEFAULT_ROWSPEC,
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
}

```



```

RowSpec.decode("fill:default"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:default"));
lblEnergyCost = new JLabel("<html><div style=\"text-align: center;\">Energy Production Cost</html>");
lblEnergyCost.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 2));
lblEnergyCost.setForeground(Color.WHITE);
lblEnergyCost.setOpaque(true);
lblEnergyCost.setBackground(Color.GRAY);
lblEnergyCost.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.CENTER);
lblEnergyCost.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
lblEnergyCost.setMaximumSize(new Dimension(70, 14));
pInputGrid.add(lblEnergyCost, "4, 2, fill, top");
lblEnvironmentalFootprint = new JLabel("<html><div style=\"text-align: center;\">Envir/ntal Footprint</html>");
lblEnvironmentalFootprint.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 2));
lblEnvironmentalFootprint.setOpaque(true);
lblEnvironmentalFootprint.setMaximumSize(new Dimension(70, 14));
lblEnvironmentalFootprint.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.CENTER);
lblEnvironmentalFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
lblEnvironmentalFootprint.setForeground(Color.WHITE);
lblEnvironmentalFootprint.setBackground(Color.GRAY);
pInputGrid.add(lblEnvironmentalFootprint, "6, 2, fill, fill");
lblEnergyReliability = new JLabel("<html><div style=\"text-align: center;\">Energy Reliability</html>");
lblEnergyReliability.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 2));
lblEnergyReliability.setOpaque(true);
lblEnergyReliability.setMaximumSize(new Dimension(70, 14));
lblEnergyReliability.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.CENTER);

lblEnergyReliability.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
lblEnergyReliability.setForeground(Color.WHITE);
lblEnergyReliability.setBackground(Color.GRAY)
pInputGrid.add(lblEnergyReliability, "8, 2, fill, fill");
lblSocialFootprint = new JLabel("<html><div style=\"text-align: center;\">Social Footprint</html>");
lblSocialFootprint.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 2));
lblSocialFootprint.setOpaque(true);
lblSocialFootprint.setMaximumSize(new Dimension(70, 14));
lblSocialFootprint.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.CENTER);
lblSocialFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
lblSocialFootprint.setForeground(Color.WHITE);
lblSocialFootprint.setBackground(Color.GRAY);
pInputGrid.add(lblSocialFootprint, "10, 2, fill, fill");
lblLignite = new JLabel("Lignite");
lblLignite.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblLignite.setOpaque(true);
lblLignite.setForeground(Color.WHITE);
lblLignite.setBackground(Color.GRAY);
lblLignite.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.LEFT);
lblLignite.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
pInputGrid.add(lblLignite, "2, 4, fill, fill");
numLigniteEnergyProductionCost = new JNumericTextField();
numLigniteEnergyProductionCost.setAllowNegative(false);
numLigniteEnergyProductionCost.setPrecision(2);
numLigniteEnergyProductionCost.setFormat(3);
numLigniteEnergyProductionCost.setSize(new Dimension(45, 0));
numLigniteEnergyProductionCost.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numLigniteEnergyProductionCost.setMaxLength(6);
numLigniteEnergyProductionCost.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numLigniteEnergyProductionCost, "4, 4, fill, center");
numLigniteEnvironmentalFootprint = new JNumericTextField();
numLigniteEnvironmentalFootprint.setAllowNegative(false);
numLigniteEnvironmentalFootprint.setPrecision(2);
numLigniteEnvironmentalFootprint.setFormat(3);
numLigniteEnvironmentalFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numLigniteEnvironmentalFootprint.setMaxLength(6);
numLigniteEnvironmentalFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numLigniteEnvironmentalFootprint, "6, 4, fill, center");
numLigniteEnergyReliability = new JNumericTextField();
numLigniteEnergyReliability.setAllowNegative(false);
numLigniteEnergyReliability.setPrecision(2);
numLigniteEnergyReliability.setFormat(3);
numLigniteEnergyReliability.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numLigniteEnergyReliability.setMaxLength(6);
numLigniteEnergyReliability.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numLigniteEnergyReliability, "8, 4, fill, center");
numLigniteSocialFootprint = new JNumericTextField();
numLigniteSocialFootprint.setAllowNegative(false);
numLigniteSocialFootprint.setPrecision(2);
numLigniteSocialFootprint.setFormat(3);
numLigniteSocialFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numLigniteSocialFootprint.setMaxLength(6);
numLigniteSocialFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numLigniteSocialFootprint, "10, 4, fill, center");
lblPhotovoltaics = new JLabel("Photovoltaics");
lblPhotovoltaics.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblPhotovoltaics.setOpaque(true);
lblPhotovoltaics.setForeground(Color.WHITE);
lblPhotovoltaics.setBackground(Color.GRAY);
lblPhotovoltaics.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.LEFT);
lblPhotovoltaics.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
pInputGrid.add(lblPhotovoltaics, "2, 6, fill, fill");
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost = new JNumericTextField();
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.setAllowNegative(false);
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.setPrecision(2);
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.setFormat(3);
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.setMaxLength(6);

```

```

numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numPhotovoltaicsEnergyProductionCost, "4, 6, fill, center");
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint = new JNumericTextField();
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.setAllowNegative(false);
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.setPrecision(2);
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.setFormat(3);
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.setMaxLength(6);
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint, "6, 6, fill, center");
numPhotovoltaicsEnergyReliability = new JNumericTextField();
numPhotovoltaicsEnergyReliability.setAllowNegative(false);
numPhotovoltaicsEnergyReliability.setPrecision(2);
numPhotovoltaicsEnergyReliability.setFormat(3);
numPhotovoltaicsEnergyReliability.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPhotovoltaicsEnergyReliability.setMaxLength(6);
numPhotovoltaicsEnergyReliability.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numPhotovoltaicsEnergyReliability, "8, 6, fill, center");
numPhotovoltaicsSocialFootprint = new JNumericTextField();
numPhotovoltaicsSocialFootprint.setAllowNegative(false);
numPhotovoltaicsSocialFootprint.setPrecision(2);
numPhotovoltaicsSocialFootprint.setFormat(3);
numPhotovoltaicsSocialFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPhotovoltaicsSocialFootprint.setMaxLength(6);
numPhotovoltaicsSocialFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numPhotovoltaicsSocialFootprint, "10, 6, fill, center");
lblWindFarms = new JLabel("Wind Farms");
lblWindFarms.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblWindFarms.setOpaque(true);
lblWindFarms.setForeground(Color.WHITE);
lblWindFarms.setBackground(Color.GRAY);
lblWindFarms.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
lblWindFarms.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
pInputGrid.add(lblWindFarms, "2, 8, fill, fill");
numWindFarmsEnergyProductionCost = new JNumericTextField();
numWindFarmsEnergyProductionCost.setAllowNegative(false);
numWindFarmsEnergyProductionCost.setPrecision(2);
numWindFarmsEnergyProductionCost.setFormat(3);
numWindFarmsEnergyProductionCost.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numWindFarmsEnergyProductionCost.setMaxLength(6);
numWindFarmsEnergyProductionCost.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numWindFarmsEnergyProductionCost, "4, 8, fill, center");
numWindFarmsEnvironmentalFootprint = new JNumericTextField();
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.setAllowNegative(false);
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.setPrecision(2);
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.setFormat(3);
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.setMaxLength(6);
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numWindFarmsEnvironmentalFootprint, "6, 8, fill, center");
numWindFarmsEnergyReliability = new JNumericTextField();
numWindFarmsEnergyReliability.setAllowNegative(false);
numWindFarmsEnergyReliability.setPrecision(2);
numWindFarmsEnergyReliability.setFormat(3);
numWindFarmsEnergyReliability.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numWindFarmsEnergyReliability.setMaxLength(6);
numWindFarmsEnergyReliability.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numWindFarmsEnergyReliability, "8, 8, fill, center");
numWindFarmsSocialFootprint = new JNumericTextField();
numWindFarmsSocialFootprint.setAllowNegative(false);
numWindFarmsSocialFootprint.setPrecision(2);
numWindFarmsSocialFootprint.setFormat(3);
numWindFarmsSocialFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numWindFarmsSocialFootprint.setMaxLength(6);
numWindFarmsSocialFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numWindFarmsSocialFootprint, "10, 8, fill, center");
lblBiomass = new JLabel("Biomass");
lblBiomass.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblBiomass.setOpaque(true);
lblBiomass.setForeground(Color.WHITE);
lblBiomass.setBackground(Color.GRAY);
lblBiomass.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
lblBiomass.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
pInputGrid.add(lblBiomass, "2, 10, fill, fill");
numBiomassEnergyProductionCost = new JNumericTextField();
numBiomassEnergyProductionCost.setAllowNegative(false);
numBiomassEnergyProductionCost.setPrecision(2);
numBiomassEnergyProductionCost.setFormat(3);
numBiomassEnergyProductionCost.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numBiomassEnergyProductionCost.setMaxLength(6);
numBiomassEnergyProductionCost.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numBiomassEnergyProductionCost, "4, 10, fill, center");
numBiomassEnvironmentalFootprint = new JNumericTextField();
numBiomassEnvironmentalFootprint.setAllowNegative(false);
numBiomassEnvironmentalFootprint.setPrecision(2);
numBiomassEnvironmentalFootprint.setFormat(3);
numBiomassEnvironmentalFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numBiomassEnvironmentalFootprint.setMaxLength(6);
numBiomassEnvironmentalFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numBiomassEnvironmentalFootprint, "6, 10, fill, center");
numBiomassEnergyReliability = new JNumericTextField();
numBiomassEnergyReliability.setAllowNegative(false);
numBiomassEnergyReliability.setPrecision(2);
numBiomassEnergyReliability.setFormat(3);
numBiomassEnergyReliability.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);

```

```

numBiomassEnergyReliability.setMaxLength(6);
numBiomassEnergyReliability.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numBiomassEnergyReliability, "8, 10, fill, center");
numBiomassSocialFootprint = new JNumericTextField();
numBiomassSocialFootprint.setAllowNegative(false);
numBiomassSocialFootprint.setPrecision(2);
numBiomassSocialFootprint.setFormat(3);
numBiomassSocialFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numBiomassSocialFootprint.setMaxLength(6);
numBiomassSocialFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numBiomassSocialFootprint, "10, 10, fill, center");
pInputLast = new JPanel();
pInput.add(pInputLast, "8, 2, fill, fill");
pInputLast.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
    ColumnSpec.decode("2dlu"),
    ColumnSpec.decode("80dlu"),
    ColumnSpec.decode("2dlu"),
    ColumnSpec.decode("48dlu"),},
    new RowSpec[] {
    RowSpec.decode("fill:4dlu"),
    RowSpec.decode("fill:15dlu"),
    RowSpec.decode("fill:7dlu"),
    RowSpec.decode("fill:15dlu"),
    RowSpec.decode("fill:7dlu"),
    RowSpec.decode("fill:15dlu"),
    RowSpec.decode("fill:7dlu"),
    RowSpec.decode("fill:15dlu"),
    RowSpec.decode("fill:7dlu"),
    RowSpec.decode("fill:15dlu"),}));
lblTotalEnergyDemand = new JLabel("Total Energy Demand");
lblTotalEnergyDemand.setOpaque(true);
lblTotalEnergyDemand.setForeground(Color.WHITE);
lblTotalEnergyDemand.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblTotalEnergyDemand.setBackground(Color.GRAY);
pInputLast.add(lblTotalEnergyDemand, "2, 2, fill, fill");
numTotalEnergyDemand = new JNumericTextField();
numTotalEnergyDemand.setFocusable(false);
numTotalEnergyDemand.setEditable(false);
numTotalEnergyDemand.setFont(new Font("Times New Roman", Font.PLAIN, 11));
numTotalEnergyDemand.setBackground(Color.WHITE);
numTotalEnergyDemand.setAllowNegative(false);
numTotalEnergyDemand.setPrecision(2);
numTotalEnergyDemand.setFormat(3);
numTotalEnergyDemand.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInputLast.add(numTotalEnergyDemand, "4, 2, fill, fill");
lblLigniteEnergy = new JLabel("Lignite Energy");
lblLigniteEnergy.setOpaque(true);
lblLigniteEnergy.setForeground(Color.WHITE);
lblLigniteEnergy.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblLigniteEnergy.setBackground(Color.GRAY);
pInputLast.add(lblLigniteEnergy, "2, 4, fill, fill");
numLigniteEnergy = new JNumericTextField();
numLigniteEnergy.setAllowNegative(false);
numLigniteEnergy.setPrecision(2);
numLigniteEnergy.setFormat(3);
numLigniteEnergy.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInputLast.add(numLigniteEnergy, "4, 4, fill, default");
numLigniteEnergy.getDocument().addDocumentListener(new DocumentListener() {
    public void changedUpdate(DocumentEvent e) {
        updateTotalEnergy();
    }
    public void removeUpdate(DocumentEvent e) {
        updateTotalEnergy();
    }
    public void insertUpdate(DocumentEvent e) {
        updateTotalEnergy();
    }
});
lblPhotovoltaicsEnergy = new JLabel("Photovoltaics Energy");
lblPhotovoltaicsEnergy.setOpaque(true);
lblPhotovoltaicsEnergy.setForeground(Color.WHITE);
lblPhotovoltaicsEnergy.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblPhotovoltaicsEnergy.setBackground(Color.GRAY);
pInputLast.add(lblPhotovoltaicsEnergy, "2, 6, fill, fill");
numPhotovoltaicsEnergy = new JNumericTextField();
numPhotovoltaicsEnergy.setAllowNegative(false);
numPhotovoltaicsEnergy.setPrecision(2);
numPhotovoltaicsEnergy.setFormat(3);
numPhotovoltaicsEnergy.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInputLast.add(numPhotovoltaicsEnergy, "4, 6, fill, fill");
numPhotovoltaicsEnergy.getDocument().addDocumentListener(new DocumentListener() {
    public void changedUpdate(DocumentEvent e) {
        updateTotalEnergy();
    }
    public void removeUpdate(DocumentEvent e) {
        updateTotalEnergy();
    }
    public void insertUpdate(DocumentEvent e) {
        updateTotalEnergy();
    }
});
lblWindFarmsEnergy = new JLabel("Wind Farms Energy");
lblWindFarmsEnergy.setOpaque(true);
lblWindFarmsEnergy.setForeground(Color.WHITE);
lblWindFarmsEnergy.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));

```

```

lblWindFarmsEnergy.setBackground(Color.GRAY);
pInputLast.add(lblWindFarmsEnergy, "2, 8, fill, fill");
numWindFarmsEnergy = new JNumericTextField();
numWindFarmsEnergy.setAllowNegative(false);
numWindFarmsEnergy.setPrecision(2);
numWindFarmsEnergy.setFormat(3);
numWindFarmsEnergy.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInputLast.add(numWindFarmsEnergy, "4, 8, fill, fill");
numWindFarmsEnergy.getDocument().addDocumentListener(new DocumentListener() {
public void changedUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
}
public void removeUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
public void insertUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
});
lblBiomassEnergy = new JLabel("Biomass Energy");
lblBiomassEnergy.setOpaque(true);
lblBiomassEnergy.setForeground(Color.WHITE);
lblBiomassEnergy.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblBiomassEnergy.setBackground(Color.GRAY);
pInputLast.add(lblBiomassEnergy, "2, 10, fill, fill");
numBiomassEnergy = new JNumericTextField();
numBiomassEnergy.setAllowNegative(false);
numBiomassEnergy.setPrecision(2);
numBiomassEnergy.setFormat(3);
numBiomassEnergy.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInputLast.add(numBiomassEnergy, "4, 10, fill, fill");
numBiomassEnergy.getDocument().addDocumentListener(new DocumentListener() {
public void changedUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
}
public void removeUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
public void insertUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
});
btnProcess = new JButton("Process");
btnProcess.addActionListener(new ActionListener() {
public void actionPerformed(ActionEvent arg0) {
processInput();
}
});
pInput.add(btnProcess, "4, 4, default, fill");
btnClear = new JButton("Clear");
btnClear.addActionListener(new ActionListener() {
public void actionPerformed(ActionEvent arg0) {
clearInput();
}
});
pInput.add(btnClear, "6, 4, default, fill");
chkSaveDataToLogFile = new JCheckBox("Save Data To Log File");
chkSaveDataToLogFile.setSelected(true);
chkSaveDataToLogFile.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInput.add(chkSaveDataToLogFile, "8, 4, center, fill");
pOutput = new JPanel();
pOutput.setBorder(new TitledBorder(UIManager.getBorder("TitledBorder.border"), "Output Data - View Graph and Numeric Results based on Input Data supplied
above", TitledBorder.LEADING, TitledBorder.TOP, null, null));
contentPane.add(pOutput, "2, 4, fill, fill");
pOutput.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
ColumnSpec.decode("1dlu"),
ColumnSpec.decode("350dlu"),
ColumnSpec.decode("1dlu"),
ColumnSpec.decode("152dlu"),
ColumnSpec.decode("1dlu"),},
new RowSpec[] {
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:152dlu"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),}));
pChart = new JPanel();
pChart.setBorder(new LineBorder(new Color(0, 0, 0)));
pOutput.add(pChart, "2, 2, fill, fill");
pChart.setLayout(new BorderLayout(0, 0));
pNumericResults = new JPanel();
pOutput.add(pNumericResults, "4, 2, fill, fill");
pNumericResults.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
ColumnSpec.decode("5dlu"),
ColumnSpec.decode("83dlu"),
ColumnSpec.decode("2dlu"),
ColumnSpec.decode("60dlu"),},
new RowSpec[] {
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
}));

```

```

RowSpec.decode("fill:15dlu"),
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
FormFactory.DEFAULT_ROWSPEC,
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
FormFactory.DEFAULT_ROWSPEC,
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
FormFactory.DEFAULT_ROWSPEC,
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
FormFactory.DEFAULT_ROWSPEC,
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
FormFactory.DEFAULT_ROWSPEC,));
lblLigniteGain = new JLabel("Lignite Gain");
lblLigniteGain.setOpaque(true);
lblLigniteGain.setForeground(Color.WHITE);
lblLigniteGain.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblLigniteGain.setBackground(Color.GRAY);
pNumericResults.add(lblLigniteGain, "2, 2, fill, fill");
numLigniteGain = new JNumericTextField();
numLigniteGain.setFocusable(false);
numLigniteGain.setEditable(false);
numLigniteGain.setBackground(Color.WHITE);
numLigniteGain.setPrecision(2);
numLigniteGain.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numLigniteGain.setFormat(3);
pNumericResults.add(numLigniteGain, "4, 2, fill, fill");
lblPhotovoltaicsGain = new JLabel("Photovoltaics Gain");
lblPhotovoltaicsGain.setOpaque(true);
lblPhotovoltaicsGain.setForeground(Color.WHITE);
lblPhotovoltaicsGain.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblPhotovoltaicsGain.setBackground(Color.GRAY);
pNumericResults.add(lblPhotovoltaicsGain, "2, 4, fill, fill");
numPhotovoltaicsGain = new JNumericTextField();
numPhotovoltaicsGain.setFocusable(false);
numPhotovoltaicsGain.setEditable(false);
numPhotovoltaicsGain.setBackground(Color.WHITE);
numPhotovoltaicsGain.setPrecision(2);
numPhotovoltaicsGain.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPhotovoltaicsGain.setFormat(3);
pNumericResults.add(numPhotovoltaicsGain, "4, 4, fill, fill");
lblWindFarmsGain = new JLabel("Wind Farms Gain");
lblWindFarmsGain.setOpaque(true);
lblWindFarmsGain.setForeground(Color.WHITE);
lblWindFarmsGain.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblWindFarmsGain.setBackground(Color.GRAY);
pNumericResults.add(lblWindFarmsGain, "2, 6, fill, fill");
numWindFarmsGain = new JNumericTextField();
numWindFarmsGain.setFocusable(false);
numWindFarmsGain.setEditable(false);
numWindFarmsGain.setBackground(Color.WHITE);
numWindFarmsGain.setPrecision(2);
numWindFarmsGain.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numWindFarmsGain.setFormat(3);
pNumericResults.add(numWindFarmsGain, "4, 6, fill, fill");
lblBiomassProfit = new JLabel("Biomass Gain");
lblBiomassProfit.setOpaque(true);
lblBiomassProfit.setForeground(Color.WHITE);
lblBiomassProfit.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblBiomassProfit.setBackground(Color.GRAY);
pNumericResults.add(lblBiomassProfit, "2, 8, fill, fill");
numBiomassGain = new JNumericTextField();
numBiomassGain.setFocusable(false);
numBiomassGain.setEditable(false);
numBiomassGain.setBackground(Color.WHITE);
numBiomassGain.setPrecision(2);
numBiomassGain.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numBiomassGain.setFormat(3);
pNumericResults.add(numBiomassGain, "4, 8, fill, fill");
lblGridAdministratorGain = new JLabel("Grid Administrator Gain");
lblGridAdministratorGain.setOpaque(true);
lblGridAdministratorGain.setForeground(Color.WHITE);
lblGridAdministratorGain.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblGridAdministratorGain.setBackground(Color.GRAY);
pNumericResults.add(lblGridAdministratorGain, "2, 10, fill, fill");
numGridAdministratorGain = new JNumericTextField();
numGridAdministratorGain.setFocusable(false);
numGridAdministratorGain.setEditable(false);
numGridAdministratorGain.setBackground(Color.WHITE);
numGridAdministratorGain.setPrecision(2);
numGridAdministratorGain.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numGridAdministratorGain.setFormat(3);
pNumericResults.add(numGridAdministratorGain, "4, 10, fill, fill");
pack();
}
private static void setupLookAndFeel () {
try {
UIManager.setLookAndFeel(UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
} catch (ClassNotFoundException | InstantiationException | IllegalAccessException | UnsupportedLookAndFeelException ex) {
ex.printStackTrace();
}
}
private boolean validateInput() {
if(numGridProfitFromCo.getText().trim().equals("")) {
showError("Grid Profit From CO2 field is empty!");
numGridProfitFromCo.requestFocus();
return false;
}
if(numPurchasePrice.getText().trim().equals("")) {

```

```

showError("Purchase Price field is empty!");
numPurchasePrice.requestFocus();
return false;
}
if(numPenaltyCo.getText().trim().equals("")) {
showError("CO2 Penalty field is empty!");
numPenaltyCo.requestFocus();
return false;
}
if(numReliabilityBonus.getText().trim().equals("")) {
showError("Reliability Bonus field is empty!");
numReliabilityBonus.requestFocus();
return false;
}
if(numProductivityBonus.getText().trim().equals("")) {
showError("Productivity Bonus field is empty!");
numProductivityBonus.requestFocus();
return false;
}
if(numLigniteEnergyProductionCost.getText().trim().equals("")) {
showError("Lignite Energy Production Cost field is empty!");
numLigniteEnergyProductionCost.requestFocus();
return false;
}
if(numLigniteEnvironmentalFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Lignite Environemntal Footprint field is empty!");
numLigniteEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numLigniteEnvironmentalFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Lignite Environemntal Footprint field value bigger than 1 is not allowed!");
numLigniteEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numLigniteEnergyReliability.getText().trim().equals("")) {
showError("Lignite Energy Reliability field is empty!");
numLigniteEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
else if(numLigniteEnergyReliability.getDouble() > 1.0) {
showError("Lignite Energy Reliability field value bigger than 1 is not allowed!");
numLigniteEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
if(numLigniteSocialFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Lignite Social Footprint field is empty!");
numLigniteSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numLigniteSocialFootprint.getDouble() == 0 || numLigniteSocialFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Lignite Social Footprint field value should be bigger than 0 and smaller or equal to 1!");
numLigniteSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.getText().trim().equals("")) {
showError("Photovoltaics Energy Production Cost field is empty!");
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.requestFocus();
return false;
}
if(numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Photovoltaics Environemntal Footprint field is empty!");
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Photovoltaics Environemntal Footprint field value bigger than 1 is not allowed!");
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numPhotovoltaicsEnergyReliability.getText().trim().equals("")) {
showError("Photovoltaics Energy Reliability field is empty!");
numPhotovoltaicsEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
else if(numPhotovoltaicsEnergyReliability.getDouble() > 1.0) {
showError("Photovoltaics Energy Reliability field value bigger than 1 is not allowed!");
numPhotovoltaicsEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
if(numPhotovoltaicsSocialFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Photovoltaics Social Footprint field is empty!");
numPhotovoltaicsSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numPhotovoltaicsSocialFootprint.getDouble() == 0 || numPhotovoltaicsSocialFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Photovoltaics Social Footprint field value should be bigger than 0 and smaller or equal to 1!");
numPhotovoltaicsSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numWindFarmsEnergyProductionCost.getText().trim().equals("")) {
showError("Wind Farms Energy Production Cost field is empty!");
numWindFarmsEnergyProductionCost.requestFocus();
return false;
}
if(numWindFarmsEnvironmentalFootprint.getText().trim().equals("")) {

```

```

showError("Wind Farms Environemntal Footprint field is empty!");
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numWindFarmsEnvironmentalFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Wind Farms Environemntal Footprint field value bigger than 1 is not allowed!");
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numWindFarmsEnergyReliability.getText().trim().equals("")) {
showError("Wind Farms Energy Reliability field is empty!");
numWindFarmsEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
else if(numWindFarmsEnergyReliability.getDouble() > 1.0) {
showError("Wind Farms Energy Reliability field value bigger than 1 is not allowed!");
numWindFarmsEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
if(numWindFarmsSocialFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Wind Farms Social Footprint field is empty!");
numWindFarmsSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numWindFarmsSocialFootprint.getDouble() == 0 || numWindFarmsSocialFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Wind Farms Social Footprint field wind should be bigger than 0 and smaller or equal to 1!");
numWindFarmsSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numBiomassEnergyProductionCost.getText().trim().equals("")) {
showError("Biomass Energy Production Cost field is empty!");
numBiomassEnergyProductionCost.requestFocus();
return false;
}
if(numBiomassEnvironmentalFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Biomass Environemntal Footprint field is empty!");
numBiomassEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numBiomassEnvironmentalFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Biomass Environemntal Footprint field value bigger than 1 is not allowed!");
numBiomassEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numBiomassEnergyReliability.getText().trim().equals("")) {
showError("Biomass Energy Reliability field is empty!");
numBiomassEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
else if(numBiomassEnergyReliability.getDouble() > 1.0) {
showError("Biomass Energy Reliability field value bigger than 1 is not allowed!");
numBiomassEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
if(numBiomassSocialFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Biomass Social Footprint field is empty!");
numBiomassSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numBiomassSocialFootprint.getDouble() == 0 || numBiomassSocialFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Biomass Social Footprint field value should be bigger than 0 and smaller or equal to 1!");
numBiomassSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numTotalEnergyDemand.getText().trim().equals("")) {
showError("Total Energy Demand field is empty!");
numTotalEnergyDemand.requestFocus();
return false;
}
if(numLigniteEnergy.getText().trim().equals("")) {
showError("Lignite Energy field is empty!");
numLigniteEnergy.requestFocus();
return false;
}
if(numPhotovoltaicsEnergy.getText().trim().equals("")) {
showError("Photovoltaics Energy field is empty!");
numPhotovoltaicsEnergy.requestFocus();
return false;
}
if(numWindFarmsEnergy.getText().trim().equals("")) {
showError("Wind Farms Energy field is empty!");
numWindFarmsEnergy.requestFocus();
return false;
}
if(numBiomassEnergy.getText().trim().equals("")) {
showError("Biomass Energy field is empty!");
numBiomassEnergy.requestFocus();
return false;
}
return true;
}
private void processInput() {
try {
if(!validateInput())
return;
}
}

```

```

OptimizationHandler optimizationHandler = new OptimizationHandler();
optimizationHandler.setGridProfitFromCo(numGridProfitFromCo.getDouble());
optimizationHandler.setPurchasePrice(numPurchasePrice.getDouble());
optimizationHandler.setPenaltyCo(numPenaltyCo.getDouble());
optimizationHandler.setReliabilityBonus(numReliabilityBonus.getDouble());
optimizationHandler.setProductivityBonus(numProductivityBonus.getDouble());
optimizationHandler.setLigniteEnergyProductionCost(numLigniteEnergyProductionCost.getDouble());
optimizationHandler.setLigniteEnvironmentalFootprint(numLigniteEnvironmentalFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setLigniteEnergyReliability(numLigniteEnergyReliability.getDouble());
optimizationHandler.setLigniteSocialFootprint(numLigniteSocialFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setPhotovoltaicsEnergyProductionCost(numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.getDouble());
optimizationHandler.setPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint(numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setPhotovoltaicsEnergyReliability(numPhotovoltaicsEnergyReliability.getDouble());
optimizationHandler.setPhotovoltaicsSocialFootprint(numPhotovoltaicsSocialFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setWindFarmsEnergyProductionCost(numWindFarmsEnergyProductionCost.getDouble());
optimizationHandler.setWindFarmsEnvironmentalFootprint(numWindFarmsEnvironmentalFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setWindFarmsEnergyReliability(numWindFarmsEnergyReliability.getDouble());
optimizationHandler.setWindFarmsSocialFootprint(numWindFarmsSocialFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setBiomassEnergyProductionCost(numBiomassEnergyProductionCost.getDouble());
optimizationHandler.setBiomassEnvironmentalFootprint(numBiomassEnvironmentalFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setBiomassEnergyReliability(numBiomassEnergyReliability.getDouble());
optimizationHandler.setBiomassSocialFootprint(numBiomassSocialFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setLigniteEnergy(numLigniteEnergy.getDouble());
optimizationHandler.setPhotovoltaicsEnergy(numPhotovoltaicsEnergy.getDouble());
optimizationHandler.setWindFarmsEnergy(numWindFarmsEnergy.getDouble());
optimizationHandler.setBiomassEnergy(numBiomassEnergy.getDouble());
double ligniteGain = optimizationHandler.getLigniteGain();
double photovoltaicsGain = optimizationHandler.getPhotovoltaicsGain();
double windFarmsGain = optimizationHandler.getWindFarmsGain();
double biomassGain = optimizationHandler.getBiomassGain();
double gridAdministratorGain = optimizationHandler.getGridAdministratorGain();
displayResults(ligniteGain, photovoltaicsGain, windFarmsGain, biomassGain, gridAdministratorGain);
if(chkSaveDataToLogFile.isSelected()) {
final String directory = System.getProperty("user.dir") + File.separator + "logs";
final Calendar calendar = Calendar.getInstance();
final Random randomGenerator = new Random();
final String filename = "NK_OPT_" + randomGenerator.nextInt(10000) + "_" + calendar.getTimeInMillis() + ".log";
optimizationHandler.saveDatatoLog(directory, filename);
}
}
catch (OptimizationException ex) {
showError(ex.getMessage());
ex.printStackTrace();
}
catch (IOException ex) {
showError("File operation error!");
ex.printStackTrace();
}
catch (Exception ex){
showError("Unexpected error while trying to process Input Data!");
ex.printStackTrace();
}
}
private void displayResults(double ligniteGain, double photovoltaicsGain, double windFarmsGain,
double biomassGain, double gridAdministratorGain) {
numLigniteGain.setDouble(ligniteGain);
numPhotovoltaicsGain.setDouble(photovoltaicsGain);
numWindFarmsGain.setDouble(windFarmsGain);
numBiomassGain.setDouble(biomassGain);
numGridAdministratorGain.setDouble(gridAdministratorGain);
DefaultCategoryDataset gainsDataset = new DefaultCategoryDataset();
gainsDataset.setValue(ligniteGain, "Gain", "Lignite");
gainsDataset.setValue(photovoltaicsGain, "Gain", "PV");
gainsDataset.setValue(windFarmsGain, "Gain", "Wind");
gainsDataset.setValue(biomassGain, "Gain", "Biomass");
gainsDataset.setValue(gridAdministratorGain, "Gain", "Admin");
final JFreeChart gainsChart = ChartFactory.createBarChart("Optimization Results", "", "Gain", gainsDataset,
PlotOrientation.VERTICAL,false, true, false);
gainsChart.setBackgroundPaint(Color.WHITE);
final OptimizationRenderer optimizationRenderer = new OptimizationRenderer(
new Paint[] {Color.RED, Color.ORANGE, Color.BLUE,
Color.GREEN, Color.MAGENTA});
final CategoryPlot categoryPlot = gainsChart.getCategoryPlot();
categoryPlot.setRangeGridlinePaint(Color.BLACK);
categoryPlot.setBackgroundPaint(Color.WHITE);
categoryPlot.setRenderer(optimizationRenderer);
final ChartPanel gainsPanel = new ChartPanel(gainsChart);
pChart.removeAll();
pChart.add(gainsPanel);
pChart.validate();
pChart.repaint();
}
private void clearInput() {
try {
for (Component c : pInputInitial.getComponents()) {
if (c instanceof JNumericTextField) {
((JNumericTextField)c).setText("");
}
}
for (Component c : pInputGrid.getComponents()) {
if (c instanceof JNumericTextField) {
((JNumericTextField)c).setText("");
}
}
}
for (Component c : pInputLast.getComponents()) {

```



```

if (c instanceof JNumericTextField) {
((JNumericTextField)c.setText("");
}
}
pChart.removeAll();
pChart.validate();
pChart.repaint();
for (Component c : pNumericResults.getComponents()) {
if (c instanceof JNumericTextField) {
((JNumericTextField)c.setText("");
}
}
}
catch(Exception ex) {
showError("Unexpected error while trying to clear Data!");
ex.printStackTrace();
}
}
private void updateTotalEnergy() {
try {
double ligniteEnergy = (numLigniteEnergy.getText().trim().equals("")) ? 0.0 : numLigniteEnergy.getDouble();
double photovoltaicsEnergy = (numPhotovoltaicsEnergy.getText().trim().equals("")) ? 0.0 : numPhotovoltaicsEnergy.getDouble();
double windEnergy = (numWindFarmsEnergy.getText().trim().equals("")) ? 0.0 : numWindFarmsEnergy.getDouble();
double biomassEnergy = (numBiomassEnergy.getText().trim().equals("")) ? 0.0 : numBiomassEnergy.getDouble();
double total = ligniteEnergy + photovoltaicsEnergy + windEnergy + biomassEnergy;
if(total > 0)
numTotalEnergyDemand.setDouble(OptimizationHandler.roundTwoDecimals(total));
else
numTotalEnergyDemand.setText("");
}
catch(Exception ex) {
showError("Unexpected error while trying to update Total Required Energy!");
ex.printStackTrace();
}
}
private void showError(String message) {
JOptionPane.showMessageDialog(this, message, "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
}
}
}

```

#### ➤ Optimization Handler.Java

```

package nk.opt.lib;
import java.io.BufferedWriter;
import java.io.File;
import java.io.FileWriter;
import java.io.IOException;
import java.text.SimpleDateFormat;
import java.util.Calendar;
public class OptimizationHandler {
private double gridProfitFromCo;
private double purchasePrice;
private double penaltyCo;
private double reliabilityBonus;
private double productivityBonus;
private double ligniteEnergyProductionCost;
private double ligniteEnvironmentalFootprint;
private double ligniteEnergyReliability;
private double ligniteSocialFootprint;
private double photovoltaicsEnergyProductionCost;
private double photovoltaicsEnvironmentalFootprint;
private double photovoltaicsEnergyReliability;
private double photovoltaicsSocialFootprint;
private double windFarmsEnergyProductionCost;
private double windFarmsEnvironmentalFootprint;
private double windFarmsEnergyReliability;
private double windFarmsSocialFootprint;
private double biomassEnergyProductionCost;
private double biomassEnvironmentalFootprint;
private double biomassEnergyReliability;
private double biomassSocialFootprint;
private double ligniteEnergy;
private double photovoltaicsEnergy;
private double windFarmsEnergy;
private double biomassEnergy;
public double getGridProfitFromCo() {
return gridProfitFromCo;
}
public void setGridProfitFromCo(double gridProfitFromCo) throws OptimizationException {
if(gridProfitFromCo < 0)
throw new OptimizationException("Grid Profit from CO2 invalid value!");
this.gridProfitFromCo = gridProfitFromCo;
}
public double getPurchasePrice() {
return purchasePrice;
}
public void setPurchasePrice(double purchasePrice) throws OptimizationException {
if(purchasePrice < 0)
throw new OptimizationException("Purchase Price invalid value!");
this.purchasePrice = purchasePrice;
}
public double getPenaltyCo() {
return penaltyCo;
}
public void setPenaltyCo(double penaltyCo) throws OptimizationException {
if(penaltyCo < 0)
throw new OptimizationException("Penalty CO2 invalid value!");
}
}
}

```

```

this.penaltyCo = penaltyCo;
}
public double getReliabilityBonus() {
return reliabilityBonus;
}
public void setReliabilityBonus(double reliabilityBonus) throws OptimizationException {
if(reliabilityBonus < 0)
throw new OptimizationException("Reliability Bonus invalid value!");
this.reliabilityBonus = reliabilityBonus;
}
public double getProductivityBonus() {
return productivityBonus;
}
public void setProductivityBonus(double productivityBonus) throws OptimizationException {
if(productivityBonus < 0)
throw new OptimizationException("Productivity Bonus invalid value!");
this.productivityBonus = productivityBonus;
}
public double getLigniteEnergyProductionCost() {
return ligniteEnergyProductionCost;
}
public void setLigniteEnergyProductionCost(double ligniteEnergyProductionCost) throws OptimizationException {
if(ligniteEnergyProductionCost < 0)
throw new OptimizationException("Lignite Energy Production Cost invalid value!");
this.ligniteEnergyProductionCost = ligniteEnergyProductionCost;
}
public double getLigniteEnvironmentalFootprint() {
return ligniteEnvironmentalFootprint;
}
public void setLigniteEnvironmentalFootprint(double ligniteEnvironmentalFootprint) throws OptimizationException {
if(ligniteEnvironmentalFootprint < 0 || ligniteEnvironmentalFootprint > 1)
throw new OptimizationException("Lignite Environmental Footprint invalid value!");
this.ligniteEnvironmentalFootprint = ligniteEnvironmentalFootprint;
}
public double getLigniteEnergyReliability() {
return ligniteEnergyReliability;
}
public void setLigniteEnergyReliability(double ligniteEnergyReliability) throws OptimizationException{
if(ligniteEnergyReliability < 0 || ligniteEnergyReliability > 1)
throw new OptimizationException("Lignite Energy Reliability invalid value!");
this.ligniteEnergyReliability = ligniteEnergyReliability;
}
public double getLigniteSocialFootprint() {
return ligniteSocialFootprint;
}
public void setLigniteSocialFootprint(double ligniteSocialFootprint) throws OptimizationException {
if(ligniteSocialFootprint < 0 || ligniteSocialFootprint > 1)
throw new OptimizationException("Lignite Social Footprint invalid value!");
this.ligniteSocialFootprint = ligniteSocialFootprint;
}
public double getPhotovoltaicsEnergyProductionCost() {
return photovoltaicsEnergyProductionCost;
}
public void setPhotovoltaicsEnergyProductionCost(double photovoltaicsEnergyProductionCost) throws OptimizationException {
if(photovoltaicsEnergyProductionCost < 0)
throw new OptimizationException("Photovoltaics Energy Production Cost invalid value!");
this.photovoltaicsEnergyProductionCost = photovoltaicsEnergyProductionCost;
}
public double getPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint() {
return photovoltaicsEnvironmentalFootprint;
}
public void setPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint(double photovoltaicsEnvironmentalFootprint) throws OptimizationException {
if(photovoltaicsEnvironmentalFootprint < 0 || photovoltaicsEnvironmentalFootprint > 1)
throw new OptimizationException("Photovoltaics Environmental Footprint invalid value!");
this.photovoltaicsEnvironmentalFootprint = photovoltaicsEnvironmentalFootprint;
}
public double getPhotovoltaicsEnergyReliability() {
return photovoltaicsEnergyReliability;
}
public void setPhotovoltaicsEnergyReliability(double photovoltaicsEnergyReliability) throws OptimizationException{
if(photovoltaicsEnergyReliability < 0 || photovoltaicsEnergyReliability > 1)
throw new OptimizationException("Photovoltaics Energy Reliability invalid value!");
this.photovoltaicsEnergyReliability = photovoltaicsEnergyReliability;
}
public double getPhotovoltaicsSocialFootprint() {
return photovoltaicsSocialFootprint;
}
public void setPhotovoltaicsSocialFootprint(double photovoltaicsSocialFootprint) throws OptimizationException {
if(photovoltaicsSocialFootprint < 0 || photovoltaicsSocialFootprint > 1)
throw new OptimizationException("Photovoltaics Social Footprint invalid value!");
this.photovoltaicsSocialFootprint = photovoltaicsSocialFootprint;
}
public double getWindFarmsEnergyProductionCost() {
return windFarmsEnergyProductionCost;
}
public void setWindFarmsEnergyProductionCost(double windFarmsEnergyProductionCost) throws OptimizationException {
if(windFarmsEnergyProductionCost < 0)
throw new OptimizationException("Wind Farms Energy Production Cost invalid value!");
this.windFarmsEnergyProductionCost = windFarmsEnergyProductionCost;
}
public double getWindFarmsEnvironmentalFootprint() {
return windFarmsEnvironmentalFootprint;
}
public void setWindFarmsEnvironmentalFootprint(double windFarmsEnvironmentalFootprint) throws OptimizationException {
if(windFarmsEnvironmentalFootprint < 0 || windFarmsEnvironmentalFootprint > 1)

```

```

throw new OptimizationException("Wind Farms Environmental Footprint invalid value!");
this.windFarmsEnvironmentalFootprint = windFarmsEnvironmentalFootprint;
}
public double getWindFarmsEnergyReliability() {
return windFarmsEnergyReliability;
}
public void setWindFarmsEnergyReliability(double windFarmsEnergyReliability) throws OptimizationException{
if(windFarmsEnergyReliability < 0 || windFarmsEnergyReliability > 1)
throw new OptimizationException("Wind Farms Energy Reliability invalid value!");
this.windFarmsEnergyReliability = windFarmsEnergyReliability;
}
public double getWindFarmsSocialFootprint() {
return windFarmsSocialFootprint;
}
public void setWindFarmsSocialFootprint(double windFarmsSocialFootprint) throws OptimizationException
if(windFarmsSocialFootprint < 0 || windFarmsSocialFootprint > 1)
throw new OptimizationException("Wind Farms Social Footprint invalid value!");
this.windFarmsSocialFootprint = windFarmsSocialFootprint;
}
public double getBiomassEnergyProductionCost() {
return biomassEnergyProductionCost;
}
public void setBiomassEnergyProductionCost(double biomassEnergyProductionCost) throws OptimizationException
if(biomassEnergyProductionCost < 0)
throw new OptimizationException("Biomass Energy Production Cost invalid value!");
this.biomassEnergyProductionCost = biomassEnergyProductionCost;
}
public double getBiomassEnvironmentalFootprint() {
return biomassEnvironmentalFootprint;
}
public void setBiomassEnvironmentalFootprint(double biomassEnvironmentalFootprint) throws OptimizationException {
if(biomassEnvironmentalFootprint < 0 || biomassEnvironmentalFootprint > 1)
throw new OptimizationException("Biomass Environmental Footprint invalid value!");
this.biomassEnvironmentalFootprint = biomassEnvironmentalFootprint;
}
public double getBiomassEnergyReliability() {
return biomassEnergyReliability;
}
public void setBiomassEnergyReliability(double biomassEnergyReliability) throws OptimizationException{
if(biomassEnergyReliability < 0 || biomassEnergyReliability > 1)
throw new OptimizationException("Biomass Energy Reliability invalid value!");
this.biomassEnergyReliability = biomassEnergyReliability;
}
public double getBiomassSocialFootprint() {
return biomassSocialFootprint;
}
public void setBiomassSocialFootprint(double biomassSocialFootprint) throws OptimizationException {
if(biomassSocialFootprint < 0 || biomassSocialFootprint > 1)
throw new OptimizationException("Biomass Social Footprint invalid value!");
this.biomassSocialFootprint = biomassSocialFootprint;
}
public double getLigniteEnergy() {
return ligniteEnergy;
}
public void setLigniteEnergy(double ligniteEnergy) throws OptimizationException {
if(ligniteEnergy < 0)
throw new OptimizationException("Lignite Energy invalid value!");
this.ligniteEnergy = ligniteEnergy;
}
public double getPhotovoltaicsEnergy() {
return photovoltaicsEnergy;
}
public void setPhotovoltaicsEnergy(double photovoltaicsEnergy) throws OptimizationException {
if(photovoltaicsEnergy < 0)
throw new OptimizationException("Photovoltaics Energy invalid value!");
this.photovoltaicsEnergy = photovoltaicsEnergy;
}
public double getWindFarmsEnergy() {
return windFarmsEnergy;
}
public void setWindFarmsEnergy(double windFarmsEnergy) throws OptimizationException
if(windFarmsEnergy < 0)
throw new OptimizationException("Wind Farms Energy invalid value!");
this.windFarmsEnergy = windFarmsEnergy;
}
public double getBiomassEnergy() {
return biomassEnergy;
}
public void setBiomassEnergy(double biomassEnergy) throws OptimizationException {
if(biomassEnergy < 0)
throw new OptimizationException("Biomass Energy invalid value!");
this.biomassEnergy = biomassEnergy;
}
public OptimizationHandler() {
super();
}
public double getLigniteGain() throws OptimizationException
checkZeroSocialFootprint();
return roundTwoDecimals(ligniteEnergy * purchasePrice -
ligniteEnergy * (ligniteEnergyProductionCost + penaltyCo * ligniteEnvironmentalFootprint -
reliabilityBonus * ligniteEnergyReliability -
productivityBonus * (ligniteEnergyProductionCost / ligniteSocialFootprint)));
}
public double getPhotovoltaicsGain() throws OptimizationException {
checkZeroSocialFootprint();
}

```

```

return roundTwoDecimals(photovoltaicsEnergy * purchasePrice -
photovoltaicsEnergy * (photovoltaicsEnergyProductionCost + penaltyCo * photovoltaicsEnvironmentalFootprint -
reliabilityBonus * photovoltaicsEnergyReliability -
productivityBonus * (photovoltaicsEnergyProductionCost / photovoltaicsSocialFootprint)));
}
public double getWindFarmsGain() throws OptimizationException {
checkZeroSocialFootprint();
return roundTwoDecimals(windFarmsEnergy * purchasePrice -
windFarmsEnergy * (windFarmsEnergyProductionCost + penaltyCo * windFarmsEnvironmentalFootprint -
reliabilityBonus * windFarmsEnergyReliability -
productivityBonus * (windFarmsEnergyProductionCost / windFarmsSocialFootprint)));
}
public double getBiomassGain() throws OptimizationException {
checkZeroSocialFootprint();
return roundTwoDecimals(biomassEnergy * purchasePrice -
biomassEnergy * (biomassEnergyProductionCost + penaltyCo * biomassEnvironmentalFootprint -
reliabilityBonus * biomassEnergyReliability -
productivityBonus * (biomassEnergyProductionCost / biomassSocialFootprint)));
}
public double getGridAdministratorGain() throws OptimizationException {
checkZeroSocialFootprint();
return roundTwoDecimals(penaltyCo * (ligniteEnergy * ligniteEnvironmentalFootprint +
photovoltaicsEnergy * photovoltaicsEnvironmentalFootprint +
windFarmsEnergy * windFarmsEnvironmentalFootprint +
biomassEnergy * biomassEnvironmentalFootprint) +
gridProfitFromCo * (ligniteEnergy * ligniteEnvironmentalFootprint +
photovoltaicsEnergy * photovoltaicsEnvironmentalFootprint +
windFarmsEnergy * windFarmsEnvironmentalFootprint +
biomassEnergy * biomassEnvironmentalFootprint) -
reliabilityBonus * (ligniteEnergy * ligniteEnergyReliability +
photovoltaicsEnergy * photovoltaicsEnergyReliability +
windFarmsEnergy * windFarmsEnergyReliability +
biomassEnergy * biomassEnergyReliability) -
productivityBonus * (ligniteEnergy * (ligniteEnergyProductionCost / ligniteSocialFootprint) +
photovoltaicsEnergy * (photovoltaicsEnergyProductionCost / photovoltaicsSocialFootprint) +
windFarmsEnergy * (windFarmsEnergyProductionCost / windFarmsSocialFootprint) +
biomassEnergy * (biomassEnergyProductionCost / biomassSocialFootprint)) -
purchasePrice * (ligniteEnergy + photovoltaicsEnergy + windFarmsEnergy + biomassEnergy));
}
public void saveDatatoLog(String directory, String filename) throws OptimizationException, IOException {
if(directory == null || directory.equals(""))
throw new OptimizationException("Directory null or empty!");
if(filename == null || filename.equals(""))
throw new OptimizationException("File null or empty!");
final File savedir = new File(directory);
if(!savedir.exists()) {
if(!savedir.mkdir())
throw new OptimizationException("Cannot create Log Directory - " + directory + " !");
}
else if(!savedir.isDirectory())
throw new OptimizationException("Invalid Log Directory - " + directory + " !");
final String fileToSave = directory + File.separator + filename;
final File saveFile = new File(fileToSave);
if(saveFile.exists())
throw new OptimizationException("Log File exists - " + fileToSave + " !");
StringBuffer stringBuffer = new StringBuffer();
final String newLine = System.getProperty("line.separator");
stringBuffer.append("Energy Market Management Optimization Log File");
stringBuffer.append(newLine);
final Calendar calendar = Calendar.getInstance();
final SimpleDateFormat simpleDateFormat = new SimpleDateFormat("dd/MM/yyyy HH:mm:ss");
stringBuffer.append("Process Date: " + simpleDateFormat.format(calendar.getTime()));
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("INPUT DATA");
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Grid Profit From CO2: " + gridProfitFromCo);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Purchase Price: " + purchasePrice);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Penalty CO2: " + penaltyCo);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Reliability Bonus: " + reliabilityBonus);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Productivity Bonus: " + productivityBonus);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Lignite Energy Production Cost: " + ligniteEnergyProductionCost);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Lignite Environmental Footprint: " + ligniteEnvironmentalFootprint);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Lignite Energy Reliability: " + ligniteEnergyReliability);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Lignite Social Footprint: " + ligniteSocialFootprint);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Photovoltaics Energy Production Cost: " + photovoltaicsEnergyProductionCost);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Photovoltaics Environmental Footprint: " + photovoltaicsEnvironmentalFootprint);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Photovoltaics Energy Reliability: " + photovoltaicsEnergyReliability);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Photovoltaics Social Footprint: " + photovoltaicsSocialFootprint);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Wind Farms Energy Production Cost: " + windFarmsEnergyProductionCost);
stringBuffer.append(newLine);

```

```

stringBuffer.append("Wind Farms Environmental Footprint: " + windFarmsEnvironmentalFootprint);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Wind Farms Energy Reliability: " + windFarmsEnergyReliability);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Wind Farms Social Footprint: " + windFarmsSocialFootprint);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Biomass Energy Production Cost: " + biomassEnergyProductionCost);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Biomass Environmental Footprint: " + biomassEnvironmentalFootprint);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Biomass Energy Reliability: " + biomassEnergyReliability);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Biomass Social Footprint: " + biomassSocialFootprint);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Total Energy: " + (ligniteEnergy + photovoltaicsEnergy + windFarmsEnergy + biomassEnergy));
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Lignite Energy: " + ligniteEnergy);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Photovoltaics Energy: " + photovoltaicsEnergy);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Wind Farms Energy: " + windFarmsEnergy);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Biomass Energy: " + biomassEnergy);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("OUTPUT");
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Lignite Gain: " + getLigniteGain());
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Photovoltaics Gain: " + getPhotovoltaicsGain());
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Wind Farms Gain: " + getWindFarmsGain());
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Biomass Gain: " + getBiomassGain());
stringBuffer.append(newLine);
stringBuffer.append("Grid Administrator Gain: " + getGridAdministratorGain());
stringBuffer.append(newLine);
BufferedWriter bufferedWriter = new BufferedWriter(new FileWriter(fileToSave));
String outText = stringBuffer.toString();
bufferedWriter.write(outText);
bufferedWriter.close();
}
public static double roundTwoDecimals(double value) {
return Math.round(value * 100.0) / 100.0;
}
private void checkZeroSocialFootprint() throws OptimizationException {
if(ligniteSocialFootprint == 0)
throw new OptimizationException("Lignite Social Footprint is 0!");
if(photovoltaicsSocialFootprint == 0)
throw new OptimizationException("Photovoltaics Social Footprint is 0!");
if(windFarmsSocialFootprint == 0)
throw new OptimizationException("Wind Farms Social Footprint is 0!");
if(biomassSocialFootprint == 0)
throw new OptimizationException("Biomass Social Footprint is 0!");
}
}
JNumericTextField.java
package nk.opt.controls;
import javax.swing.*.*;
import javax.swing.text.*;
public class JNumericTextField extends JTextField
private static final char DOT = '.';
private static final char NEGATIVE = '-';
private static final String BLANK = "";
private static final int DEF_PRECISION = 2;
public static final int INTEGER = 2
public static final int DECIMAL = 3;
public static final String FM_INTEGER = "0123456789";
public static final String FM_DECIMAL = FM_INTEGER + DOT;
private int maxLength = 0;
private int format = INTEGER;
private String negativeChars = BLANK;
private String allowedChars = null;
private boolean allowNegative = false;
private int precision = 0;
protected PlainDocument numberFieldFilter;
public JNumericTextField(){
this(10, INTEGER);
}
public JNumericTextField(int maxLen) {
this(maxLen, INTEGER);
}
public JNumericTextField(int maxLen, int format) {
setAllowNegative(true);
setMaxLength(maxLen);
setFormat(format)
numberFieldFilter = new JNumberFieldFilter();
super.setDocument(numberFieldFilter);
}
public void setMaxLength(int maxLen) {
if (maxLen > 0)
maxLength = maxLen;
else
maxLength = 0;
}
}

```

```

public int getMaxLength() {
    return maxLength;
}
public void setPrecision(int precision) {
    if (format == INTEGER)
        return;
    if (precision >= 0)
        this.precision = precision;
    else
        this.precision = DEF_PRECISION;
}
public int getPrecision() {
    return precision;
}
public Number getNumber() {
    Number number = null;
    if (format == INTEGER)
        number = new Integer(getText());
    else
        number = new Double(getText());
    return number;
}
public void setNumber(Number value) {
    setText(String.valueOf(value));
}
public int getInt() {
    return Integer.parseInt(getText());
}
public void setInt(int value) {
    setText(String.valueOf(value));
}
public float getFloat() {
    return (new Float(getText())).floatValue();
}
public void setFloat(float value) {
    setText(String.valueOf(value));
}
public double getDouble() {
    return (new Double(getText())).doubleValue();
}
public void setDouble(double value) {
    setText(String.valueOf(value));
}
public int getFormat() {
    return format;
}
public void setFormat(int format) {
    switch (format)
    {
        case INTEGER:
            default:
                this.format = INTEGER;
                this.precision = 0;
                this.allowedChars = FM_INTEGER;
                break;
        case DECIMAL:
            this.format = DECIMAL;
            this.precision = DEF_PRECISION;
            this.allowedChars = FM_DECIMAL;
            break;
    }
}
public void setAllowNegative(boolean value) {
    allowNegative = value;
    if (value)
        negativeChars = "" + NEGATIVE;
    else
        negativeChars = BLANK;
}
public boolean isAllowNegative() {
    return allowNegative;
}
public void setDocument(Document document) {
}
class JNumberFieldFilter extends PlainDocument {
    public JNumberFieldFilter()
    {
        super();
    }
    public void insertString(int offset, String str, AttributeSet attr) throws BadLocationException {
        String text = getText(0,offset) + str + getText(offset,(getLength() - offset));
        if (str == null || text == null)
            return;
        for (int i=0; i<str.length(); i++)
        {
            if ((allowedChars + negativeChars).indexOf(str.charAt(i)) == -1)
                return;
        }
        int precisionLength = 0, dotLength = 0, minusLength = 0;
        int textLength = text.length();
        try
        {
            if (format == INTEGER)
            {
                if (!(text.equals(negativeChars) && (text.length() == 1)))
                    new Long(text);
            }
            else if (format == DECIMAL)

```



```

private JNumericTextField numLigniteSocialFootprint;
private JLabel lblPhotovoltaics;
private JNumericTextField numPhotovoltaicsEnergyProductionCost;
private JNumericTextField numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint;
private JNumericTextField numPhotovoltaicsEnergyReliability;
private JNumericTextField numPhotovoltaicsSocialFootprint;
private JLabel lblWindFarms;
private JNumericTextField numWindFarmsEnergyProductionCost;
private JNumericTextField numWindFarmsEnvironmentalFootprint;
private JNumericTextField numWindFarmsEnergyReliability;
private JNumericTextField numWindFarmsSocialFootprint;
private JLabel lblBiomass;
private JNumericTextField numBiomassEnergyProductionCost;
private JNumericTextField numBiomassEnvironmentalFootprint;
private JNumericTextField numBiomassEnergyReliability;
private JNumericTextField numBiomassSocialFootprint;
private JPanel pInputLast;
private JLabel lblTotalEnergyDemand;
private JNumericTextField numTotalEnergyDemand;
private JLabel lblLigniteEnergy;
private JNumericTextField numLigniteEnergy;
private JLabel lblPhotovoltaicsEnergy;
private JNumericTextField numPhotovoltaicsEnergy;
private JLabel lblWindFarmsEnergy;
private JNumericTextField numWindFarmsEnergy;
private JLabel lblBiomassEnergy;
private JNumericTextField numBiomassEnergy;
private JButton btnProcess;
private JButton btnClear;
private JCheckBox chkSaveDataToLogFile;
private JPanel pOutput;
private JPanel pChart;
private JPanel pNumericResults;
private JLabel lblLigniteGain;
private JNumericTextField numLigniteGain;
private JLabel lblPhotovoltaicsGain;
private JNumericTextField numPhotovoltaicsGain;
private JLabel lblWindFarmsGain;
private JNumericTextField numWindFarmsGain;
private JLabel lblBiomassProfit;
private JNumericTextField numBiomassGain;
private JLabel lblGridAdministratorGain;
private JNumericTextField numGridAdministratorGain;
public static void main(String[] args) {
    setupLookAndFeel();
    EventQueue.invokeLater(new Runnable() {
        public void run() {
            try {
                EnergyGridOptimization frmMain = new EnergyGridOptimization();
                frmMain.setLocationRelativeTo(null);
                frmMain.setVisible(true);
            } catch (Exception e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
    });
}

public EnergyGridOptimization() {
    initGUI();
    getRootPane().setDefaultButton(this.btnProcess);
    private void initGUI()
    setIconImage(Toolkit.getDefaultToolkit().getImage(EnergyGridOptimization.class.getResource("/resources/applcon.png")));
    setTitle("Energy Market Management Optimization - Decision Policy Tool");
    setResizable(false);
    setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
    //setBounds(0, 0, 800, 560);
    contentPane = new JPanel();
    contentPane.setBorder(new EmptyBorder(5, 5, 5, 5));
    setContentPane(contentPane);
    contentPane.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
        FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,
        ColumnSpec.decode("default:grow"),
        FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,},
        new RowSpec[]
        RowSpec.decode("fill:4dlu"),
        RowSpec.decode("fill:157dlu"),
        RowSpec.decode("fill:4dlu"),
        RowSpec.decode("fill:175dlu"),
        RowSpec.decode("fill:4dlu"),));
    pInput = new JPanel();
    pInput.setBorder(new TitledBorder(UIManager.getBorder("TitledBorder.border"), "Data entries - Fill in the required fields. Press \"Process\" or
    \"Clear\"", TitledBorder.LEADING, TitledBorder.TOP, null, null));
    contentPane.add(pInput, "2, 2, fill, fill");
    pInput.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
        ColumnSpec.decode("1dlu"),
        ColumnSpec.decode("126dlu"),
        ColumnSpec.decode("1dlu"),
        ColumnSpec.decode("120dlu"),
        ColumnSpec.decode("1dlu"),
        ColumnSpec.decode("120dlu"),
        ColumnSpec.decode("1dlu"),
        ColumnSpec.decode("134dlu"),
        ColumnSpec.decode("1dlu"),},
        new RowSpec[] {
            RowSpec.decode("fill:4dlu"),

```



```

RowSpec.decode("fill:115dlu"),
RowSpec.decode("fill:2dlu"),
RowSpec.decode("fill:20dlu"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"));));
pInputInitial = new JPanel();
pInput.add(pInputInitial, "2, 2, fill, fill");
pInputInitial.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
ColumnSpec.decode("2dlu"),
ColumnSpec.decode("90dlu"),
ColumnSpec.decode("2dlu"),
ColumnSpec.decode("30dlu"),
ColumnSpec.decode("2dlu"),},
new RowSpec[] {
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),},));
lblGridProfitFromCo = new JLabel("Grid Profit From CO2");
lblGridProfitFromCo.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblGridProfitFromCo.setOpaque(true);
lblGridProfitFromCo.setForeground(Color.WHITE);
lblGridProfitFromCo.setBackground(Color.GRAY);
pInputInitial.add(lblGridProfitFromCo, "2, 2, fill, fill");
numGridProfitFromCo = new JNumericTextField();
numGridProfitFromCo.setAllowNegative(false);
numGridProfitFromCo.setPrecision(2);
numGridProfitFromCo.setFormat(3);
numGridProfitFromCo.setMaxLength(6);
numGridProfitFromCo.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInputInitial.add(numGridProfitFromCo, "4, 2, fill, default");
lblPurchasePrice = new JLabel("Purchase Price");
lblPurchasePrice.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblPurchasePrice.setForeground(Color.WHITE);
lblPurchasePrice.setOpaque(true);
lblPurchasePrice.setBackground(Color.GRAY);
pInputInitial.add(lblPurchasePrice, "2, 4, fill, fill");
numPurchasePrice = new JNumericTextField();
numPurchasePrice.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPurchasePrice.setAllowNegative(false);
numPurchasePrice.setPrecision(2);
numPurchasePrice.setFormat(3);
numPurchasePrice.setMaxLength(6);
pInputInitial.add(numPurchasePrice, "4, 4, fill, default");
lblPenaltyCo = new JLabel("Penalty CO2");
lblPenaltyCo.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblPenaltyCo.setForeground(Color.WHITE);
lblPenaltyCo.setOpaque(true);
lblPenaltyCo.setBackground(Color.GRAY);
pInputInitial.add(lblPenaltyCo, "2, 6, fill, fill");
numPenaltyCo = new JNumericTextField();
numPenaltyCo.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPenaltyCo.setAllowNegative(false);
numPenaltyCo.setPrecision(2);
numPenaltyCo.setFormat(3);
numPenaltyCo.setMaxLength(6);
pInputInitial.add(numPenaltyCo, "4, 6, fill, default");
lblReliabilityBonus = new JLabel("Reliability Bonus ");
lblReliabilityBonus.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblReliabilityBonus.setForeground(Color.WHITE);
lblReliabilityBonus.setOpaque(true);
lblReliabilityBonus.setBackground(Color.GRAY);
pInputInitial.add(lblReliabilityBonus, "2, 8, fill, fill");
numReliabilityBonus = new JNumericTextField();
numReliabilityBonus.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numReliabilityBonus.setAllowNegative(false);
numReliabilityBonus.setPrecision(2);
numReliabilityBonus.setFormat(3);
numReliabilityBonus.setMaxLength(6);
pInputInitial.add(numReliabilityBonus, "4, 8, fill, default");
lblProductivityBonus = new JLabel("Productivity Bonus");
lblProductivityBonus.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblProductivityBonus.setForeground(Color.WHITE);
lblProductivityBonus.setOpaque(true);
lblProductivityBonus.setBackground(Color.GRAY);
pInputInitial.add(lblProductivityBonus, "2, 10, fill, fill");
numProductivityBonus = new JNumericTextField();
numProductivityBonus.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numProductivityBonus.setAllowNegative(false);
numProductivityBonus.setPrecision(2);
numProductivityBonus.setFormat(3);
numProductivityBonus.setMaxLength(6);
pInputInitial.add(numProductivityBonus, "4, 10, fill, default");
pInputGrid = new JPanel();
pInput.add(pInputGrid, "4, 2, 3, 1, fill, fill");
pInputGrid.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
FormFactory.UNRELATED_GAP_COLSPEC,
ColumnSpec.decode("50dlu"),
FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,
ColumnSpec.decode("40dlu"),

```

```

FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,
ColumnSpec.decode("40dlu"),
FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,
ColumnSpec.decode("40dlu"),
FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,
ColumnSpec.decode("40dlu"),
FormFactory.RELATED_GAP_COLSPEC,},
new RowSpec[] {
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
FormFactory.DEFAULT_ROWSPEC,
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:default"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:default"),));
lblEnergyCost = new JLabel("<html><div style='text-align: center;'>Energy Production Cost</html>");
lblEnergyCost.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 2));
lblEnergyCost.setForeground(Color.WHITE);
lblEnergyCost.setOpaque(true);
lblEnergyCost.setBackground(Color.GRAY);
lblEnergyCost.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.CENTE);
lblEnergyCost.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
lblEnergyCost.setMaximumSize(new Dimension(70, 14));
pInputGrid.add(lblEnergyCost, "4, 2, fill, top");
lblEnvironmentalFootprint = new JLabel("<html><div style='text-align: center;'>Envir/ntal Footprint</html>");
lblEnvironmentalFootprint.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 2));
lblEnvironmentalFootprint.setOpaque(true);
lblEnvironmentalFootprint.setMaximumSize(new Dimension(70, 14));
lblEnvironmentalFootprint.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.CENTER);
lblEnvironmentalFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
lblEnvironmentalFootprint.setForeground(Color.WHITE);
lblEnvironmentalFootprint.setBackground(Color.GRAY);
pInputGrid.add(lblEnvironmentalFootprint, "6, 2, fill, fill")
lblEnergyReliability = new JLabel("<html><div style='text-align: center;'>Energy Reliability</html>");
lblEnergyReliability.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 2));
lblEnergyReliability.setOpaque(true)
lblEnergyReliability.setMaximumSize(new Dimension(70, 14));
lblEnergyReliability.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.CENTER);
lblEnergyReliability.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
lblEnergyReliability.setForeground(Color.WHITE);
lblEnergyReliability.setBackground(Color.GRAY);
pInputGrid.add(lblEnergyReliability, "8, 2, fill, fill");
lblSocialFootprint = new JLabel("<html><div style='text-align: center;'>Social Footprint</html>");
lblSocialFootprint.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 2));
lblSocialFootprint.setOpaque(true);
lblSocialFootprint.setMaximumSize(new Dimension(70, 14));
lblSocialFootprint.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.CENTER);
lblSocialFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
lblSocialFootprint.setForeground(Color.WHITE);
lblSocialFootprint.setBackground(Color.GRAY);
pInputGrid.add(lblSocialFootprint, "10, 2, fill, fill");
lblLignite = new JLabel("Lignite");
lblLignite.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblLignite.setOpaque(true);
lblLignite.setForeground(Color.WHITE);
lblLignite.setBackground(Color.GRAY);
lblLignite.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.LEFT);
lblLignite.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
pInputGrid.add(lblLignite, "2, 4, fill, fill")
numLigniteEnergyProductionCost = new JNumericTextField();
numLigniteEnergyProductionCost.setAllowNegative(false);
numLigniteEnergyProductionCost.setPrecision(2);
numLigniteEnergyProductionCost.setFormat(3);
numLigniteEnergyProductionCost.setSize(new Dimension(45, 0));
numLigniteEnergyProductionCost.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numLigniteEnergyProductionCost.setMaxLength(6);
numLigniteEnergyProductionCost.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numLigniteEnergyProductionCost, "4, 4, fill, center");
numLigniteEnvironmentalFootprint = new JNumericTextField();
numLigniteEnvironmentalFootprint.setAllowNegative(false);
numLigniteEnvironmentalFootprint.setPrecision(2);
numLigniteEnvironmentalFootprint.setFormat(3);
numLigniteEnvironmentalFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numLigniteEnvironmentalFootprint.setMaxLength(6);
numLigniteEnvironmentalFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20))
pInputGrid.add(numLigniteEnvironmentalFootprint, "6, 4, fill, center");
numLigniteEnergyReliability = new JNumericTextField();
numLigniteEnergyReliability.setAllowNegative(false);
numLigniteEnergyReliability.setPrecision(2);
numLigniteEnergyReliability.setFormat(3);
numLigniteEnergyReliability.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numLigniteEnergyReliability.setMaxLength(6);
numLigniteEnergyReliability.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numLigniteEnergyReliability, "8, 4, fill, center");
numLigniteSocialFootprint = new JNumericTextField();
numLigniteSocialFootprint.setAllowNegative(false);
numLigniteSocialFootprint.setPrecision(2);
numLigniteSocialFootprint.setFormat(3);

```

```

numLigniteSocialFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numLigniteSocialFootprint.setMaxLength(6);
numLigniteSocialFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numLigniteSocialFootprint, "10, 4, fill, center");
lblPhotovoltaics = new JLabel("Photovoltaics");
lblPhotovoltaics.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblPhotovoltaics.setOpaque(true);
lblPhotovoltaics.setForeground(Color.WHITE);
lblPhotovoltaics.setBackground(Color.GRAY);
lblPhotovoltaics.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.LEFT);
lblPhotovoltaics.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
pInputGrid.add(lblPhotovoltaics, "2, 6, fill, fill");
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost = new JNumericTextField();
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.setAllowNegative(false);
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.setPrecision(2);
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.setFormat(3);
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.setMaxLength(6);
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numPhotovoltaicsEnergyProductionCost, "4, 6, fill, center");
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint = new JNumericTextField();
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.setAllowNegative(false);
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.setPrecision(2);
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.setFormat(3);
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.setMaxLength(6);
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint, "6, 6, fill, center");
numPhotovoltaicsEnergyReliability = new JNumericTextField();
numPhotovoltaicsEnergyReliability.setAllowNegative(false);
numPhotovoltaicsEnergyReliability.setPrecision(2);
numPhotovoltaicsEnergyReliability.setFormat(3);
numPhotovoltaicsEnergyReliability.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPhotovoltaicsEnergyReliability.setMaxLength(6);
numPhotovoltaicsEnergyReliability.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numPhotovoltaicsEnergyReliability, "8, 6, fill, center");
numPhotovoltaicsSocialFootprint = new JNumericTextField();
numPhotovoltaicsSocialFootprint.setAllowNegative(false);
numPhotovoltaicsSocialFootprint.setPrecision(2);
numPhotovoltaicsSocialFootprint.setFormat(3);
numPhotovoltaicsSocialFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPhotovoltaicsSocialFootprint.setMaxLength(6);
numPhotovoltaicsSocialFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numPhotovoltaicsSocialFootprint, "10, 6, fill, center");
lblWindFarms = new JLabel("Wind Farms");
lblWindFarms.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblWindFarms.setOpaque(true);
lblWindFarms.setForeground(Color.WHITE);
lblWindFarms.setBackground(Color.GRAY);
lblWindFarms.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.LEFT);
lblWindFarms.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
pInputGrid.add(lblWindFarms, "2, 8, fill, fill");
numWindFarmsEnergyProductionCost = new JNumericTextField();
numWindFarmsEnergyProductionCost.setAllowNegative(false);
numWindFarmsEnergyProductionCost.setPrecision(2);
numWindFarmsEnergyProductionCost.setFormat(3);
numWindFarmsEnergyProductionCost.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numWindFarmsEnergyProductionCost.setMaxLength(6);
numWindFarmsEnergyProductionCost.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numWindFarmsEnergyProductionCost, "4, 8, fill, center");
numWindFarmsEnvironmentalFootprint = new JNumericTextField();
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.setAllowNegative(false);
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.setPrecision(2);
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.setFormat(3);
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.setMaxLength(6);
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numWindFarmsEnvironmentalFootprint, "6, 8, fill, center");
numWindFarmsEnergyReliability = new JNumericTextField();
numWindFarmsEnergyReliability.setAllowNegative(false);
numWindFarmsEnergyReliability.setPrecision(2);
numWindFarmsEnergyReliability.setFormat(3);
numWindFarmsEnergyReliability.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numWindFarmsEnergyReliability.setMaxLength(6);
numWindFarmsEnergyReliability.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numWindFarmsEnergyReliability, "8, 8, fill, center");
numWindFarmsSocialFootprint = new JNumericTextField();
numWindFarmsSocialFootprint.setAllowNegative(false);
numWindFarmsSocialFootprint.setPrecision(2);
numWindFarmsSocialFootprint.setFormat(3);
numWindFarmsSocialFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numWindFarmsSocialFootprint.setMaxLength(6);
numWindFarmsSocialFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numWindFarmsSocialFootprint, "10, 8, fill, center");
lblBiomass = new JLabel("Biomass");
lblBiomass.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblBiomass.setOpaque(true);
lblBiomass.setForeground(Color.WHITE);
lblBiomass.setBackground(Color.GRAY);
lblBiomass.setHorizontalTextPosition(SwingConstants.LEFT);
lblBiomass.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
pInputGrid.add(lblBiomass, "2, 10, fill, fill");
numBiomassEnergyProductionCost = new JNumericTextField();
numBiomassEnergyProductionCost.setAllowNegative(false);
numBiomassEnergyProductionCost.setPrecision(2);

```

```

numBiomassEnergyProductionCost.setFormat(3);
numBiomassEnergyProductionCost.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numBiomassEnergyProductionCost.setMaxLength(6);
numBiomassEnergyProductionCost.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numBiomassEnergyProductionCost, "4, 10, fill, center");
numBiomassEnvironmentalFootprint = new JNumericTextField();
numBiomassEnvironmentalFootprint.setAllowNegative(false);
numBiomassEnvironmentalFootprint.setPrecision(2);
numBiomassEnvironmentalFootprint.setFormat(3);
numBiomassEnvironmentalFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numBiomassEnvironmentalFootprint.setMaxLength(6);
numBiomassEnvironmentalFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numBiomassEnvironmentalFootprint, "6, 10, fill, center");
numBiomassEnergyReliability = new JNumericTextField();
numBiomassEnergyReliability.setAllowNegative(false);
numBiomassEnergyReliability.setPrecision(2);
numBiomassEnergyReliability.setFormat(3);
numBiomassEnergyReliability.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numBiomassEnergyReliability.setMaxLength(6);
numBiomassEnergyReliability.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numBiomassEnergyReliability, "8, 10, fill, center");
numBiomassSocialFootprint = new JNumericTextField();
numBiomassSocialFootprint.setAllowNegative(false);
numBiomassSocialFootprint.setPrecision(2);
numBiomassSocialFootprint.setFormat(3);
numBiomassSocialFootprint.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numBiomassSocialFootprint.setMaxLength(6);
numBiomassSocialFootprint.setPreferredSize(new Dimension(45, 20));
pInputGrid.add(numBiomassSocialFootprint, "10, 10, fill, center");
pInputLast = new JPanel();
pInput.add(pInputLast, "8, 2, fill, fill");
pInputLast.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
    ColumnSpec.decode("2dlu"),
    ColumnSpec.decode("80dlu"),
    ColumnSpec.decode("2dlu"),
    ColumnSpec.decode("48dlu")},),
    new RowSpec[] {
    RowSpec.decode("fill:4dlu"),
    RowSpec.decode("fill:15dlu"),
    RowSpec.decode("fill:7dlu"),
    RowSpec.decode("fill:15dlu"),
    RowSpec.decode("fill:7dlu"),
    RowSpec.decode("fill:15dlu"),
    RowSpec.decode("fill:7dlu"),
    RowSpec.decode("fill:15dlu"),
    RowSpec.decode("fill:7dlu"),
    RowSpec.decode("fill:15dlu")});
lblTotalEnergyDemand = new JLabel("Total Energy Demand");
lblTotalEnergyDemand.setOpaque(true);
lblTotalEnergyDemand.setForeground(Color.WHITE);
lblTotalEnergyDemand.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblTotalEnergyDemand.setBackground(Color.GRAY);
pInputLast.add(lblTotalEnergyDemand, "2, 2, fill, fill");
numTotalEnergyDemand = new JNumericTextField();
numTotalEnergyDemand.setFocusable(false);
numTotalEnergyDemand.setEditable(false);
numTotalEnergyDemand.setFont(new Font("Times New Roman", Font.PLAIN, 11));
numTotalEnergyDemand.setBackground(Color.WHITE);
numTotalEnergyDemand.setAllowNegative(false);
numTotalEnergyDemand.setPrecision(2);
numTotalEnergyDemand.setFormat(3);
numTotalEnergyDemand.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInputLast.add(numTotalEnergyDemand, "4, 2, fill, fill");
lblLigniteEnergy = new JLabel("Lignite Energy");
lblLigniteEnergy.setOpaque(true);
lblLigniteEnergy.setForeground(Color.WHITE);
lblLigniteEnergy.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblLigniteEnergy.setBackground(Color.GRAY);
pInputLast.add(lblLigniteEnergy, "2, 4, fill, fill");
numLigniteEnergy = new JNumericTextField();
numLigniteEnergy.setAllowNegative(false);
numLigniteEnergy.setPrecision(2);
numLigniteEnergy.setFormat(3);
numLigniteEnergy.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInputLast.add(numLigniteEnergy, "4, 4, fill, default");
numLigniteEnergy.getDocument().addDocumentListener(new DocumentListener()
public void changedUpdate(DocumentEvent e) {
    updateTotalEnergy();
}
public void removeUpdate(DocumentEvent e) {
    updateTotalEnergy();
}
public void insertUpdate(DocumentEvent e) {
    updateTotalEnergy();
}
});
lblPhotovoltaicsEnergy = new JLabel("Photovoltaics Energy");
lblPhotovoltaicsEnergy.setOpaque(true);
lblPhotovoltaicsEnergy.setForeground(Color.WHITE);
lblPhotovoltaicsEnergy.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblPhotovoltaicsEnergy.setBackground(Color.GRAY);
pInputLast.add(lblPhotovoltaicsEnergy, "2, 6, fill, fill");
numPhotovoltaicsEnergy = new JNumericTextField();
numPhotovoltaicsEnergy.setAllowNegative(false);
numPhotovoltaicsEnergy.setPrecision(2);

```

```

numPhotovoltaicsEnergy.setFormat(3);
numPhotovoltaicsEnergy.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInputLast.add(numPhotovoltaicsEnergy, "4, 6, fill, fill");
numPhotovoltaicsEnergy.getDocument().addDocumentListener(new DocumentListener() {
public void changedUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
public void removeUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
public void insertUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
});
lblWindFarmsEnergy = new JLabel("Wind Farms Energy");
lblWindFarmsEnergy.setOpaque(true);
lblWindFarmsEnergy.setForeground(Color.WHITE);
lblWindFarmsEnergy.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblWindFarmsEnergy.setBackground(Color.GRAY)
pInputLast.add(lblWindFarmsEnergy, "2, 8, fill, fill");
numWindFarmsEnergy = new JNumericTextField();
numWindFarmsEnergy.setAllowNegative(false);
numWindFarmsEnergy.setPrecision(2);
numWindFarmsEnergy.setFormat(3);
numWindFarmsEnergy.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInputLast.add(numWindFarmsEnergy, "4, 8, fill, fill")
numWindFarmsEnergy.getDocument().addDocumentListener(new DocumentListener() {
public void changedUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
public void removeUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
public void insertUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
});
lblBiomassEnergy = new JLabel("Biomass Energy");
lblBiomassEnergy.setOpaque(true);
lblBiomassEnergy.setForeground(Color.WHITE);
lblBiomassEnergy.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblBiomassEnergy.setBackground(Color.GRAY);
pInputLast.add(lblBiomassEnergy, "2, 10, fill, fill");
numBiomassEnergy = new JNumericTextField();
numBiomassEnergy.setAllowNegative(false);
numBiomassEnergy.setPrecision(2);
numBiomassEnergy.setFormat(3);
numBiomassEnergy.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInputLast.add(numBiomassEnergy, "4, 10, fill, fill");
numBiomassEnergy.getDocument().addDocumentListener(new DocumentListener() {
public void changedUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
public void removeUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
public void insertUpdate(DocumentEvent e) {
updateTotalEnergy();
}
});
btnProcess = new JButton("Process");
btnProcess.addActionListener(new ActionListener() {
public void actionPerformed(ActionEvent arg0) {
processInput();
}
});
pInput.add(btnProcess, "4, 4, default, fill");
btnClear = new JButton("Clear");
btnClear.addActionListener(new ActionListener() {
public void actionPerformed(ActionEvent arg0) {
clearInput();
}
});
pInput.add(btnClear, "6, 4, default, fill");
chkSaveDataToLogFile = new JCheckBox("Save Data To Log File");
chkSaveDataToLogFile.setSelected(true);
chkSaveDataToLogFile.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
pInput.add(chkSaveDataToLogFile, "8, 4, center, fill");
pOutput = new JPanel();
pOutput.setBorder(new TitledBorder(UIManager.getBorder("TitledBorder.border"), "Output Data - View Graph and Numeric Results based on Input Data supplied
above", TitledBorder.LEADING, TitledBorder.TOP, null, null));
contentPane.add(pOutput, "2, 4, fill, fill");
pOutput.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
ColumnSpec.decode("1dlu"),
ColumnSpec.decode("350dlu"),
ColumnSpec.decode("1dlu"),
ColumnSpec.decode("152dlu"),
ColumnSpec.decode("1dlu"),},
new RowSpec[] {
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:152dlu"),
RowSpec.decode("fill:4dlu"),}));
pChart = new JPanel();
pChart.setBorder(new LineBorder(new Color(0, 0, 0)));
pOutput.add(pChart, "2, 2, fill, fill");

```

```

pChart.setLayout(new BorderLayout(0, 0));
pNumericResults = new JPanel();
pOutput.add(pNumericResults, "4, 2, fill, fill");
pNumericResults.setLayout(new FormLayout(new ColumnSpec[] {
ColumnSpec.decode("5dlu"),
ColumnSpec.decode("83dlu"),
ColumnSpec.decode("2dlu"),
ColumnSpec.decode("60dlu"),},
new RowSpec[] {
RowSpec.decode("fill:4dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
RowSpec.decode("fill:7dlu"),
RowSpec.decode("fill:15dlu"),
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
FormFactory.DEFAULT_ROWSPEC,
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
FormFactory.DEFAULT_ROWSPEC,
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
FormFactory.DEFAULT_ROWSPEC,
FormFactory.RELATED_GAP_ROWSPEC,
FormFactory.DEFAULT_ROWSPEC,));
lblLigniteGain = new JLabel("Lignite Gain");
lblLigniteGain.setOpaque(true);
lblLigniteGain.setForeground(Color.WHITE);
lblLigniteGain.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblLigniteGain.setBackground(Color.GRAY);
pNumericResults.add(lblLigniteGain, "2, 2, fill, fill");
numLigniteGain = new JNumericTextField();
numLigniteGain.setFocusable(false);
numLigniteGain.setEditable(false);
numLigniteGain.setBackground(Color.WHITE);
numLigniteGain.setPrecision(2);
numLigniteGain.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numLigniteGain.setFormat(3);
pNumericResults.add(numLigniteGain, "4, 2, fill, fill");
lblPhotovoltaicsGain = new JLabel("Photovoltaics Gain");
lblPhotovoltaicsGain.setOpaque(true);
lblPhotovoltaicsGain.setForeground(Color.WHITE);
lblPhotovoltaicsGain.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblPhotovoltaicsGain.setBackground(Color.GRAY);
pNumericResults.add(lblPhotovoltaicsGain, "2, 4, fill, fill");
numPhotovoltaicsGain = new JNumericTextField();
numPhotovoltaicsGain.setFocusable(false);
numPhotovoltaicsGain.setEditable(false);
numPhotovoltaicsGain.setBackground(Color.WHITE);
numPhotovoltaicsGain.setPrecision(2);
numPhotovoltaicsGain.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numPhotovoltaicsGain.setFormat(3);
pNumericResults.add(numPhotovoltaicsGain, "4, 4, fill, fill");
lblWindFarmsGain = new JLabel("Wind Farms Gain");
lblWindFarmsGain.setOpaque(true);
lblWindFarmsGain.setForeground(Color.WHITE);
lblWindFarmsGain.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblWindFarmsGain.setBackground(Color.GRAY);
pNumericResults.add(lblWindFarmsGain, "2, 6, fill, fill");
numWindFarmsGain = new JNumericTextField();
numWindFarmsGain.setFocusable(false);
numWindFarmsGain.setEditable(false);
numWindFarmsGain.setBackground(Color.WHITE);
numWindFarmsGain.setPrecision(2);
numWindFarmsGain.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numWindFarmsGain.setFormat(3);
pNumericResults.add(numWindFarmsGain, "4, 6, fill, fill");
lblBiomassProfit = new JLabel("Biomass Gain");
lblBiomassProfit.setOpaque(true);
lblBiomassProfit.setForeground(Color.WHITE);
lblBiomassProfit.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblBiomassProfit.setBackground(Color.GRAY);
pNumericResults.add(lblBiomassProfit, "2, 8, fill, fill");
numBiomassGain = new JNumericTextField();
numBiomassGain.setFocusable(false);
numBiomassGain.setEditable(false);
numBiomassGain.setBackground(Color.WHITE);
numBiomassGain.setPrecision(2);
numBiomassGain.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);
numBiomassGain.setFormat(3);
pNumericResults.add(numBiomassGain, "4, 8, fill, fill");
lblGridAdministratorGain = new JLabel("Grid Administrator Gain");
lblGridAdministratorGain.setOpaque(true);
lblGridAdministratorGain.setForeground(Color.WHITE);
lblGridAdministratorGain.setBorder(new EmptyBorder(0, 2, 0, 0));
lblGridAdministratorGain.setBackground(Color.GRAY);
pNumericResults.add(lblGridAdministratorGain, "2, 10, fill, fill");
numGridAdministratorGain = new JNumericTextField();
numGridAdministratorGain.setFocusable(false);
numGridAdministratorGain.setEditable(false);
numGridAdministratorGain.setBackground(Color.WHITE);
numGridAdministratorGain.setPrecision(2);
numGridAdministratorGain.setHorizontalAlignment(SwingConstants.RIGHT);

```

```

numGridAdministratorGain.setFormat(3);
pNumericResults.add(numGridAdministratorGain, "4, 10, fill, fill");
pack();
}
private static void setupLookAndFeel () {
try {
UIManager.setLookAndFeel(UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
} catch (ClassNotFoundException | InstantiationException | IllegalAccessException | UnsupportedLookAndFeelException ex) {
ex.printStackTrace();
}
private boolean validateInput() {
if(numGridProfitFromCo.getText().trim().equals("")) {
showError("Grid Profit From CO2 field is empty!");
numGridProfitFromCo.requestFocus();
return false;
}
if(numPurchasePrice.getText().trim().equals("")) {
showError("Purchase Price field is empty!");
numPurchasePrice.requestFocus();
return false;
}
if(numPenaltyCo.getText().trim().equals("")) {
showError("CO2 Penalty field is empty!");
numPenaltyCo.requestFocus();
return false;
}
if(numReliabilityBonus.getText().trim().equals("")) {
showError("Reliability Bonus field is empty!");
numReliabilityBonus.requestFocus();
return false;
}
if(numProductivityBonus.getText().trim().equals("")) {
showError("Productivity Bonus field is empty!");
numProductivityBonus.requestFocus();
return false;
}
if(numLigniteEnergyProductionCost.getText().trim().equals("")) {
showError("Lignite Energy Production Cost field is empty!");
numLigniteEnergyProductionCost.requestFocus();
return false;
}
if(numLigniteEnvironmentalFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Lignite Environemntal Footprint field is empty!");
numLigniteEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numLigniteEnvironmentalFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Lignite Environemntal Footprint field value bigger than 1 is not allowed!");
numLigniteEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numLigniteEnergyReliability.getText().trim().equals("")) {
showError("Lignite Energy Reliability field is empty!");
numLigniteEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
else if(numLigniteEnergyReliability.getDouble() > 1.0) {
showError("Lignite Energy Reliability field value bigger than 1 is not allowed!");
numLigniteEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
if(numLigniteSocialFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Lignite Social Footprint field is empty!");
numLigniteSocialFootprint.requestFocus();
return false;}
else if(numLigniteSocialFootprint.getDouble() == 0 || numLigniteSocialFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Lignite Social Footprint field value should be bigger than 0 and smaller or equal to 1!");
numLigniteSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.getText().trim().equals("")) {
showError("Photovoltaics Energy Production Cost field is empty!");
numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.requestFocus();
return false;
}
if(numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Photovoltaics Environemntal Footprint field is empty!");
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Photovoltaics Environemntal Footprint field value bigger than 1 is not allowed!");
numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numPhotovoltaicsEnergyReliability.getText().trim().equals("")) {
showError("Photovoltaics Energy Reliability field is empty!");
numPhotovoltaicsEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
else if(numPhotovoltaicsEnergyReliability.getDouble() > 1.0) {
showError("Photovoltaics Energy Reliability field value bigger than 1 is not allowed!");
numPhotovoltaicsEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
if(numPhotovoltaicsSocialFootprint.getText().trim().equals("")) {

```

```

showError("Photovoltaics Social Footprint field is empty!");
numPhotovoltaicsSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numPhotovoltaicsSocialFootprint.getDouble() == 0 || numPhotovoltaicsSocialFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Photovoltaics Social Footprint field value should be bigger than 0 and smaller or equal to 1!");
numPhotovoltaicsSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numWindFarmsEnergyProductionCost.getText().trim().equals("")) {
showError("Wind Farms Energy Production Cost field is empty!");
numWindFarmsEnergyProductionCost.requestFocus();
return false;
}
if(numWindFarmsEnvironmentalFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Wind Farms Environemntal Footprint field is empty!");
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numWindFarmsEnvironmentalFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Wind Farms Environemntal Footprint field value bigger than 1 is not allowed!");
numWindFarmsEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numWindFarmsEnergyReliability.getText().trim().equals("")) {
showError("Wind Farms Energy Reliability field is empty!");
numWindFarmsEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
else if(numWindFarmsEnergyReliability.getDouble() > 1.0) {
showError("Wind Farms Energy Reliability field value bigger than 1 is not allowed!");
numWindFarmsEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
if(numWindFarmsSocialFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Wind Farms Social Footprint field is empty!");
numWindFarmsSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numWindFarmsSocialFootprint.getDouble() == 0 || numWindFarmsSocialFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Wind Farms Social Footprint field wind should be bigger than 0 and smaller or equal to 1!");
numWindFarmsSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numBiomassEnergyProductionCost.getText().trim().equals("")) {
showError("Biomass Energy Production Cost field is empty!");
numBiomassEnergyProductionCost.requestFocus();
return false;
}
if(numBiomassEnvironmentalFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Biomass Environemntal Footprint field is empty!");
numBiomassEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numBiomassEnvironmentalFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Biomass Environemntal Footprint field value bigger than 1 is not allowed!");
numBiomassEnvironmentalFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numBiomassEnergyReliability.getText().trim().equals("")) {
showError("Biomass Energy Reliability field is empty!");
numBiomassEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
else if(numBiomassEnergyReliability.getDouble() > 1.0) {
showError("Biomass Energy Reliability field value bigger than 1 is not allowed!");
numBiomassEnergyReliability.requestFocus();
return false;
}
if(numBiomassSocialFootprint.getText().trim().equals("")) {
showError("Biomass Social Footprint field is empty!");
numBiomassSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
else if(numBiomassSocialFootprint.getDouble() == 0 || numBiomassSocialFootprint.getDouble() > 1.0) {
showError("Biomass Social Footprint field value should be bigger than 0 and smaller or equal to 1!");
numBiomassSocialFootprint.requestFocus();
return false;
}
if(numTotalEnergyDemand.getText().trim().equals("")) {
showError("Total Energy Demand field is empty!");
numTotalEnergyDemand.requestFocus();
return false;
}
if(numLigniteEnergy.getText().trim().equals("")) {
showError("Lignite Energy field is empty!");
numLigniteEnergy.requestFocus();
return false;
}
if(numPhotovoltaicsEnergy.getText().trim().equals("")) {
showError("Photovoltaics Energy field is empty!");
numPhotovoltaicsEnergy.requestFocus();
return false;
}
}
if(numWindFarmsEnergy.getText().trim().equals("")) {

```



```

showError("Wind Farms Energy field is empty!");
numWindFarmsEnergy.requestFocus();
return false;
}
if(numBiomassEnergy.getText().trim().equals("")) {
showError("Biomass Energy field is empty!");
numBiomassEnergy.requestFocus();
return false;
}
return true;
}
private void processInput() {
try {
if(!validateInput())
return
OptimizationHandler optimizationHandler = new OptimizationHandler();
optimizationHandler.setGridProfitFromCo(numGridProfitFromCo.getDouble());
optimizationHandler.setPurchasePrice(numPurchasePrice.getDouble());
optimizationHandler.setPenaltyCo(numPenaltyCo.getDouble());
optimizationHandler.setReliabilityBonus(numReliabilityBonus.getDouble());
optimizationHandler.setProductivityBonus(numProductivityBonus.getDouble());
optimizationHandler.setLigniteEnergyProductionCost(numLigniteEnergyProductionCost.getDouble());
optimizationHandler.setLigniteEnvironmentalFootprint(numLigniteEnvironmentalFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setLigniteSocialFootprint(numLigniteSocialFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setPhotovoltaicsEnergyProductionCost(numPhotovoltaicsEnergyProductionCost.getDouble());
optimizationHandler.setPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint(numPhotovoltaicsEnvironmentalFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setPhotovoltaicsEnergyReliability(numPhotovoltaicsEnergyReliability.getDouble());
optimizationHandler.setPhotovoltaicsSocialFootprint(numPhotovoltaicsSocialFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setWindFarmsEnergyProductionCost(numWindFarmsEnergyProductionCost.getDouble());
optimizationHandler.setWindFarmsEnvironmentalFootprint(numWindFarmsEnvironmentalFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setWindFarmsEnergyReliability(numWindFarmsEnergyReliability.getDouble());
optimizationHandler.setWindFarmsSocialFootprint(numWindFarmsSocialFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setBiomassEnergyProductionCost(numBiomassEnergyProductionCost.getDouble());
optimizationHandler.setBiomassEnvironmentalFootprint(numBiomassEnvironmentalFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setBiomassEnergyReliability(numBiomassEnergyReliability.getDouble());
optimizationHandler.setBiomassSocialFootprint(numBiomassSocialFootprint.getDouble());
optimizationHandler.setLigniteEnergy(numLigniteEnergy.getDouble());
optimizationHandler.setPhotovoltaicsEnergy(numPhotovoltaicsEnergy.getDouble());
optimizationHandler.setWindFarmsEnergy(numWindFarmsEnergy.getDouble());
optimizationHandler.setBiomassEnergy(numBiomassEnergy.getDouble());
double ligniteGain = optimizationHandler.getLigniteGain();
double photovoltaicsGain = optimizationHandler.getPhotovoltaicsGain();
double windFarmsGain = optimizationHandler.getWindFarmsGain();
double biomassGain = optimizationHandler.getBiomassGain();
double gridAdministratorGain = optimizationHandler.getGridAdministratorGain();
displayResults(ligniteGain, photovoltaicsGain, windFarmsGain, biomassGain, gridAdministratorGain);
if(chkSaveDataToLogFile.isSelected()) {
final String directory = System.getProperty("user.dir") + File.separator + "logs";
final Calendar calendar = Calendar.getInstance();
final Random randomGenerator = new Random();
final String filename = "NK_OPT_" + randomGenerator.nextInt(10000) + "_" + calendar.getTimeInMillis() + ".log";
optimizationHandler.saveDatatoLog(directory, filename);
}
}
catch (OptimizationException ex) {
showError(ex.getMessage());
ex.printStackTrace();
}
catch (IOException ex) {
showError("File operation error!");
ex.printStackTrace();
}
catch (Exception ex){
showError("Unexpected error while trying to process Input Data!");
ex.printStackTrace();
}
}
private void displayResults(double ligniteGain, double photovoltaicsGain, double windFarmsGain,
double biomassGain, double gridAdministratorGain) {
numLigniteGain.setDouble(ligniteGain);
numPhotovoltaicsGain.setDouble(photovoltaicsGain);
numWindFarmsGain.setDouble(windFarmsGain);
numBiomassGain.setDouble(biomassGain);
numGridAdministratorGain.setDouble(gridAdministratorGain);
DefaultCategoryDataset gainsDataset = new DefaultCategoryDataset();
gainsDataset.setValue(ligniteGain, "Gain", "Lignite");
gainsDataset.setValue(photovoltaicsGain, "Gain", "PV");
gainsDataset.setValue(windFarmsGain, "Gain", "Wind");
gainsDataset.setValue(biomassGain, "Gain", "Biomass");
gainsDataset.setValue(gridAdministratorGain, "Gain", "Admin");
final JFreeChart gainsChart = ChartFactory.createBarChart("Optimization Results", "", "Gain", gainsDataset,
PlotOrientation.VERTICAL,false, true, false);
gainsChart.setBackgroundPaint(Color.WHITE);
final OptimizationRenderer optimizationRenderer = new OptimizationRenderer(
new Paint[] {Color.RED, Color.ORANGE, Color.BLUE,
Color.GREEN, Color.MAGENTA});
final CategoryPlot categoryPlot = gainsChart.getCategoryPlot();
categoryPlot.setRangeGridlinePaint(Color.BLACK);
categoryPlot.setBackgroundPaint(Color.WHITE);
categoryPlot.setRenderer(optimizationRenderer)
final ChartPanel gainsPanel = new ChartPanel(gainsChart);
pChart.removeAll();
pChart.add(gainsPanel);
pChart.validate();
}

```



## Παράρτημα Β

### Β1 ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB NASH STRATEGIES

```
% Program nash_test_feedback_matrix()

function nash_test_feedback_matrix()
%to a tou systimatos opws ta bi,ri,qi,li dinontai arxika
k=[0.6, 0.05; 0.05, 0.1];
a=[0.04, 0.01;0.01, 0.025];
b=[0.5, 0.2;0.1, 0.05];
r=[0.1, 0.2;0.2, 0.15];
r1=[0.6, 0.1;0.1, 0.1];
r2=[0.4, 0.3;0.3, 0.24];
r3=[0.5, 0.2;0.2, 0.25];
r4=[0.4, 0.3;0.3, 0.2];
r5=[0.5, 0.3;0.3, 0.3];
b1=[0.15, 0.2;0.2, 0.05];
b2=[0.2, 0.2;0.2, 0.2];
b3=[0.2, 0.2;0.2, 0.1];
b4=[0.15, 0.3;0.3, 0.2];
b5=[0.2, 0.1;0.1, 0.15];
l=[0.1, 0.2;0.1, 0.2];
l1=[0.2, 0.2;0.1, 0.3];
l2=[0.1, 0.2;0.1, 0.3];
l3=[0.1, 0.2;0.1, 0.25];
l4=[0.1, 0.2;0.1, 0.3];
l5=[0.1, 0.2;0.1, 0.26];
q=[2, 0.3;0.3, 0.7];
q1=[0.3, 0.2;0.2, 0.15];
q2=[0.35, 0.25;0.25, 0.25];
q3=[0.2, 0.2;0.2, 0.25];
q4=[0.3, 0.2;0.2, 0.28];
q5=[0.35, 0.2;0.2, 0.32];
q6=[0.5, 0.1;0.1, 0.3];
%h diafora tou ac1-ac2 pou theloume na sygklinei - ac3
ac3=[1,1;1,1];
ac1=a+b*l1+b1*l1+b2*l2+b3*l3+b4*l4+b5*l5;
t=eig(ac1)
%t einai o pinakas 2x1 pou deixnei tis idiotimes tou ac1 pou theloume |t|<1
if abs(t(1,1))>1 || abs(t(2,1))>1
    'lathos1-oi idiotimes tou ac1 den einai kata apolyto mikrotero tou 1'
    return
end
ac=ac1;

%sthn pio katv grammi thewrow ikanopoitiko arithmo sygklisis gia to ac to 0.6
while (ac3(1,1)>0.05 || ac3(1,2)>0.05 || ac3(2,1)>0.05 || ac3(2,2)>0.05)
k5=q6;
k5;
if det(k5)<=0
    'lathos mi apodekti orizousa k5'
```

```

return
end
k4=q5+ac1*(k5+k5*b5*inv(r5)*b5'*k5)*ac1;
k4;
if det(k4)<=0
    'lathos mi apodekti orizousa k4'
    return
end
k3=q4+ac1*(k4+k4*b4*inv(r4)*b4'*k4)*ac1;
k3;
if det(k3)<=0
    'lathos mi apodekti orizousa k3'
    return
end
k2=q3+ac1*(k3+k3*b3*inv(r3)*b3'*k3)*ac1;
k2;
if det(k2)<=0
    'lathos mi apodekti orizousa k2'
    return
end
k1=q2+ac1*(k2+k2*b2*inv(r2)*b2'*k2)*ac1;
k1;
if det(k1)<=0
    'lathos mi apodekti orizousa k1'
    return
end
k0=q1+ac1*(k1+k1*b1*inv(r1)*b1'*k1)*ac1;
k0;
if det(k0)<=0
    'lathos mi apodekti orizousa k0'
    return
end

'idiotimes tou ac - prepei kata apolyto <1:'
c=eig(ac)

'orizousa tou k - prepei na einai thetika orismeni:'
det(k)

if abs(c(1,1))>1 || abs(c(2,1))>1 || det(k)<=0 || k(1,1)<=0 || k(2,2)<=0 || k(1,2)~=k(2,1)
    'lathos2-oi idiotimes h i orizousa den pliroun tous periorismous'
    return
end
%tyxaia arxiki timi sto z=k1-k gia tin evresi tou K (K major)
z=[1, 1; 1, 1];

d=1;
i=0;
while d>0
    k1=q+ac*(k+k*b*inv(r)*b'*k)*ac;
    z=k1-k;
    k=k1;
    i=i+1;
    % an kanei panw apo 100 kyklous kai de sygklinei to Kmajor

```

```

if i>100
    'oxi lisi-Polles epanalipseis xwris na sygklinei to Kmajor'
    return
end
%synthikes sygklisis kai na einai symmetrikos o Kmajor
if z(1,1)<=0.05 && z(1,2)<=0.05 && z(2,1)<=0.05 && z(2,2)<=0.05 && k(1,2)==k(2,1)
    d=0;
end
end

z;
k;
if det(k)<=0
    'mi apodekti lisi';
end
%algorithmos sygklisis tw n ac gia ta Kminors me vathmo syglisis to 0.6 bl
%line 44
ac2= (inv([1 1;1
1]+b*inv(r)*b'*k+b1*inv(r1)*b1'*k1+b2*inv(r2)*b2'*k2+b3*inv(r3)*b3'*k3+b4*inv(r4)*b4'*k4+b5*inv(r5
)*b5'*k5))*a;
ac3=ac1-ac2;
ac1=ac2;
ac=ac2;
end
'To K tou major player'
k
ac3;
ac2;
'Ta K tw n minor players'
k5
k4
k3
k2
k1
k0
end

```

## B2. ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB STACKELBERG STRATEGIES

```
% Program Stackelberg_test_feedback_matrix()

function Stackelberg_test_feedback_matrix()
%to a tou systimatos opws ta bi,ri,qi,li dinontai arxika
k=[0.6, 0.05; 0.05, 0.1];
a=[0.04, 0.01;0.01, 0.025];
b=[0.5, 0.2;0.1, 0.05];
r=[0.1, 0.2;0.2, 0.15];
r1=[0.6, 0.1;0.1, 0.1];
r2=[0.4, 0.3;0.3, 0.24];
r3=[0.5, 0.2;0.2, 0.25];
r4=[0.4, 0.3;0.3, 0.2];
r5=[0.5, 0.3;0.3, 0.3];
b1=[0.15, 0.2;0.2, 0.05];
b2=[0.2, 0.2;0.2, 0.2];
b3=[0.2, 0.2;0.2, 0.1];
b4=[0.15, 0.3;0.3, 0.2];
b5=[0.2, 0.1;0.1, 0.15];
l=[0.1, 0.2;0.1, 0.2];
l1=[0.2, 0.2;0.1, 0.3];
l2=[0.1, 0.2;0.1, 0.3];
l3=[0.1, 0.2;0.1, 0.25];
l4=[0.1, 0.2;0.1, 0.3];
l5=[0.1, 0.2;0.1, 0.26];
q=[2, 0.3;0.3, 0.7];
q1=[0.3, 0.2;0.2, 0.15];
q2=[0.35, 0.25;0.25, 0.25];
q3=[0.2, 0.2;0.2, 0.25];
q4=[0.3, 0.2;0.2, 0.28];
q5=[0.35, 0.2;0.2, 0.32];
q6=[0.5, 0.1;0.1, 0.3];

%h diafora tou ac1-ac2 pou theloume na sygklinei - ac3
ac3=[1,1;1,1];
ac1=a+b*l1+b1*l1+b2*l2+b3*l3+b4*l4+b5*l5;
t=eig(ac1)
%t einai o pinakas 2x1 pou deixnei tis idiotimes tou ac1 pou theloume |t|<1
if abs(t(1,1))>1 || abs(t(2,1))>1
    'lathos1-oi idiotimes tou ac1 den einai kata apolyto mikrotero tou 1'
    return
end
ac=ac1;

%sthv pio katv grammi thewrow ikanopoitiko arithmo sygklisis gia to ac to 0.6
while (ac3(1,1)>0.05 || ac3(1,2)>0.05 || ac3(2,1)>0.05 || ac3(2,2)>0.05)
k5=q6;
k5;
if det(k5)<=0
    'lathos mi apodekti orizousa k5'
    return
end
```

```

k4=q5+ac1'*(k5+k5*b5*inv(r5)*b5'*k5)*ac1;
k4;
if det(k4)<=0
    'lathos mi apodekti orizousa k4'
    return
end
k3=q4+ac1'*(k4+k4*b4*inv(r4)*b4'*k4)*ac1;
k3;
if det(k3)<=0
    'lathos mi apodekti orizousa k3'
    return
end
k2=q3+ac1'*(k3+k3*b3*inv(r3)*b3'*k3)*ac1;
k2;
if det(k2)<=0
    'lathos mi apodekti orizousa k2'
    return
end
k1=q2+ac1'*(k2+k2*b2*inv(r2)*b2'*k2)*ac1;
k1;
if det(k1)<=0
    'lathos mi apodekti orizousa k1'
    return
end
k0=q1+ac1'*(k1+k1*b1*inv(r1)*b1'*k1)*ac1;
k0;
if det(k0)<=0
    'lathos mi apodekti orizousa k0'
    return
end

'idiotimes tou ac - prepei kata apolyto <1:'
c=eig(ac)

'orizousa tou k - prepei na einai thetika orismeni:'
det(k)

if abs(c(1,1))>1 || abs(c(2,1))>1 || det(k)<=0 || k(1,1)<=0 || k(2,2)<=0 || k(1,2)~=k(2,1)
    'lathos2-oi idiotimes h i orizousa den pliroun tous periorismous'
    return
end
%tyxaia arxiki timi sto z=k1-k gia tin evresi tou K (K major)
z=[1, 1; 1, 1];

d=1;
i=0;
while d>0
    k1=q+ac'*(k+k*b*inv(r)*b'*k)*ac;
    z=k1-k;
    k=k1;
    i=i+1;
    % an kanei panw apo 100 kyklous kai de sygklinei to Kmajor
    if i>100
        'oxi lisi-Polles epanalipseis xwris na sygklinei to Kmajor'
    end
end

```

```

    return
end
%synthikes syglisis kai na einai symmetrikos o Kmajor
if z(1,1)<=0.05 && z(1,2)<=0.05 && z(2,1)<=0.05 && z(2,2)<=0.05 && k(1,2)==k(2,1)
    d=0;
end
end

z;
k;
if det(k)<=0
    'mi apodekti lisi';
end
%algorithmos syglisis tw n ac gia ta Kminors me vathmo syglisis to 0.6 bl
%line 44
w=k1*b1*inv(r1)*b1'+k2*b2*inv(r2)*b2'+k3*b3*inv(r3)*b3'+k4*b4*inv(r4)*b4'+k5*b5*inv(r5)*b5';
ac2= (inv([1 1;1 1]+b*inv(r)*b'*inv([1 1;1
1]+w)*k+b1*inv(r1)*b1'*k1+b2*inv(r2)*b2'*k2+b3*inv(r3)*b3'*k3+b4*inv(r4)*b4'*k4+b5*inv(r5)*b5'*k5
))*a;
ac3=ac1-ac2;
ac1=ac2;
ac=ac2;
end
'To K tou major player'
k
ac3;
ac2;
'Ta K tw n minor players'
k5
k4
k3
k2
k1
k0
end

```



## Παράρτημα Γ

### Γ1 Σύντομο Βιογραφικό Συγγραφέα

Γεννήθηκε το 1982 και μεγάλωσε στην Αθήνα ενώ η καταγωγή του είναι από Ναύπακτο Αιτωλ/νίας και Τρίκαλα Θεσσαλίας. Ολοκλήρωσε τις βασικές μου σπουδές στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ. Στη συνέχεια ολοκλήρωσε τον Μεταπτυχιακό Τίτλο στα Τεχνοοικονομικά Συστήματα στο ΕΜΠ ενώ από το 2007 είμαι υποψήφιος διδάκτορας ΕΜΠ υπό την επίβλεψη και καθοδήγηση του Καθηγητή Γ. Παπαβασιλόπουλου.

Έχει διατελέσει και διατελεί visitor researcher σε Πανεπιστήμια της Βρετανίας (UCL και Imperial College) σε θέματα optimization και energy management.

Έχει διατελέσει Ειδικός Επιστημονικός Σύμβουλος της Ελληνικής Κυβερνησης 2009-2012 από τη θέση του Συμβούλου και Συντονιστή Ιδιωτικών Επενδύσεων ενώ από το 2012 είμαι ιδρυτής και γενικός διευθυντής δύο εταιρειών , της ABEC LP – Σύμβουλοι Μηχανικοί και ResNovae LP – Σύμβουλοι Επιχειρήσεων.

Στοιχεία Επικοινωνίας:

Τηλ: +306973696407

Mail: kakogiannis@abecgroup.gr

### Δημοσιεύσεις και Διεθνή Συνέδρια Συγγραφέα

#### Γ2 Journal Publications

**SPOUDAI , Journal of Economics and Business, Volume 63 , No 1-2 (2013)**

«Decision Making Process in Energy Market with Producers of Different Profiles»

**Central European Journal of Operations Research, doi: 10.1007/s10100-014-0351-x , Print ISSN 1435-246x , Online ISSN 1613-9178 , Publisher Springer Berlin Heidelberg**

«Multicriteria energy policy investments and energy market clearance via integer programming»

#### Conferences

*November 2014*

International Conference MEDPOWER 2008, Athens

Included in Proceedings of the conference and presentation to the conference participants:

«A Game Theory Decision Theoretical Tool for Assessing Electrical Power Distribution Markets»

*12-14 September 2012*

23rd National Congress of the Greek Operational Research "Management of Energy Resources / Systems"

Included in Proceedings of the conference and presentation to the conference participants:

«Decision making in energy market by implementation of game theory tools»

*27-29 June 2011*

The Fifth International Conference on Game Theory and Management, Saint Petersburg Russia

Included in Proceedings of the conference and presentation to the conference participants:

«Feedback Stackelberg Strategies for Dynamic Games with players having different time durations»

*7-10 November 2010*

7th Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion, Ayia Napa, Cyprus

Included in Proceedings of the conference and presentation to the conference participants:

«Games among Long and Short Term Electricity Producers and Users»

*19-23 June 2010*

14th International Symposium on Dynamic Games and Applications, Banff, Alberta, Canada Included in Proceedings of the conference and presentation to the conference participants:  
«Games with Long-Term and Short-Term Players»

*November 2008*

International Conference MEDPOWER 2008, Thessaloniki.

Included in Proceedings of the conference and presentation to the conference participants:  
«Energy optimization of water system with application in the area of Chania»

## REFERENCES

- [1] D. P. Bertsekas , «Dynamic Programming and Optimal Control» Second Edition , Athena Scientific-Belmont-Massachusetts , 2000
- [2] T. Basar , G. J. Olsder , «Dynamic Noncooperative Game Theory» Second Edition , SIAM Classics in Applied Mathematics, 1999
- [3] A.W. Starr , Y.C. Ho,«Further Properties of Nonzero-Sum Differential Games», JOTA: Vol. 3, No. 4, 1969, p.p 207-219
- [4] G.P. Papavassilopoulos, «On the Linear Quadratic Gaussian Nash Game with One-Step Delay Observation Sharing Pattern», IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. AC-27, No. 5, October 1982, pp. 1065-1071
- [5] D. P. Bertsekas, “Dynamic Programming and Optimal Control” 2nd ed., Athena Scientific-Belmont-Massachusetts , 2000
- [6] M.Simaan and J.B. Cruz, «On the Stackelberg in Nonzero-Sum Games», JOTA: Vol. 11, No. 5, 1973, p.p. 533-554
- [7] N.Kakogiannis , G.P. Papavassilopoulos, «Games among Long and Short Term Electricity Producers and Users», 14<sup>th</sup> Intern. Symposium on Dynamic Games and Applications , June 19th to 24th, 2010 The Banff Centre, Banff, Alberta, Canada.
- [8] N.Kakogiannis, P.Kontogiorgos, E.Sarri, G.P. Papavassilopoulos, «Games among Long and Short Term Electricity Producers and Users, Further», Medpower 2010 ,November 7th to 10th, 2010 Agia Napa, Cyprus
- [9] N.Ch.Kakogiannis and G.P.Papavassilopoulos, «Stackelberg Strategies for Dynamic Games with energy players having Different Time Durations», Fifth International Conference on Game Theory and Management, GSOM St.Petersbourg University, Russia, June 27-29, 2011
- [10] «A Nash LQG Game with an Infinite Horizon Major Player and Many Randomly Entering Minor Players of Different Time Horizons», I.P.Kordonis and G.P.Papavassilopoulos, International Society of Dynamic Games, 2011 Workshop, Padua, Italy, July 21-23,2011.
- [11] Starr, A. W., and Ho, Y. C., «Nonzero-Sum Differential Games», Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 3, No. 3, 1969.
- [12] Chen, C. I., and Cruz, J, B., Jr., «Stackelberg Solution for Two-Person Games with Biased Information Patterns», IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. AC-17, No. 6, 1972.
- [13] G.P.Papavassilopoulos, J. V. Medanic and J. B. Cruz, «On the Existence of Nash Strategies and Solutions to Coupled Riccati Equations in Linear Quadratic Games», JOTA, Vol. 28, No. 1, May 1979, pp. 49-76.
- [14] Exelby M.J. and Lucas N.J.D., «Competition in the UK market for electricity generating capacity – A game theory analysis», Energy Policy (April 1983), 348-354
- [15] Wang Qinan and Parlar Mahmut, «Static game theory models and their applications in management science», European Journal of Operational Research 42 (1989), 1-21
- [16] Krupa Joel, Jones Cameron, «Black Swan Theory: Applications to energy market histories and technologies», Energy Strategy Reviews 1 (2013), 286-290
- [17] Schuler E. Richard, «Analytic and experimentally derived estimates of market power in deregulated electricity systems: policy implications for the management and institutional evolution of the industry», Decision Support Systems 30 (2001), 341-355
- [18] Pozo D., Contreras J., Caballero A., Antonio de Andres, «Long-term Nash equilibria in electricity markets», Electric Power Systems Research 81 (2011), 329-339
- [19] Perez Eloy, «A model of vertical integration and investment in generation capacity in electricity markets: The case of the bidding game», Socio-Economic Planning Sciences 41 (2007), 272-290
- [20] Jia N.X., Yokoyama R., «Profit allocation of independent power producers based on cooperative Game theory», Electrical Power and Energy Systems 25 (2003), 633-641

- [21] Krause T., Beck E.V., Cherkaoui R., Germond A., Anderson G, Ernst D., «A comparison of Nash equilibria analysis and agent-based modeling for power markets», *Electrical Power and Energy Systems* 28 (2006), 599-607
- [22] Soleymani S., Ranjbar A.M., Shirami A.R., «Strategic bidding of generating units in competitive electricity market with considering their reliability», *Electrical Power and Energy Systems* 30 (2008), 193-201
- [23] Hu Z., Yang L., Wang Z., Gan D., Sun W., Wang K., «A game-theoretic model for electricity markets with tight capacity constraints», *Electrical Power and Energy Systems* 30 (2008), 207-215
- [24] Pettersen E., Philpott A.B., Wallace S.W., «An electricity market game between consumers, retailers and network operators», *Decision Support Systems* 40 (2005), 427-438
- [25] D.M. Reeves, M.P. Wellman, J.K. MacKie-Mason, A. Osepayshvili, «Exploring bidding strategies for market-based scheduling», *Decision Support Systems* 39 (2005), 67-85
- [26] Soleymani S., «Nash equilibrium strategies of generating companies (Gencos) in the simultaneous operation of active and reactive power market, with considering voltage stability margin», *Energy Conversion and Management* 65 (2013), 292-298
- [27] Lise W., Linderhof V., Kuik O., Kemfert C., Ostling R., Heinzow T., «A game theoretic model of the Northwestern European electricity market – market power and the environment», *Energy Policy* 34 (2006), 2123-2136
- [28] Noguchi Mitsunori, «Existence of Nash equilibria in large games», *Journal of Mathematical Economics* 45 (2009), 168-184
- [29] Liu Zhen, Zhang Xiliang, Lieu Jenny, «Design of the incentive mechanism in electricity auction market based on the signaling game theory», *Energy* 35 (2010), 1813-1819
- [30] C.G. Min, M.K. Kim, J.K. Park, Y.T. Yoon, «Game-theory-based generation maintenance scheduling in electricity markets», *Energy xxx* (2013), 1-9
- [31] Kebriaei Hamed, Rahimi-Kian Ashkan, «Decision making in dynamic stochastic Cournot games», *Mathematics and Computers in Simulation* 81 (2011), 1202-1217
- [32] Geerli L., Chen L., Yokoyama R., «Pricing and operation in deregulated electricity market by noncooperative game», *Electric Power Systems Research* 57 (2001), 133-139
- [33] Moitre Diego, «Nash equilibria in competitive electric energy markets», *Electric Power Systems Research* 60 (2002), 153-160
- [34] Song Yiqun, Ni Yixin, Wen Fushuan, Hou Zhijian, Felix F., Wu, «Conjectural variation based bidding strategy in spot markets: fundamentals and comparison with classical game theoretical bidding strategies», *Electric Power Systems Research* 67 (2003), 45-51
- [35] Kang Dong-Joo, Kim H. Balho, Hur Don, «Supplier bidding strategy based on non-cooperative game theory concepts in single auction power pools», *Electric Power Systems Research* 77 (2007), 630-636
- [36] Menniti D., Pinnarelli A., Sorrentino N., «Simulation of producers behavior in the electricity market by evolutionary games», *Electric Power Systems Research* 78 (2008), 475-483
- [37] Nojavan S., Zare K., Feyzi M.R., «Optimal bidding strategy of generation station in power market using information gap decision theory» (IGDT), *Electric Power Systems Research* 96 (2013), 56-63
- [38] DeCanio J. Stephen, Fremstad Anders, «Game theory and climate diplomacy», *Ecological Economics* 85 (2013), 177-187
- [39] Alvarado M., Rendon A.Y., «Nash equilibrium for collective strategic reasoning», *Expert Systems with Applications* 39 (2012), 12014-12025
- [40] Migheli M., «It is just escalation: The one dollar game revisited», *The Journal of Socio-Economics* 41 (2012), 434-438
- [41] Feichtinger G. and Jorgensen S., «Differential game models in management science», *European Journal of Operational Research* 14/2 (1983), 137-155