



# Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης:

Βασικές αρχές και πιλοτική εφαρμογή στον ημερήσιο ενεργειακό προγραμματισμό συστήματος συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών



**Ζαβραδινού Μαρία Κλαίρη**

Επιβλέπων Καθηγήτριας:

Ευστρατιάδης Ανδρέας, Επίκουρος Καθηγητής, ΕΜΠ

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα, Νοέμβριος 2021

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**  
**Σχολή Πολιτικών Μηχανικών**  
**Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος**

**Διπλωματική Εργασία**

---

***« Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως  
πρόβλημα προσομοίωσης:  
Βασικές αρχές και πιλοτική εφαρμογή σε σύστημα  
συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών »***

**Ζαβραδινού Μαρία Κλαίρη**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Ευστρατιάδης Ανδρέας, Επίκουρος Καθηγητής, ΕΜΠ**

**Αθήνα, Νοέμβριος 2021**

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί το τέλος της φοίτησής μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Όμως κάθε τέλος συνεπάγεται μια καινούρια αρχή, γεμάτη νέες εμπειρίες και εκπλήξεις. Η πενταετής εμπειρία μου στην σχολή ήταν ένα ταξίδι, το οποίο αν μου δινόταν η ευκαιρία, θα επέλεγα να ξαναζήσω. Πολλές χαρές, αγωνίες, νέες γνώσεις, εργασίες, διαγωνίσματα, με την κάθε πτυχή να μου διδάσκει ένα καινούριο μάθημα. Γνωρίζοντας το αντικείμενο του πολιτικού μηχανικού, άλλαξε ριζικά η εικόνα που είχα για τις προοπτικές έρευνας και εργασίας. Μάλιστα, τα τελευταία εξάμηνα στην σχολή διαμόρφωσαν την πορεία που θα επιχειρήσω να ακολουθήσω στο μέλλον, μεταβάλλοντας όσα είχα στο μυαλό μου στο παρελθόν. Σε αυτή την αναπάντεχη εξέλιξη ιδιαίτερη ήταν η συνεισφορά των καθηγητών – δασκάλων, που είχα την ευκαιρία και την τιμή να γνωρίσω και να συνεργαστώ. Με εξέχουσα εμπειρία στον τομέα ειδικεύσής τους, αγάπη και ζήλο για το αντικείμενό τους, ήταν πάντοτε στο πλευρό του μαθητή, πρόθυμοι να τον διδάξουν, να τον καθοδηγήσουν και να εξερευνήσουν μαζί του την ακαδημαϊκή του κλίση. Για τους παραπάνω λόγους, δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τους ανθρώπους που ήταν στο πλευρό μου στο απαιτητικό εγχείρημα της διπλωματικής εργασίας, καθώς και στα πέντε φοιτητικά μου χρόνια.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη για την ευκαιρία που μου προσέφερε να συνεργαστώ μαζί του στο πλαίσιο της τελευταίας φοιτητικής μου υποχρέωσης. Το πρωτότυπο θέμα που συνέλαβε και πρότεινε κατέστησε την εργασία αυτή κάθε άλλο παρά υποχρέωση, εγείροντας αναπάντεχα το ενδιαφέρον μου για τον τομέα της ενέργειας. Περισσότερο, όμως, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω, διότι απέδειξε πόσο σωστή ήταν η επιλογή μου να ακολουθήσω τον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Η αγάπη και το πάθος του για το αντικείμενο, σε συνδυασμό με την αστείρευτη όρεξή του να το μεταδώσει στους φοιτητές, ενέπνευσε πολλούς από εμάς να ασχοληθούμε με αυτό εκτενέστερα. Τον ευχαριστώ για το χρόνο που αφιέρωσε στις συναντήσεις μας και την υπομονή και επιμονή του να μου υποδεικνύει και να επεξηγεί τις αστοχίες μου κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Αυτό που ξεχώρισα στον κ. Ευστρατιάδη ήταν η διαρκής ενθάρρυνση και στήριξή του σε κάθε μου βήμα. Ακόμα και τις φορές που δεν πίστευα εγώ η ίδια στον εαυτό μου, ήταν εκεί να πιστέψει εκείνος για εμένα, να αναδείξει τις δυνατότητες και την αξία μου. Ελπίζω και εύχομαι να συνεχίσει το σπουδαίο έργο που επιτελεί στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, και να εμπνεύσει πολλούς ακόμα φιλόδοξους νέους να θέτουν υψηλούς στόχους και να τους εκπληρώνουν.

Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Υποψ. Δρ. Τζωρτζίνα Σακκή για την βοήθειά της στην πορεία εκτέλεσης της διπλωματικής μου εργασίας. Με τις γνώσεις, το έντονο ερευνητικό της ενδιαφέρον και την χαρούμενη διάθεσή της, ήταν πάντοτε πρόθυμη να με καθοδηγήσει, να υποδείξει τα λάθη μου και να ανταπεξέλθει στις πολλαπλές απορίες μου.

Να ευχαριστήσω, ακόμη, τους κ. Χρήστο Μακρόπουλο, Καθηγητή ΕΜΠ, και κ. Νικόλαο Μαμάση, Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ, για την σύλληψη και διαμόρφωση του ιδιαίτερου αυτού θέματος σε συνεργασία με τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη, Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ.

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης

Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην αναφερθώ στους γονείς και αγαπημένους μου φίλους, που δεν έφυγαν από το πλευρό μου ούτε στιγμή. Η αγάπη, η στήριξη και η έγνοια ενός κοντινού ανθρώπου είναι απαραίτητη για μια επιτυχημένη πορεία. Θέλω, λοιπόν, να τους ευχαριστήσω που με τη σειρά τους πίστεψαν σε εμένα και με έκαναν να πιστέψω περισσότερο στον εαυτό μου.

*Μαρία Κλαίρη Ζαβραδινού*

*Αθήνα, 2021*

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Ο κλάδος της ενέργειας αποτελεί τομέα στρατηγικής σημασίας για την οικονομική ευημερία μιας περιοχής. Η στόχευση για την ενεργειακή πράσινη μετάβαση στην Ελλάδα υπογραμμίζει τις προοπτικές ισχυρής ανάπτυξης του κλάδου τα προσεχή έτη. Η ενεργειακή πολιτική που διαμορφώνεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) αποσκοπεί στην επίτευξη μιας ολοκληρωμένης αγοράς ενέργειας, στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και στην βιωσιμότητα του τομέα της ενέργειας. Υπό το πρίσμα της πολιτικής αυτής, λειτουργεί το Ευρωπαϊκό Μοντέλο – Στόχος (Target Model), το οποίο προτάθηκε και εφαρμόζεται με γνώμονα τη δημιουργία ενός ενιαίου μοντέλου χονδρεμπορικής αγοράς, το οποίο αποτελεί δίαυλο μεταξύ πλεονασματικών και ελλειμματικών χαρτοφυλακίων, ενισχύει τον ανταγωνισμό και τη διαφάνεια των τιμών προς όφελος του τελικού καταναλωτή. Στο πλαίσιο των απαιτούμενων προδιαγραφών του, λειτουργεί το Χρηματιστήριο Ενέργειας, ευθύνη του οποίου είναι η λειτουργία της χονδρικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (προ-ημερήσια και ενδο-ημερήσια), καθώς και η εκκαθάρισή της.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια επισκόπηση του σύγχρονου πλαισίου της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Με την θεώρηση εικονικής χώρας και την αξιοποίηση και επεξεργασία δεδομένων ζήτησης και καιρικών φαινομένων, διαμορφώνεται το ενεργειακό μίγμα που καλύπτει τις ανάγκες ηλεκτροδότησης της υπό μελέτη περιοχής. Το καινοτόμο σύστημα που σχεδιάζεται στοχεύει στην κατά το δυνατόν βέλτιστη αξιοποίηση των εγχώριων ενεργειακών πόρων, δηλαδή της ηλιακής, αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας, με την ταυτόχρονη ενσωμάτωση στο μίγμα συμβατικών πηγών φυσικού αερίου, που εξασφαλίζουν την ενεργειακή ασφάλεια της περιοχής, εξυπηρετώντας την κάλυψη των ενεργειακών ελλειμμάτων. Διαμορφώνονται, επομένως, τέσσερις (4) παίκτες που είναι κάτοχοι μονάδων παραγωγής ενέργειας, και μέσω πιλοτικής εφαρμογής στον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό (ΗΕΠ), αναλύεται με την αξιολόγηση μέτρων επίδοσης η απόκρισή τους στα επιμέρους εναλλακτικά σενάρια λειτουργίας της αγοράς. Η επιλογή του βέλτιστου σεναρίου ερείδεται στη διαμόρφωση των συνθηκών που προσομοιάζουν την πραγματικότητα της αγοράς ενέργειας και συμμορφώνονται με τις επιταγές του Target Model.



## ABSTRACT

---

The energy sector is considered of great strategic importance for the economic prosperity of a region. The main goal of Greece's energy transition underlines the prospective growth of the sector in the following years. The European Union's (EU) energy policy aims to achieve an integrated energy market, the security of energy supply and the sustainability of the energy sector. In the light of this policy, the operation of the European Target Model was proposed and implemented with a view to creating a mutual wholesale market model, which will contribute as a channel between surplus and deficit portfolios and will enhance competition and transparency of prices, actually benefiting the final consumer. The Energy Exchange Market operates within these requirements, while being responsible for the wholesale electricity market (pre-day and intra-day), as well as the balancing market.

This dissertation consists of an overview of the current electricity market framework. Considering a virtual country, along with collecting and processing demand and weather conditions data, the energy electricity mix is formed with the objective of satisfying the electricity needs of the study area. The design of such an innovative system aims at the optimal utilization of the area's renewable sources, i.e. solar, wind and hydroelectric energy, with the simultaneous integration of conventional sources, in the mix. The inclusion of natural gas contributes to the safety of the network in energy deficit cases. As a result, four (4) players are determined as owners of power generation units, and through pilot application in the Day – Ahead Scheduling, their response to alternative market operating scenarios is examined and evaluated by performance measures. The optimal scenario is chosen based on the conditions that simulate the real energy market operation and are subject to the requirements of the Target Model.

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>	<b>5</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή .....</b>	<b>16</b>
1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας .....	16
1.2 Διάρθρωση του τεύχους .....	17
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.....</b>	<b>19</b>
2.1 Ηλεκτρική ενέργεια .....	19
2.1.1 Εισαγωγή στην ηλεκτρική ενέργεια .....	19
2.1.2 Η ηλεκτρική ενέργεια ως κοινωνικό και οικονομικό αγαθό .....	19
2.2 Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.....	20
2.3 Ευρωπαϊκή Ένωση και ενεργειακή πολιτική .....	21
2.3.1 Προκλήσεις στον τομέα της ενέργειας.....	21
2.3.2 Στόχοι ενεργειακής πολιτικής .....	22
2.4 Επισκόπηση αγοράς ενέργειας πριν την εφαρμογή του Target Model .....	22
2.4.1 Μοντέλο Υποχρεωτικής Κοινοπραξίας Ισχύος (Mandatory Pool).....	22
2.4.2 Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (ΗΕΠ) .....	23
2.4.3 Οριακές Τιμές Αγοράς.....	26
2.4.4 Μηχανισμός στήριξης των ΑΠΕ: «Feed In Premium» .....	28
2.5 Φορείς και συμμετέχοντες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.....	30
2.5.1 Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).....	31
2.5.2 Διαχειριστής ΑΠΕ και Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε.).....	32
2.5.3 Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ Α.Ε.) .....	33
2.5.4 Το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας (EXE Α.Ε.).....	33
2.6 Η απελευθέρωση της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας .....	34
2.6.1 Γενικά στοιχεία.....	34
2.6.2 Τα οφέλη της απελευθέρωσης της αγοράς .....	36
2.7 Το Ευρωπαϊκό Μοντέλο – Στόχος (Target Model) .....	38
2.7.1 Εισαγωγή .....	38
2.7.2 Γενικά στοιχεία.....	38

2.7.3	Αλλαγές σε σχέση με το προηγούμενο πλαίσιο λειτουργίας της αγοράς.....	40
2.7.4	Τα χαρακτηριστικά του Μοντέλου – Στόχου .....	40
2.7.5	Σύζευξη Αγορών (Market Coupling).....	42
2.7.6	Σύζευξη Τιμών των Περιφερειών (Price Coupling of Regions, PCR) .....	42
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η περιοχή μελέτης .....</b>		<b>44</b>
3.1	Εισαγωγή.....	44
3.2	Η επιλογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).....	44
3.3	Ηλεκτροδότηση της περιοχής μελέτης .....	45
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σχεδιασμός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας .....</b>		<b>47</b>
4.1	Εισαγωγή.....	47
4.2	Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (ΜΥΗΕ) .....	47
4.2.1	Γενικά για τα ΜΥΗΕ.....	47
4.2.2	Βασικά κριτήρια σχεδιασμού των ΜΥΗΕ .....	48
4.2.3	Τα ΜΥΗΕ στην περιοχή μελέτης.....	49
4.3	Φωτοβολταϊκό πάρκο .....	53
4.3.1	Φωτοβολταϊκά συστήματα .....	53
4.3.2	Το φωτοβολταϊκό πάρκο της περιοχής μελέτης .....	54
4.4	Αιολικό Πάρκο .....	55
4.4.1	Αιολική ενέργεια .....	55
4.4.2	Το αιολικό πάρκο της περιοχής μελέτης .....	56
4.5	Σταθμός φυσικού αερίου .....	57
4.5.1	Φυσικό αέριο .....	57
4.5.2	Σταθμός φυσικού αερίου στην περιοχή μελέτης.....	58
4.6	Το ενεργειακό μίγμα της περιοχής μελέτης .....	59
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Προσομοίωση λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας .....</b>		<b>60</b>
5.1	Εισαγωγή.....	60
5.2	Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας .....	60
5.3	Μικρά υδροηλεκτρικά έργα .....	61
5.3.1	Δεδομένα προσομοίωσης .....	61
5.3.2	Παραγόμενη ενέργεια από τα ΜΥΗΕ .....	63
5.4	Φωτοβολταϊκό πάρκο .....	66

5.4.1 Δεδομένα προσομοίωσης .....	66
5.4.2 Παραγόμενη ενέργεια από το φωτοβολταϊκό πάρκο.....	66
5.5 Αιολικό πάρκο.....	68
5.5.1 Δεδομένα προσομοίωσης αιολικού πάρκου .....	68
5.5.2 Παραγόμενη ενέργεια από το αιολικό πάρκο.....	69

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Προσομοίωση Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (HEΠ) στην  
εικονική αγορά ενέργειας..... 70**

6.1 Εισαγωγή στην προσομοίωση του HEΠ .....	70
6.1.1 Σκοπός της προσομοίωσης.....	70
6.1.2 Επίλυση προσομοίωσης μέσω της γλώσσας προγραμματισμού R.....	70
6.2 Δεδομένα προσομοίωσης HEΠ .....	71
6.2.1 Δεδομένα ζήτησης και καιρικών συνθηκών.....	71
6.2.2 Δεδομένα σταθμών παραγωγής ενέργειας.....	72
6.3 Εισαγωγή στην επίλυση του HEΠ.....	73
6.4 Βασικό Σενάριο – Κανόνες λειτουργίας .....	74
6.4.1 Εισαγωγή στο Βασικό Σενάριο .....	74
6.4.2 Παίκτες – Παραγωγοί.....	74
6.4.3 Οριακές τιμές (ΟΤΣ και ΟΤΑ).....	75
6.5 Στάδια επίλυσης Βασικού Σεναρίου.....	76
6.5.1 Προηγούμενη ημέρα (D-1): Προβλέψεις και υποβολή προσφορών .....	76
6.5.2 Προηγούμενη ημέρα (D-1): Προγραμματισμός λειτουργίας .....	77
6.5.3 Ημέρα φυσικής παράδοσης (D): Πραγματική παραγωγή .....	79
6.5.4 Ημέρα φυσικής παράδοσης (D): Πραγματική λειτουργία και εντολές κατανομής.....	79
6.5.5 Επόμενη ημέρα από τη φυσική παράδοση (D+1): Υπολογισμός αποκλίσεων.....	83
6.6 Αποτελέσματα επίλυσης HEΠ Βασικού Σεναρίου και σχολιασμός.....	84
6.7 Εκκαθάριση αγοράς με τις οριακές τιμές .....	87
6.7.1 Αποζημίωση στο πλαίσιο της DAM με την ΟΤΣ.....	87
6.7.2 Χρέωση (ή αποζημίωση) στο πλαίσιο της εκκαθάρισης αποκλίσεων με την ΟΤΑ .....	88
6.8 Μέτρα επίδοσης παικτών – παραγωγών.....	89
6.8.1 Συνολικό οικονομικό όφελος .....	89
6.8.2 Αξιοπιστία (reliability) προβλέψεων παικτών – παραγωγών.....	91
6.8.3 Ευαισθησία (vulnerability) προβλέψεων παικτών – παραγωγών.....	92

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Εναλλακτικά σενάρια επίλυσης του ΗΕΠ: Σύγκριση αποτελεσμάτων και σχολιασμός .....</b>	<b>93</b>
7.1 Εισαγωγή.....	93
7.2 Εναλλακτικό Σενάριο Α: Μεταβολή ιεραρχίας παικτών – παραγωγών.....	93
7.2.1 Εναλλαγή ιεραρχίας παικτών Βασικού Σεναρίου .....	94
7.2.2 Τυχαία ιεραρχία παικτών.....	97
7.3 Εναλλακτικό Σενάριο Β: Αλλαγή διαμόρφωσης ενεργειακού μίγματος παικτών – παραγωγών .....	100
7.3.1 Διαχείριση κινδύνου - Διαφοροποίηση χαρτοφυλακίου (portfolio diversification)...	100
7.3.2 Διαμόρφωση και επίλυση Εναλλακτικού Σεναρίου Β .....	101
7.4 Βέλτιστο σενάριο επίλυσης του ΗΕΠ στην υπό μελέτη αγορά ενέργειας .....	112
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Συμπεράσματα και προοπτικές για περαιτέρω έρευνα.....</b>	<b>113</b>
8.1 Συμπεράσματα.....	113
8.2 Προτεινόμενο σενάριο διαμόρφωσης αγοράς ενέργειας της περιοχής μελέτης.....	114
8.3 Προοπτικές για περαιτέρω έρευνα .....	115
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>117</b>
Ελληνική βιβλιογραφία .....	117
Ξένη βιβλιογραφία .....	119

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή**

### **1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας**

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η επισκόπηση του σύγχρονου πλαισίου της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η μελέτη της λειτουργίας της αγοράς ενέργειας. Με τη θεώρηση εικονικής χώρας με δεδομένες ανάγκες ηλεκτροδότησης, σχεδιάζεται ένα υποθετικό ενεργειακό μίγμα που συνδυάζει συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Με βάση αυτό, καθορίζονται οι βασικές αρχές λειτουργίας της αντίστοιχης αγοράς ενέργειας και τελείται πιλοτική προσομοίωση στο αντικείμενο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ).

Στόχος, σε πρώτη φάση, είναι η βελτιστοποίηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας κατά τον σχεδιασμό, ώστε να αξιοποιούνται κατά το βέλτιστο δυνατό βαθμό οι εγχώριοι ενεργειακοί πόροι. Ζητούμενο αποτελεί η διερεύνηση της λειτουργικότητας ενός τέτοιου συστήματος, σε όρους κάλυψης της ζήτησης και προσδιορισμού των επιμέρους συνιστωσών του (αιολικό πάρκο, φωτοβολταϊκό πάρκο, μικρά υδροηλεκτρικά έργα, σταθμός φυσικού αερίου). Σε δεύτερη φάση, στόχος της προσομοίωσης του Χρηματιστηρίου Ενέργειας είναι η διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων διεξαγωγής του προγραμματισμού και η εξαγωγή πορισμάτων σχετικά με την βέλτιστη πολιτική διαχείρισης της ενέργειας. Παράλληλα, σκοπός είναι η επιλογή του βέλτιστου σεναρίου λειτουργίας της αγοράς, η οποία θα καθοριστεί έπειτα από την αξιολόγηση μέτρων επίδοσης που αφορούν την οικονομική απόδοση των συμμετεχόντων, δεδομένης της επιχειρηματικής τους στρατηγικής για την ελάχιστη δυνατή απόκλιση του προγραμματισμού, βάσει πρόβλεψης, σε σχέση με την πραγματικότητα.

Αναλυτικότερα, οι ερευνητικοί στόχοι που τέθηκαν στην υπόψη μελέτη είναι οι εξής:

- Διαμόρφωση ενεργειακού μίγματος ηλεκτροδότησης πολλαπλών μορφών ενέργειας (ανανεώσιμων και συμβατικών), με σκοπό την διαχείριση της αβεβαιότητας και των διακυμάνσεων που διέπουν τις ΑΠΕ
- Σχεδιασμός των μονάδων παραγωγής με σκοπό την αποτελεσματική αξιοποίηση των εγχώριων ανανεώσιμων πηγών για παραγωγή ενέργειας και την επίτευξη υψηλής αξιοπιστίας σε όρους παραγωγής και κάλυψης της ζήτησης
- Διαμόρφωση παικτών – παραγωγών με συμμετοχή στο Χρηματιστήριο Ενέργειας και μελέτη της συμπεριφοράς τους στα πλαίσια του ΗΕΠ
- Διαμόρφωση και σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων κατοχής των μονάδων παραγωγής εκ μέρους των παικτών, με στόχο την βέλτιστη κατανομή των μονάδων τους για την μεγιστοποίηση του συνολικού οφέλους της αγοράς, αλλά και των επιμέρους συμμετεχόντων σε αυτήν
- Διαμόρφωση και σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων που αφορούν τους κανόνες λειτουργίας της αγοράς, όσον αφορά την ιεραρχία των παικτών στην κατανομή της ενέργειας
- Καθορισμός μέτρων επίδοσης για την ανάλυση των επιπτώσεων της πρόβλεψης στις αποκρίσεις των παικτών



- Επιλογή του βέλτιστου σεναρίου για την προσέλκυση του επενδυτικού ενδιαφέροντος στην περιοχή μελέτης

## 1.2 Διάρθρωση του τεύχους

Στην παρούσα εργασία μελετάται το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τελείται η πιλοτική προσομοίωση του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού σε εικονικό μίγμα συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το Κεφάλαιο 2 αποτελεί επισκόπηση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Γίνεται συνοπτική αναφορά στους φορείς και τους συμμετέχοντες που στελεχώνουν την ελληνική αγορά ενέργειας και μελετάται πώς το Ευρωπαϊκό Μοντέλο – Στόχος (Target Model), με γνώμονα την ενοποίηση των αγορών, συντελεί στην απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας. Συνοπτικά περιγράφεται η διαδικασία επίλυσης του ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού και ο καθορισμός των οριακών τιμών εκκαθάρισης της αγοράς.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η εικονική χώρα που αποτελεί το αντικείμενο μελέτης, καθώς και οι παραδοχές που λαμβάνονται υπόψη στην διαμόρφωσή της. Προσδιορίζονται οι συμμετέχοντες στην αγορά ενέργειας, οι οποίοι αποτελούν τους παίκτες – παραγωγούς του συστήματος. Γίνεται, μάλιστα, αναφορά στο γιατί η επένδυση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελεί καθοριστική επιλογή για την πράσινη μετάβαση.

Στο Κεφάλαιο 4 σχεδιάζονται οι μονάδες παραγωγής που θα αποτελέσουν το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) της περιοχής μελέτης. Καθορίζεται η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων και λοιπά τεχνικά χαρακτηριστικά, τα οποία θα αποβούν κρίσιμα για την οικονομική αποδοτικότητα του συστήματος και την απόκρισή του στη ζήτηση ενέργειας.

Στο Κεφάλαιο 5 προσομοιώνεται η λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσον ο σχεδιασμός του είναι ο βέλτιστος σε όρους λειτουργικότητας και απόδοσης.

Στο Κεφάλαιο 6 διερευνάται η λειτουργία της αγοράς ενέργειας μέσω πιλοτικής εφαρμογής στον ημερήσιο ενεργειακό προγραμματισμό. Διαμορφώνεται το «Βασικό Σενάριο» σύμφωνα με το οποίο γίνεται εκτενής αναφορά στα στάδια του προγραμματισμού. Η διαδικασία αυτή αποσκοπεί στην κατανόηση της επίλυσης του ΗΕΠ και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το κατά πόσον το «Βασικό Σενάριο» προσεγγίζει τις πραγματικές συνθήκες της αγοράς, ή απαιτείται η τροποποίηση και ανάπτυξή του.

Στο Κεφάλαιο 7 διαμορφώνονται εναλλακτικά σενάρια που διαφοροποιούνται από το «Βασικό Σενάριο» σε όρους στρατηγικής θέσης των παικτών παραγωγών στο Χρηματιστήριο Ενέργειας και γενικότερα σε όρους λειτουργίας της αγοράς ενέργειας. Μεταβάλλοντας ορισμένες παραμέτρους και κανόνες λειτουργίας, προκρίνεται το σενάριο που βελτιστοποιεί τα μέτρα επίδοσης που προσδιορίζονται και ταυτόχρονα μπορεί να εφαρμοστεί υπό το πρίσμα του Ευρωπαϊκού Μοντέλου – Στόχου (Target Model).

Στο Κεφάλαιο 8 συνοψίζονται οι ερευνητικοί στόχοι που επιτυγχάνονται και τα συμπεράσματα που εξάγονται από την παραπάνω διαδικασία. Συνοψίζονται οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή του βέλτιστου σεναρίου, ενώ τέλος, γίνεται αναφορά στις προοπτικές ανάπτυξης του παρόντος θέματος και τις προοπτικές μελλοντικής έρευνας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας**

### **2.1 Ηλεκτρική ενέργεια**

#### **2.1.1 Εισαγωγή στην ηλεκτρική ενέργεια**

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της καθημερινότητας του ανθρώπου. Η ιδιαιτερότητα της φύσης αυτού του προϊόντος, καθιστά την διαχείρισή του πολύπλοκη, με αυξημένες προδιαγραφές και απαιτήσεις. Έτσι, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι σύνθετα δομημένη και η λειτουργία της είναι έντονα διαφοροποιημένη από τις υπόλοιπες αγορές. Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά χαρακτηρίζονται από εποχικότητα (σε ετήσια, εβδομαδιαία και καθημερινή βάση), μακροπρόθεσμη μνήμη, απόδοση στο μέσο όρο και μια έντονα κυμαινόμενη συμπεριφορά.

Στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας συγκαταλέγονται οι παρακάτω παράγοντες:

- Τα ενεργειακά αγαθά, δηλαδή οι πρωτογενείς μορφές ενέργειας που αποτελούν το σύνολο των πρώτων υλών για την παραγωγή (π.χ. λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κ.α.)
- Τα τελικά ενεργειακά προϊόντα
- Οι υπηρεσίες παροχής ενεργειακών προϊόντων
- Οι συναφείς οικονομικές δραστηριότητες

Η ίδια η ηλεκτρική ενέργεια χαρακτηρίζεται ως δευτερογενής μορφή ενέργειας, καθώς για την παραγωγή της προηγείται η ανάλωση άλλων πηγών ενέργειας. Ένα μειονέκτημα του ηλεκτρισμού είναι ότι δεν μπορεί να αποθηκευτεί σε μεγάλη κλίμακα και σε ποσότητες που ικανοποιούν τις ενεργειακές ανάγκες των καταναλωτών, καθώς δεν υφίστανται οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμοι τρόποι αποθήκευσης του. Επομένως, είναι προφανής η ανάγκη συνεχόμενης ροής ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα, έτσι ώστε να είναι εφικτή η συνεχής εξισορρόπηση της προσφοράς με την ζήτηση.

Εν αντιθέσει του προηγούμενου μειονεκτήματος, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί με ευκολία και αποδοτικότητα, ανά πάσα στιγμή του χρόνου, γεγονός που συντέλεσε στην ανάπτυξη των σύγχρονων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ). Η ηλεκτρική ενέργεια έχει τη δυνατότητα να ρέει σε όλα τα διαθέσιμα «μονοπάτια», ενώ ταυτόχρονα επιλέγει την «συντομότερη οδό». Η ανάγκη εκτέλεσης της πορείας με την μικρότερη αντίσταση, οδηγεί στην απαίτηση ύπαρξης ενός συνδυασμού δικτύων υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης.

#### **2.1.2 Η ηλεκτρική ενέργεια ως κοινωνικό και οικονομικό αγαθό**

Η ηλεκτρική ενέργεια νοείται ως κοινωνικό αγαθό απαραίτητο για την αξιοπρεπή διαβίωση του ανθρώπου. Η πρόσβαση και η απόλαυσή του υπόκειται στην «ομπρέλα» προστασίας που ορίζει το άρθρο 2 § 1 του Συντάγματος. Έτσι, ως αγαθό ζωτικής σημασίας και οικουμενικό ανθρώπινο δικαίωμα προστατεύεται αυτοτελώς από το νόμο.

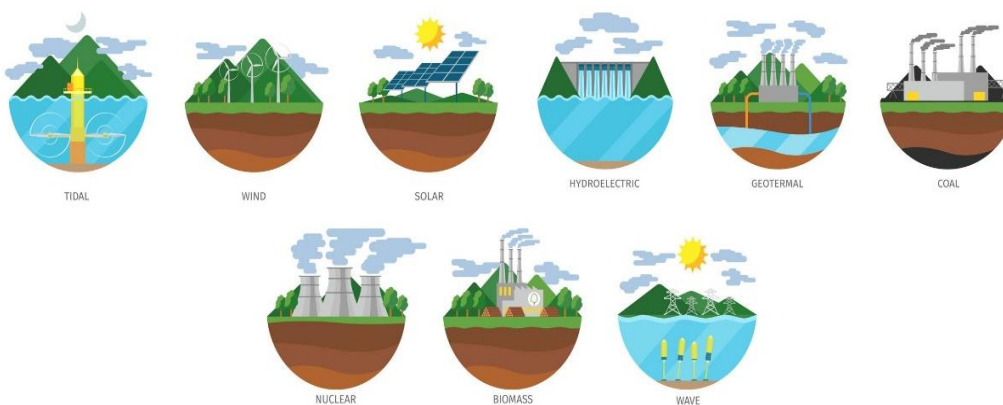
Όσον αφορά την οικονομική του φύση, αναμφίβολα, μπορεί να χαρακτηριστεί ως «εμπόρευμα» αλλά και ως «υπηρεσία», διότι εξασφαλίζει ταυτόχρονα την παραγωγή άλλων αγαθών, αλλά και την παροχή υπηρεσιών. Ως βασικός παραγωγικός συντελεστής, συνεισφέρει στην οικονομική ανάπτυξη και ευημερία, συνδέεται άρρηκτα με την κατοχύρωση της δημόσιας ασφάλειας και ενισχύει την ανταγωνιστικότητα των συμμετεχόντων στον οικονομικό τομέα.

Σε ένα άλλο επίπεδο, εξίσου σημαντικό και άξιο προσοχής, οι δραστηριότητες οι σχετιζόμενες με την ενέργεια ενδέχεται να υποβαθμίσουν την κοινωνική ευημερία. Αποτελούν πηγές περιβαλλοντικών κινδύνων, που μπορεί να αποβούν καταστροφικοί για την ανθρώπινη υγεία και να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή. Για το λόγο αυτό, η διαχείριση της ενέργειας πρέπει να γίνεται με σύνεση και κύριο γνώμονα την προάσπιση της ανθρώπινης ασφάλειας και ευημερίας.

## 2.2 Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

Για όλα τα κράτη μέλη, αποτελεί καθημερινό και μείζον ζήτημα η ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών του πληθυσμού τους: η εξισορρόπηση, δηλαδή, της παραγωγής με τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, πραγματοποιείται ενδελεχής προγραμματισμός και ανάλυση δεδομένων και καταστάσεων και τελείται ο σχεδιασμός της λειτουργίας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Για την εφαρμογή των ανωτέρω, δομείται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας των επιμέρους κρατών, της οποίας η δομή είναι σύνθετη, πολύμορφη και απαιτητική.

Έναντι στην πολυμορφία των επιμέρους αγορών ενέργειας, προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε επίπεδο ενεργειακής πολιτικής αποτελεί η δημιουργία μιας ολοκληρωμένης ευρωπαϊκής αγοράς ενέργειας. Η επίτευξη μια τέτοιας αγοράς θα βελτιστοποιήσει την οικονομική απόδοση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Θα καλλιεργήσει ένα πιο ανταγωνιστικό περιβάλλον συναλλαγών, το οποίο παράλληλα θα διασφαλίζει την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και την διασυνοριακή αλληλεγγύη, προωθώντας την ενίσχυση του μεριδίου συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα των κρατών.



Εικόνα 2.1 Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Σε μεγαλύτερη ανάλυση των στόχων της λεγόμενης ολοκληρωμένης ευρωπαϊκής αγοράς ενέργειας, πρωτεύουσα σημασία είναι ο προσιτός και ασφαλής εφοδιασμός ενέργειας των πολιτών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πιο συγκεκριμένα, όταν θα προκύπτει έλλειμμα ενέργειας σε μια χώρα, η ενέργεια που θα παράγεται σε μια άλλη χώρα θα διατίθεται στην πρώτη. Μια τέτοια λογική συνεργασίας θα διατηρεί τις τιμές σε προσιτά, αλλά και ανταγωνιστικά επίπεδα. Παράλληλα, θα δίνεται το δικαίωμα στους καταναλωτές να επιλέγουν τον προμηθευτή ενέργειας της επιθυμίας τους, αξιολογώντας κατά κύριο λόγο τις προδιαγραφές εκείνες που θα διαμορφώνονται προς όφελός του.

Τα παραπάνω αποτελούν καθοριστικούς πυλώνες για την ευρωπαϊκή ενεργειακή μετάβαση σε ένα αποτελεσματικότερο και καθαρότερο ενεργειακό περιβάλλον. Φυσικά, για την εκπλήρωση των στόχων αυτών απαιτείται τόσο η ανάπτυξη των απαραίτητων υποδομών, όσο και η ευθυγράμμιση των νομοθετικών πλαισίων των επιμέρους αγορών ενέργειας των κρατών μελών. Για το λόγο αυτό συστάθηκε και εφαρμόστηκε ένα νέο ενιαίο μοντέλο λειτουργίας της αγοράς, ήτοι: το λεγόμενο Ευρωπαϊκό Μοντέλο – Στόχος (Target Model).

## **2.3 Ευρωπαϊκή Ένωση και ενεργειακή πολιτική**

### **2.3.1 Προκλήσεις στον τομέα της ενέργειας**

Κύριο μέλημα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και αντικείμενο εκτενούς συζήτησης και μελέτης αποτελεί το θέμα της ενεργειακής πολιτικής των κρατών μελών που την απαρτίζουν. Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ΕΕ στον υπόψη τομέα είναι ποικίλες και ιδιαίτερα σημαντικές για την επίτευξη της πράσινης μετάβασης. Πιο συγκεκριμένα, τίθενται ζητήματα όπως η αύξηση της εξάρτησης από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους, η περιορισμένη διαφοροποίηση του χαρτοφυλακίου πηγών ενέργειας των κρατών, οι αυξανόμενες ανάγκες ζήτησης σε συνδυασμό με τις ασταθείς και υψηλές τιμές της ενέργειας. Παράλληλα, σε επίπεδο περιβάλλοντος, τα ζητήματα που απασχολούν την ΕΕ περιλαμβάνουν τις απειλές της κλιματικής αλλαγής, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των μονάδων παραγωγής σε όρους εκπομπών άνθρακα και την αργή πρόοδο που χαρακτηρίζει την ενεργειακή απόδοση των μονάδων. Τέλος, ανακύπτουν θέματα που αφορούν τις προκλήσεις που συνεπάγεται η αύξηση του μεριδίου συμμετοχής των ΑΠΕ, η ανάγκη για διαφάνεια στη λειτουργία της αγοράς και η ολοκλήρωση και ενοποίηση των ευρωπαϊκών αγορών ενέργειας.

Με κίνητρο την αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων, στο επίκεντρο της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ τίθενται στόχοι, οι οποίοι καλούνται να εκπληρωθούν με τη θέσπιση μέτρων που αποσκοπούν στην επίτευξη μιας ολοκληρωμένης αγοράς ενέργειας, την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και την ευρύτερη βιωσιμότητα του τομέα.

### 2.3.2 Στόχοι ενεργειακής πολιτικής

Η Ευρωπαϊκή Ένωση διαμορφώνει τους στόχους που θα αποτελέσουν τη βάση για την απελευθέρωση, την ολοκλήρωση και την ενοποίηση των επιμέρους ευρωπαϊκών αγορών ενέργειας. Οι πέντε (5) κύριοι στόχοι που τίθενται είναι οι εξής (2015):

1. Η διαφοροποίηση του χαρτοφυλακίου των πηγών ενέργειας με σκοπό την αλληλεγγύη και συνεργασία των χωρών της ΕΕ σε όρους ασφάλειας εφοδιασμού
2. Η λειτουργία μιας πλήρως ολοκληρωμένης εσωτερικής αγοράς ενέργειας που θα επιτυγχάνει την ελεύθερη ροή της ενέργειας στην ΕΕ μέσω κατάλληλων υποδομών και χωρίς τεχνικούς ή ρυθμιστικούς φραγμούς
3. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των μονάδων και η μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους
4. Η απαλλαγή της οικονομίας από εκπομπές άνθρακα, με στόχο την μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών (συμφωνία του Παρισιού)
5. Η προώθηση της έρευνας σε τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα και καθαρών μορφών ενέργειας για την προώθηση της ενεργειακής μετάβασης και την ενίσχυση του ανταγωνισμού

### 2.4 Επισκόπηση αγοράς ενέργειας πριν την εφαρμογή του Target Model

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας εφαρμόστηκε στην Ελλάδα την 1<sup>η</sup> Νοεμβρίου του 2020, έπειτα από 10 χρόνια καθυστέρησης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες χώρες. Έκτοτε, η ελληνική αγορά ενέργειας λειτουργεί υπό το πρίσμα του Ευρωπαϊκού Μοντέλου – Στόχου και συμμορφώνεται πλήρως με τις επιταγές του. Ακολουθεί μια συνοπτική αναφορά στο ισχύον πλαίσιο λειτουργίας της αγοράς πριν την εφαρμογή του Target Model. Με την λογική αυτή, για λόγους απλούστευσης της διαδικασίας επίλυσης, τελείται και η προσομοίωση της παρούσας εργασίας στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ).

#### 2.4.1 Μοντέλο Υποχρεωτικής Κοινοπραξίας Ισχύος (Mandatory Pool)

Πριν την εφαρμογή του Target Model, η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στήριζε τη λειτουργία της στο Μοντέλο Υποχρεωτικής Κοινοπραξίας Ισχύος (Mandatory Pool). Το μοντέλο αυτό υπαγόρευε τη διάθεση και συναλλαγή του συνόλου της ηλεκτρικής ενέργειας και των συμπληρωματικών προϊόντων αυτής που θα παραχθούν, θα καταναλωθούν και θα διακινηθούν την επόμενη ημέρα σε μια συγκεντρωτική αγορά: την χονδρεμπορική αγορά. Αποτελούσε υποχρέωση όλων των συμμετεχόντων να συμμετέχουν στην Υποχρεωτική Κοινοπραξία, ενώ οι φυσικές διμερείς συναλλαγές (physical bilateral transactions) μεταξύ τους δεν ήταν επιτρεπτές. Στο πλαίσιο του μοντέλου αυτού, η διαμετακόμιση (transit) ηλεκτρικής ενέργειας από μια περιοχή εκτός της

Ελληνικής επικράτειας σε μία άλλη, υλοποιούταν μόνο μέσω εισαγωγής (πώλησης) της εν λόγω ενέργειας στην Υποχρεωτική Κοινοπραξία και εξαγωγής (αγοράς) της από αυτήν.

## **2.4.2 Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (ΗΕΠ)**

### **2.4.2.1 Γενικά για τον ΗΕΠ**

Η χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας συνίστατο από τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό (ΗΕΠ). Με στόχο το βέλτιστο προγραμματισμό της λειτουργίας των θερμικών και υδροηλεκτρικών μονάδων παραγωγής του Συστήματος, των μονάδων ΑΠΕ και της διαθέσιμης ενέργειας από εισαγωγές, αποσκοπούσε στην κάλυψη, σε ημερήσια βάση, της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές, της ζήτησης για εξαγωγές ενέργειας εκτός των συνόρων της χώρας και των απαραίτητων Επικουρικών Υπηρεσιών. Ο ΗΕΠ λειτουργούσε με βάση το μοντέλο αγοράς της Υποχρεωτικής Κοινοπραξίας (Mandatory Pool), όπως αυτό αναλύθηκε παραπάνω.

Ενσωματώνονταν, δε, σε αυτόν οι επόμενες αγορές – μηχανισμοί, οι οποίες με την ταυτόχρονη βελτιστοποίησή τους, μεγιστοποιούσαν το κοινωνικό όφελος:

#### **I. Αγορά Ενέργειας**

Με τη λειτουργία της αγοράς ενέργειας, καλύπτονται οι ποσοτικές ανάγκες των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες της ημέρας που υπάρχει η αντίστοιχη ζήτηση. Εγχώριοι παραγωγοί ενέργειας και εισαγωγείς προσφέρουν την ενέργεια που παράγουν και αμείβονται για αυτήν. Αγοραστές είναι οι εκπρόσωποι του εγχώριου φορτίου (προμηθευτές και πελάτες) και οι εξαγωγείς (προμηθευτές και παραγωγοί).

#### **II. Αγορά Επικουρικών Υπηρεσιών**

Η αγορά επικουρικών υπηρεσιών καλύπτει άλλους είδους ανάγκες των καταναλωτών, όπως την διασφάλιση της ποιότητας και της αξιοπιστίας της τροφοδότησής τους. Οι συναλλαγές των συμμετεχόντων είναι οι ίδιες με την αγορά ενέργειας, δηλαδή προσφέρουν και αμείβονται οι εγχώριοι παραγωγοί και αγοράζουν οι εκπρόσωποι του εγχώριου φορτίου και οι εξαγωγείς.

#### **III. Μηχανισμός αγοράς για την χωροθέτηση των μονάδων παραγωγής κοντά στα κέντρα κατανάλωσης**

Σύμφωνα με αυτό το μηχανισμό, παρέχονται κίνητρα για τη χωροθέτηση νέων μονάδων παραγωγής εγγύτερα στην κατανάλωση, εφόσον υπάρχει η ανάγκη για μια τέτοια δραστηριότητα. Παραδείγματος χάριν, σε επίπεδο Ελλάδας, η παραγωγή είναι κυρίως συγκεντρωμένη στο βόρειο τμήμα της χώρας. Σε μια τέτοια κατάσταση, η συμμετοχή των παραγωγών του βορρά στην ετήσια χρέωση συστήματος θα είναι αυξημένη, ενώ παράλληλα η αμοιβή των παραγωγών στο νότιο τμήμα της χώρας θα είναι

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης

διαφοροποιημένη, όταν παρατηρούνται φαινόμενα συνωστισμού στο δίκτυο μεταφοράς ενέργειας από το βορρά στο νότο, κατά τη διάρκεια του ΗΕΠ.

Στην πιο πρακτική εφαρμογή του ΗΕΠ, κατά την επίλυση του αποφασίζεται και προσδιορίζεται για κάθε ώρα της επόμενης ημέρας ο τρόπος λειτουργίας κάθε μονάδας παραγωγής. Με βάση την πρόβλεψη της ζήτησης και την αντίστοιχη πρόβλεψη της παραγωγής των μονάδων, καταρτίζονται οι προσφερόμενες ποσότητες ενέργειας εκ μέρους των παραγωγών. Τη διαδικασία αυτή χαρακτηρίζει μια έντονη στοχαστικότητα, ειδικά όταν πρόκειται για μονάδες ΑΠΕ, οι οποίες είναι έρμια των καιρικών συνθηκών. Για το λόγο αυτό, έχουν δημιουργηθεί εξειδικευμένα μοντέλα πρόγνωσης για την αποτελεσματικότερη επίλυση του ΗΕΠ. Ο ΗΕΠ λειτουργεί με βασική επιδίωξη την μεγιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους, η οποία πηγάζει από την εξισορρόπηση προσφοράς – ζήτησης, την εξισορρόπηση, δηλαδή, του ενεργειακού ισοζυγίου και την ικανοποίηση των αναγκών για επικουρικές υπηρεσίες.

Τέλος, σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την επίλυση του ΗΕΠ, είναι οι περιορισμοί που χαρακτηρίζουν το σύστημα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περιορισμοί αυτοί ενδέχεται να περιορίζουν την ποσότητα ενέργειας που δύναται να διακινηθεί εντός των συνόρων μιας χώρας, αλλά και εκτός αυτών. Με την ενσωμάτωση, λοιπόν, στον ΗΕΠ των απαραίτητων επικουρικών υπηρεσιών και την συναξιολόγηση των τεχνικών περιορισμών του συστήματος, προσδιορίζεται η πραγματική συνολική αξία της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μαζί με τα ποσοτικά (όγκος και χρόνος κατανάλωσης), αλλά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της (συχνότητα, τάση και απαιτούμενη αξιοπιστία παροχής σε κάθε καταναλωτή).

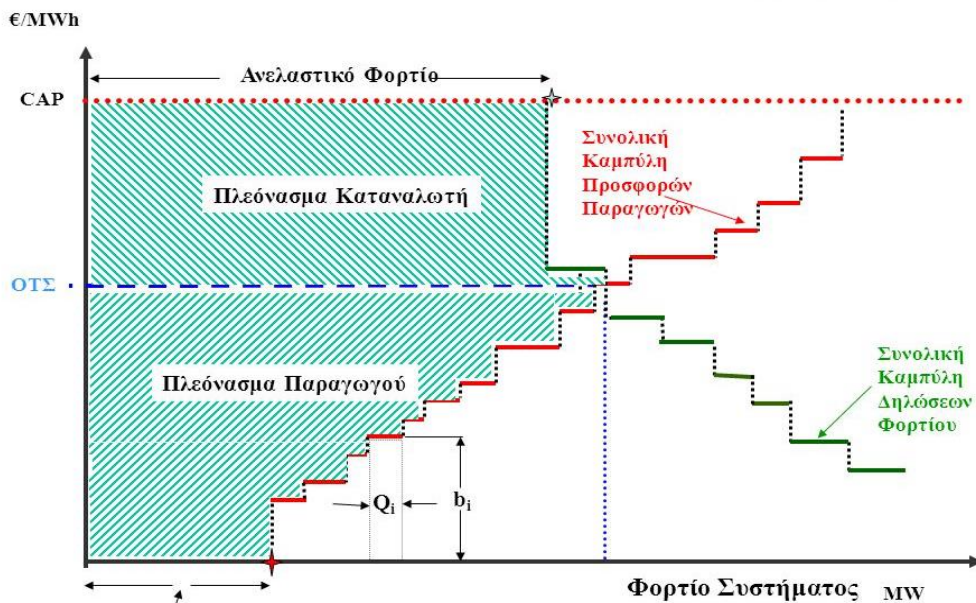
#### 2.4.2.2 Περιγραφή εκτέλεσης ΗΕΠ

Η πρώτη διαδικασία που τελείται κατά τον ΗΕΠ είναι η κατάρτιση των προσφορών της παραγωγής. Οι προσφορές για την ενέργεια γίνονται σε ωριαία βάση. Οι παραγωγοί έχοντας στη διάθεσή τους δεδομένα προβλέψεων για τις ζητούμενες ποσότητες ενέργειας της επόμενης ημέρας, προετοιμάζουν μια προσφορά παραγωγής. Αυτή εξαρτάται από τα υφιστάμενα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας τους, την ελάχιστη και μέγιστη ποσότητα ενέργειας που μπορούν να παράξουν, το κόστος έναρξης και παύσης των εργασιών της μονάδας παραγωγής, και το οριακού κόστους καυσίμου για τα διάφορα επίπεδα παραγωγής (heat rate curves). Η οικονομική προσφορά που κατατίθεται από τους παραγωγούς στον ΗΕΠ, αποτελείται από δύο συνιστώσες:

- Την τιμή της προσφοράς για παροχή ενέργειας που κατατίθεται ανά ώρα ή ανά χρονική περίοδο κατανομής, η οποία αντανakλά κατ' ελάχιστον το μεταβλητό κόστος παραγωγής κάθε μονάδας. Η τιμή επηρεάζεται από τις συνθήκες της αγοράς, δηλαδή την προσφορά και την ζήτηση.
- Την τιμή προσφοράς διαθεσιμότητας ισχύος, που αντιστοιχεί στο τεχνικό ελάχιστο της μονάδας, δηλαδή στο κόστος εκκίνησης και άεργου λειτουργίας, το ύψος του οποίου δηλώνεται από τον παραγωγό ανά συγκεκριμένη χρονική περίοδο (π.χ. ανά 6 μήνες), όπως επίσης και η διακύμανση της απόδοσης της μονάδας, άρα και του μεταβλητού κόστους ανά επίπεδο λειτουργίας (heat rate curve). Η αποδοχή προσφοράς κάτω του μεταβλητού κόστους επιτρέπεται μόνο για τη χρονική περίοδο εκκίνησης.



Κάθε παραγωγός καταθέτει μία προσφορά με συγκεκριμένη τιμή ενέργειας και συγκεκριμένο μέγεθος παραγωγής. Δηλαδή, δηλώνει ότι θα παράξει συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας, λειτουργώντας τη μονάδα παραγωγής σε συγκεκριμένο επίπεδο ισχύος και βαθμό απόδοσης, ώστε να μπορεί να καταθέσει την πλέον ανταγωνιστική τιμή που μπορεί να προσφέρει. Στην περίπτωση που κληθεί από τον Διαχειριστή να παράγει μέρος μόνο της ενέργειας που προσέφερε στον ΗΕΠ, σημαίνει ότι υποχρεούται να παράγει ενέργεια, λειτουργώντας, όμως, τη μονάδα του με χαμηλότερο βαθμό απόδοσης, γεγονός που θα μεταβάλλει και το μεταβλητό της κόστος. Για το λόγο αυτό, κατά την κατάθεση της προσφοράς στον ΗΕΠ, είναι απαραίτητο να συμπεριλαμβάνονται προσφορές διαθεσιμότητας ισχύος, οι οποίες θα αθροιστούν με την προσφορά ενέργειας στην περίπτωση που κληθεί να παράγει ποσότητες που δεν αντιστοιχούν στην αρχική προσφορά του. Οι συμπληρωματικές πληρωμές για τη διαθεσιμότητα ισχύος δεν συμπεριλαμβάνονται και δεν επηρεάζουν τον υπολογισμό της ενιαίας Οριακής Τιμής του Συστήματος (ΟΤΣ), γιατί θα δημιουργούσαν στρεβλώσεις, λόγω του ότι όλοι οι παραγωγοί θα λάμβαναν επιπλέον πληρωμές, οι οποίες δεν θα ανταποκρίνονταν στα δεδομένα τους. Η συμπληρωματική αμοιβή εκκαθαρίζεται την επόμενη μέρα στην Αγορά Αποκλίσεων, μαζί με όλες τις συμπληρωματικές αμοιβές, όπως η πληρωμή για παροχή επικουρικών υπηρεσιών, κ.λπ.



Εικόνα 2.2 Γραφική αναπαράσταση επίλυσης Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ)

Σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία υλοποιείται ο ΗΕΠ και προγραμματίζονται οι εγχύσεις ηλεκτρικής ενέργειας στο Ελληνικό Συστήμα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, καθώς και οι απορροφήσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτό, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας, ενώ παράλληλα υπολογίζεται η Οριακή Τιμή Συστήματος (βλ. Εικόνα 2.2) και εκκαθαρίζονται οι συναλλαγές.

### 2.4.3 Οριακές Τιμές Αγοράς

Οι οριακές τιμές με τις οποίες τελούνταν οι συναλλαγές Η/Ε, και οι οποίες αποτελούν το αντικείμενο σύζευξης των ευρωπαϊκών αγορών με απώτερο σκοπό την ανάπτυξη της ενοποιημένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και του Μοντέλου – Στόχου, είναι η Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ) και η Οριακή Τιμή Αποκλίσεων (ΟΤΑ), οι οποίες αναλύονται στις ακόλουθες παραγράφους.

#### 2.4.3.1 Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ)

##### I. Γενικά για την ΟΤΣ

Η Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ) είναι η τιμή στην οποία εκκαθαρίζεται η αγορά ενέργειας. Αποτελεί την ενιαία τιμή στην οποία οι προμηθευτές αγοράζουν την ενέργεια που προβλέπεται ότι θα απορροφήσουν από το Σύστημα οι πελάτες τους και με αυτήν αμείβονται, αντίστοιχα, οι παραγωγοί. Ορίζεται κάθε μήνα από τον ΛΑΓΗΕ και δημοσιοποιείται σε όλους τους παρόχους. Αν η τιμή υπερβεί το ανώτατο όριο μιας ουδέτερης ζώνης τιμών που καθορίζεται στη σύμβαση παρόχου-πελάτη, ο πάροχος χρεώνει τον καταναλωτή, ενώ στην αντίθετη περίπτωση που η τιμή κυμαίνεται υπό του κατωτάτου ορίου, τελείται πίστωση, δηλαδή παροχή πρόσθετης έκπτωσης.

Η Οριακή Τιμή Παραγωγής (ΟΤΠ) κάθε λειτουργικής ζώνης ισούται με το σκιάδωδες κόστος (πολλαπλασιαστής Lagrange) του περιορισμού του ισοζυγίου ισχύος της ζώνης. Όταν οι διαζωνικοί περιορισμοί ροής δεν είναι δεσμευτικοί, η ΟΤΣ ισούται με ΟΤΠ. Στην αντίθετη περίπτωση που οι διαζωνικοί περιορισμοί ροής είναι δεσμευτικοί, η ΟΤΣ υπολογίζεται ως ο σταθμισμένος (με την παραγωγή των ζωνών) μέσος όρος των ΟΤΠ των ζωνών.

##### II. Μεθοδολογία υπολογισμού της ΟΤΣ

Με το κλείσιμο της αγοράς, δηλαδή την εκκαθάριση, καθορίζεται η Οριακή Τιμή Συστήματος (Spot Price). Είναι η τιμή της μέγιστης οικονομικής προσφοράς, η οποία έχει συμπεριληφθεί στο πρόγραμμα φόρτισης και ικανοποιεί την προβλεπόμενη ζήτηση της επόμενης ημέρας που έχει υπολογιστεί από τον Διαχειριστή. Το πρόγραμμα φόρτισης λαμβάνει υπόψη μόνο τις οικονομικές προσφορές και όχι τα τεχνικά στοιχεία των μονάδων, και σύμφωνα με αυτό πληρώνονται όλοι οι συμμετέχοντες, με την ενιαία ΟΤΣ για τις προσφορές τους. Έτσι, ακόμη και η τελευταία μονάδα που συμπεριλήφθηκε στην κατανομή φορτίου, αλλά περιμένει συμπληρωματική πληρωμή, στην περίπτωση που κληθεί να παράγει ποσότητες ενέργειας μικρότερες από αυτές που είχε προσφέρει με άμεση συνέπεια την αύξηση του οριακού της κόστους, θα πληρωθεί στην ενιαία τιμή, η οποία θα είναι η τιμή ενέργειας που η ίδια έχει προσφέρει.

Με αυτόν τον μηχανισμό υπολογισμού Οριακής Τιμής και στην περίπτωση που η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την προσφορά ενέργειας, αποφεύγεται η χειραγώγηση των τιμών από τους κυρίαρχους της αγοράς. Ο παραγωγός είναι βέβαιος ότι θα λάβει τουλάχιστον το μεταβλητό του κόστος ως αντίτιμο της παραγωγής του, από τη στιγμή που η ίδια η προσφορά του θα έχει

υπολογιστεί με βάση το κόστος αυτό. Με αυτόν τον τρόπο, λοιπόν, η αγορά βασίζεται στο κόστος παραγωγής ενέργειας.

Έπειτα από την διαδικασία της εκκαθάρισης, οι προμηθευτές θα πρέπει να πληρώσουν την ΟΤΣ για να προμηθευτούν την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται για τους πελάτες τους. Εάν αυτή είναι μεγαλύτερη από την τιμή άσκησης του δικαιώματος προαίρεσης του Αποδεικτικού Διαθεσιμότητας Ισχύος (ΑΔΙ) που κατέχουν, τότε μπορούν ασκώντας αυτό το δικαίωμα, να ζητήσουν από τον παραγωγό, του οποίου τα ΑΔΙ κατέχουν, να τους πληρώσει τη διαφορά.

Η ΟΤΣ μπορεί να θεωρηθεί ότι μειώνει την οικονομική αποτελεσματικότητα της αγοράς, καθώς όλοι οι παραγωγοί εκτός από έναν πληρώνονται σε τιμή μεγαλύτερη από την προσφορά τους. Η διεθνής εμπειρία, όμως, έχει αποδείξει ότι όταν η πληρωμή γίνεται ανάλογα με την προσφορά, οι παραγωγοί αλλάζουν στρατηγική ως προς την κατάθεση προσφορών και δεν καταθέτουν προσφορές με βάση το οριακό τους κόστος, αλλά προσπαθούν να προβλέψουν την μέγιστη τιμή, η οποία θα γίνει αποδεκτή από την ΗΕΠ, για να καταθέσουν τις προσφορές τους με τρόπο που αυξάνει την κερδοφορία τους. Με την υιοθέτηση μιας τέτοιας μεθόδου, η αγορά Η/Ε θα ήταν ευάλωτη σε κερδοσκοπικές στρατηγικές, ιδίως από παραγωγούς με σημαντικό μερίδιο εγκατεστημένης ισχύος. Οι μεγάλοι παραγωγοί θα είχαν τη δυνατότητα να προβλέπουν, και πιθανώς να επηρεάζουν την διαμόρφωση της μέγιστης τιμής, που θα γινόταν δεκτή στην αγορά, ενώ οι μικροί παραγωγοί, λόγω των περιορισμένων οικονομικών και τεχνολογικών τους δυνατοτήτων, δε θα μπορούσαν να επωμιστούν το ρίσκο της πρόβλεψης της τιμής αυτής και να αναπτύξουν ανταγωνιστικές στρατηγικές κατάθεσης προσφορών. Η μέθοδος πληρωμής αναλόγως της προσφοράς (pay-as-bid) είναι σαφώς ευνοϊκότερη για τους μεγάλους παραγωγούς και, πράγματι, μειώνει την οικονομική αποδοτικότητα τους συστήματος.

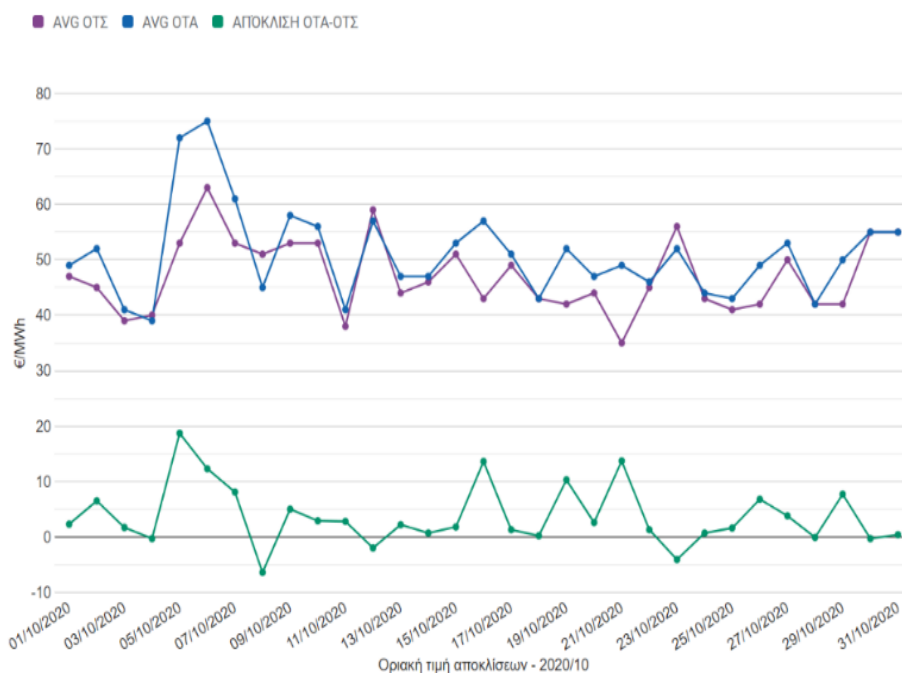
#### **2.4.3.2 Οριακή Τιμή Αποκλίσεων (ΟΤΑ)**

Η Οριακή Τιμή Αποκλίσεων (ΟΤΑ) χρησιμοποιείται στην εκκαθάριση των αποκλίσεων. Ο καθορισμός της γίνεται από το Διαχειριστή του Συστήματος για μία δεδομένη Ημέρα Κατανομής, μετά το τέλος της υπόψη ημέρας και πριν από την Ημέρα Υπολογισμού των Αποκλίσεων, κατά την οποία υπολογίζονται οι πληρωμές και οι χρεώσεις των αποκλίσεων. Στη μεθοδολογία υπολογισμού της αξιοποιούνται τα ακόλουθα δεδομένα από τον ΗΕΠ που αφορούν την Ημέρα Κατανομής:

- Προσφορές έγχυσης και προσφορές εφεδρειών για τις κατανεμόμενες μονάδες
- Δηλώσεις μη διαθεσιμότητας των μονάδων παραγωγής, όπως έχουν υποβληθεί από τους παραγωγούς
- Απαιτήσεις εφεδρειών του συστήματος, όπως έχουν τεθεί από τον Διαχειριστή του Συστήματος
- Τιμές διαζωνικών περιορισμών μεταφοράς, όπως έχουν τεθεί από τον Διαχειριστή του Συστήματος

Η μεθοδολογία υπολογισμού της ΟΤΑ υπολογίζει μία Οριακή Τιμή Αποκλίσεων Παραγωγής για κάθε Λειτουργική Ζώνη (Zonal IMbalance Price ή ZIMP) για κάθε Περίοδο Κατανομής της

Ημέρας Κατανομής. Παράλληλα, υπολογίζεται μία Οριακή Τιμή Αποκλίσεων Συστήματος (System IMbalance Price ή SIMP) ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των ZIMPs όλων των Λειτουργικών Ζωνών, παρόμοια με τον υπολογισμό της ΟΤΣ στον ΗΕΠ. Στην περίπτωση που οι περιορισμοί μεταφοράς συστήματος δεν είναι δεσμευτικοί στην επίλυση της μεθοδολογίας υπολογισμού της ΟΤΑ, οι ZIMPs είναι ίσες με την αντίστοιχη SIMP. Σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, δηλαδή κατά τις έκτακτες εισαγωγές ενέργειας σε περίπτωση ελλειμμάτων, εφαρμόζεται η Διοικητικά Οριζόμενη Μέγιστη Τιμή Προσφοράς Ενέργειας. Οι Οριακές Τιμές Αποκλίσεων των Λειτουργικών Ζωνών και του Συστήματος που υπολογίζονται από τη μεθοδολογία υπολογισμού της ΟΤΑ χρησιμοποιούνται στην εκκαθάριση των αποκλίσεων ενέργειας.



Εικόνα 2.3 Ενδεικτικά δεδομένα εξέλιξης των ΟΤΣ και ΟΤΑ για τον 10/2020 (Πηγή: ΑΔΜΗΕ)

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η ΟΤΑ κυμαίνεται κατά κύριο λόγο σε υψηλότερα επίπεδα από την ΟΤΣ, με την απόκλιση των δύο τιμών να βρίσκεται στο εύρος των 10 – 20 €/MWh.

#### 2.4.4 Μηχανισμός στήριξης των ΑΠΕ: «Feed In Premium»

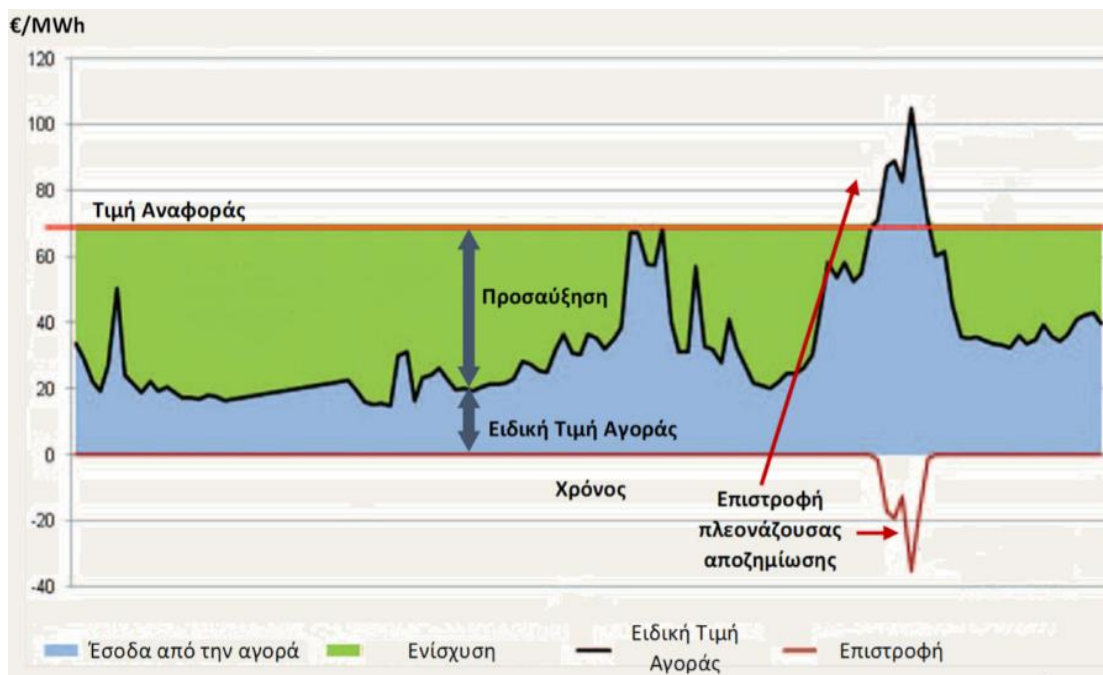
Από την 01.01.2016 για τη στήριξη των ΑΠΕ λειτουργεί ο μηχανισμός Feed In Premium (FiP), αντικαθιστώντας το σύστημα εγγυημένων τιμών. Σύμφωνα με αυτόν, κάθε παραγωγός ΑΠΕ υπογράφει Σύμβαση Διαφορικής Προσαύξησης με τον ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε. διάρκειας 20 ετών. Οι δικαιούχοι ενίσχυσης οφείλουν να πωλούν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν απευθείας στην αγορά και να υπόκεινται στις υποχρεώσεις της. Για κάθε MWh που παράγουν αποζημιώνονται κατά ένα μέρος από τη συμμετοχή τους στην αγορά, και κατά ένα μέρος από κρατική ενίσχυση. Η ενίσχυση χορηγείται ως προσαύξηση επιπλέον της αγοραίας τιμής (premium) με την οποία οι παραγωγοί πωλούν την ενέργεια στην αγορά. Το λεγόμενο «premium» προκύπτει ως η διαφορά

της Τιμής Αναφοράς (ΤΑ), η οποία προκύπτει από τις Ανταγωνιστικές Διαδικασίες Υποβολής Προσφορών, και της Ειδικής Τιμής Αγοράς (ΕΤΑ). Να σημειωθεί ότι η τα σύμβολα FiP είναι «δύο κατευθύνσεων», διότι το premium μπορεί να γίνει αρνητικό, δηλαδή να χρεωθεί για όποιο μήνα η ΕΤΑ υπερβεί την ΤΑ.

Η ΤΑ αντιστοιχεί στην τιμή ανά kWh για την οποία ένας σταθμός ΑΠΕ επιτυγχάνει μια εύλογη οικονομική απόδοση. Ο χαρακτηρισμός αυτός δίνεται με βάση το σταθμισμένο κόστος ενέργειας για ολόκληρο τον κύκλο ζωής του, όπως αυτό εκτιμάται κάθε στιγμή.

Η ΕΤΑ υπολογίζεται με βάση την ανηγμένη μηνιαία μεσοσταθμική αξία ηλεκτρικής ενέργειας της κάθε τεχνολογίας ΑΠΕ, η οποία προκύπτει σαν το άθροισμα ανά ώρα του μήνα της Οριακής Τιμής Συστήματος και των Μηχανισμών της Χονδρεμπορικής Αγοράς (ΜΧΑ), όπως ισχύουν κατά την εξεταζόμενη περίοδο. Στη μεταβατική περίοδο ανάπτυξης του Target Model και πριν την ουσιαστική εφαρμογή του, για τον υπολογισμό της ΕΤΑ λαμβάνεται υπόψη και το ωριαίο Μεσοσταθμικό Μεταβλητό Κόστος Καυσίμων Θερμικών Συμβατικών Σταθμών.

Στο διάγραμμα της *Εικόνας 2.4* γίνεται ευκολότερα αντιληπτή η λειτουργία του Feed In Premium. Όποτε η ΕΤΑ κυμαίνεται υπό της ΤΑ, δίνεται στον δικαιούχο η κρατική ενίσχυση. Όταν, δε, η ΕΤΑ υπερβεί την ΤΑ, ο παραγωγός επιστρέφει την πλεονάζουσα αποζημίωση.



**Εικόνα 2.4** Μηχανισμός Feed In Premium (FiP)

(Πηγή: Παρουσίαση Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας –Υφιστάμενη κατάσταση και εξελίξεις, Δούλος Η., Δεδομένα: ΠΑΕ)

## 2.5 Φορείς και συμμετέχοντες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

Την λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας διαμορφώνουν και οι συμμετέχοντες σε αυτήν με την αλληλεπίδρασή τους. Διακρίνονται στους ακόλουθους:

- **Παραγωγοί και Αυτοπαραγωγοί:** Οι μεν παραγωγοί κατέχουν άδεια παραγωγής για μονάδες παραγωγής εγγεγραμμένες στο μητρώο μονάδων, ενώ οι αυτοπαραγωγοί είναι επίσης κάτοχοι άδειας παραγωγής, οι οποίοι, όμως, παράγουν ενέργεια για δική τους χρήση και εγγέουν την περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα.
- **Προμηθευτές:** Οι Προμηθευτές κατέχουν την άδεια προμήθειας. Αγοράζουν ενέργεια απευθείας μέσω του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού με σκοπό την ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών τους.
- **Εισαγωγείς:** Οι εισαγωγείς κατέχουν είτε άδεια προμήθειας, ή άδεια εμπορίας. Προμηθεύονται ποσότητες ενέργειας από εξωτερικούς παραγωγούς (ή προμηθευτές) και τις εγγέουν στον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό.
- **Εξαγωγείς:** Οι εξαγωγείς έχουν τη δυνατότητα να κατέχουν άδεια προμήθειας, άδεια παραγωγής, ή άδεια εμπορίας. Προμηθεύονται ποσότητες ενέργειας από τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό και τις εξάγουν σε άλλες χώρες.
- **Πελάτες:** Οι Πελάτες καταναλώνουν την ηλεκτρική ενέργεια, έχοντας το δικαίωμα να επιλέξουν οι ίδιοι τον Προμηθευτή τους.

Για την αποτελεσματική, βέβαια, λειτουργία της αγοράς δε θα μπορούσαν να μην υφίστανται οι απαραίτητοι φορείς για την εποπτεία, τον έλεγχο και τον καθορισμό των κατευθυντήριων γραμμών. Με σκοπό την εναρμόνιση της Ελλάδας με το Μοντέλο – Στόχο και τις οδηγίες της E.E. που το συνοδεύουν, ανασυστάθηκαν οι φορείς που θα πραγματοποιήσουν την μετάβαση στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας. Εξαιτίας της πολύπλοκης φύσης της αγοράς, οι αρμοδιότητές τους είναι ποικίλες και σύνθετες και παρουσιάζονται στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου.

Οι φορείς που λειτουργούν στα πλαίσια της Ελληνικής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι οι εξής:

- Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος (ΥΠΕΝ)
- Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας (EXE A.E.)
- Διαχειριστής ΑΠΕ και Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ A.E.)
- Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ A.E.)
- Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ A.E.)
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)

Στο σχεδιάγραμμα της *Εικόνας 2.5* γίνεται μια συνοπτική αναφορά των συμμετεχόντων και των φορέων στις επιμέρους δραστηριότητες της ελληνικής αγοράς ενέργειας.



**Εικόνα 2.5** Φορείς και συμμετέχοντες στην ελληνική αγορά ενέργειας

(Πηγή: «Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας – Υφιστάμενη κατάσταση και εξελίξεις», παρουσίαση κ. Η. Δούλου, Μηχανολόγος Μηχανικός, Υπ. Δρ. ΕΜΠ)

### 2.5.1 Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) είναι μια ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή, η οποία συστήθηκε με το ν.2773/1999, στο πλαίσιο εναρμόνισης με τις Οδηγίες 2003/54/ΕΚ και 2003/55/ΕΚ για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο. Κύρια αρμοδιότητά της είναι η ευρύτερη εποπτεία της εγχώριας αγοράς ενέργειας, αλλά και η λήψη των απαιτούμενων μέτρων για την επίτευξη του στόχου της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Με το ν. 2773/1999, και τις τροποποιήσεις που ακολούθησαν, η ΡΑΕ είχε αρμοδιότητες κυρίως γνωμοδοτικές. Παράλληλα, ήταν υπεύθυνη για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της αγοράς ενέργειας σε όλους τους τομείς: την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και φυσικό αέριο. Μετέπειτα, οι αρμοδιότητές της επεκτάθηκαν και στην αγορά των πετρελαιοειδών.

Ο ν.3851/2010 επέφερε ουσιώδεις αλλαγές στο υφιστάμενο νομοθετικό καθεστώς που διέπει τις ΑΠΕ, και κατ' επέκταση τις αρμοδιότητες της ΡΑΕ στο πλαίσιο αυτό. Η ΡΑΕ, πλέον, αποκτά αυτοτελή νομική προσωπικότητα, καθώς και διοικητική και οικονομική αυτοτέλεια, επιφορτιζόμενη ταυτόχρονα με νέες, σημαντικά αυξημένες, εκτελεστικές αρμοδιότητες. Πιο συγκεκριμένα, αναλαμβάνει τα παρακάτω καθήκοντα:

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης

- Χορήγηση αδειών παραγωγής
- Προστασία των καταναλωτών
- Παρακολούθηση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας
- Εποπτεία επί των Ανεξάρτητων Διαχειριστών Μεταφοράς
- Έγκριση τιμολογίων μη ανταγωνιστικών δραστηριοτήτων
- Παρακολούθηση πρόσβασης στις ενεργειακές διασυνδέσεις
- Παρακολούθηση, εποπτεία και λήψη ρυθμιστικών μέτρων για την εύρυθμη λειτουργία των ενεργειακών αγορών

Από το 2011 και στο εξής, με την επιταγή της Τρίτης Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Δέσμης, οι εθνικές ρυθμιστικές αρχές ενέργειας ανάγονται σε «εγγυητές» της εύρυθμης λειτουργίας των ενεργειακών αγορών με το ρόλο της ΡΑΕ να αναβαθμίζεται περαιτέρω. Εποπτεύει την άσκηση των δικαιωμάτων και των υποχρεώσεων του Διαχειριστή του ΕΣΜΗΕ και των συμμετεχόντων στην αγορά σύμφωνα με τις ισχύουσες νομοθετικές διατάξεις.

### **2.5.2 Διαχειριστής ΑΠΕ και Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε.)**

Ο ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε. διαχειρίζεται τις ΑΠΕ και την Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) του Εθνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος, καθώς και τις Εγγυήσεις Προέλευσης ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν παραχθεί από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ. Πρωτεύον καθήκον του είναι ο εκπλειστηριασμός των δικαιωμάτων ρύπων στην Ελλάδα, ενώ παράλληλα λειτουργεί και ως Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης (ΦΟΣΕ) παραγωγών ΑΠΕ.

Ως μετεξέλιξη του ΛΑΓΗΕ Α.Ε., δημιουργήθηκε με σκοπό να ικανοποιήσει τις σύγχρονες προκλήσεις στον χώρο των ΑΠΕ, ενώ παράλληλα αποτελεί τον μεγαλύτερο μέτοχο στο Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας (ΕΧΕ Α.Ε.) και τον δεύτερο μεγαλύτερο πωλητή μετά τη ΔΕΗ στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας που λειτουργεί το ΕΧΕ.

Ο ΔΑΠΕΕΠ στοχεύει στην δημιουργία ενός επιχειρησιακά άρτιου λειτουργικού πλαισίου που θα προωθεί τους παραγωγούς ΑΠΕ και τους υπόλοιπους συμβαλλόμενους να επιδίδονται στην προσπάθεια για πιο πράσινες μορφές ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, οι στόχοι του συνοψίζονται στους παρακάτω:

- Αύξηση της διείσδυσης νέων ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ με εξασφάλιση της βιωσιμότητάς τους
- Εκπροσώπηση των ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και λοιπών περιβαλλοντικών προϊόντων (π.χ. Εγγυήσεις Προέλευσης) προς όφελος των επενδυτών, αλλά και των καταναλωτών
- Αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και των συνεπειών της



### **2.5.3 Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ Α.Ε.)**

Ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. συστάθηκε με τον ν. 4001/2011 και λειτουργεί ως Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς κατά τις διατάξεις της Οδηγίας 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ασκεί τις αρμοδιότητες και εκτελεί τα καθήκοντα του Κυρίου και Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ).

Ο ΑΔΜΗΕ λειτουργεί με γνώμονα την εξασφάλιση επαρκούς, αποδοτικού, αξιόπιστου και ασφαλή εφοδιασμού της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια. Για την ασφαλή ανταλλαγή ενέργειας, ο ΑΔΜΗΕ παρέχει στους Διαχειριστές των λοιπών διασυνδεδεμένων συστημάτων μεταφοράς και δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, επαρκείς πληροφορίες, ώστε να επιτυγχάνεται η αποδοτική λειτουργία τους, η συνεργασία και η συντονισμένη ανάπτυξή τους.

Παράλληλα, ο ΑΔΜΗΕ εποπτεύει τη λειτουργία της Αγοράς Εξισορρόπησης και του διασυνοριακού εμπορίου, τηρώντας και προωθώντας τις αρχές της διαφάνειας, της ισότητας και του ελεύθερου ανταγωνισμού. Είναι, δε, υπεύθυνος για την είσπραξη των τελών πρόσβασης στο σύστημα και τη διευθέτηση των χρεοπιστώσεων που του αναλογούν στο πλαίσιο του μηχανισμού αντιστάθμισης μεταξύ διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς. Όλα, επομένως, τα παραπάνω αποδεικνύουν πως ο ρόλος του είναι ιδιαίτερα κομβικός, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη θέσπιση μέτρων για την εφαρμογή της αρχής της «ίσης μεταχείρισης» για όλους τους Χρήστες του Συστήματος και τους Συμμετέχοντες στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.

### **2.5.4 Το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας (ΕΧΕ Α.Ε.)**

Ο Όμιλος Χρηματιστηρίου Ενέργειας αποτελείται από το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας Α.Ε. (ΕΧΕ Α.Ε.) και την Εταιρεία Εκκαθάρισης Συναλλαγών Χρηματιστηρίου Ενέργειας Α.Ε. (ΕΕΣΧΕ Α.Ε. ή EnExClear).

Η ίδρυση της ΕΧΕ Α.Ε. πραγματοποιήθηκε στις 18.06.2018 έπειτα από την απόσχιση του κλάδου της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας από το ΛΑΓΗΕ Α.Ε (αργότερα μετονομάστηκε σε ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε.). Αξιολογώντας την πολυετή και συνεπή εμπειρία της στη λειτουργία του Συστήματος Συναλλαγών Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού, η Ελληνική Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας την έχει ορίσει ως Ορισθείς Διαχειριστής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΟΔΑΗΕ) για τη λειτουργία της Αγοράς Επόμενης Ημέρας και της Ενδοημερήσιας Αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα, από τον Μάρτιο του 2020 και ύστερα λειτουργεί και την Ενεργειακή Χρηματοπιστωτική Αγορά ως Διαχειριστής Αγοράς Παραγώγων Ενέργειας έχοντας την έγκριση της Επιτροπής Κεφαλαιαγοράς.

Θυγατρική εταιρεία της εταιρία είναι η EnExClear, η οποία ιδρύθηκε στις 02.11.2018 και έχει ως ρόλο την εκκαθάριση και το διακανονισμό των συναλλαγών της Αγοράς Επόμενης Ημέρας και της Ενδοημερήσιας Αγοράς, αλλά και την εκκαθάριση των θέσεων της Αγοράς Εξισορρόπησης. Ο Όμιλος Χρηματιστηρίου Ενέργειας είναι, τέλος, υπεύθυνος για την οργάνωση και λειτουργία των Ελληνικών Αγορών Φυσικού Αερίου και της Αγοράς Περιβαλλοντικών Προϊόντων.

## **2.6 Η απελευθέρωση της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας**

### **2.6.1 Γενικά στοιχεία**

Στο παρελθόν η βιομηχανία της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούσε μονοπώλιο. Συγκεκριμένα, η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) ήταν καθετοποιημένη, δηλαδή είχε την αποκλειστική ευθύνη της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ενέργειας. Στη δεκαετία του 1980 παρατηρήθηκε από τους οικονομολόγους πως ένα τέτοιο μοντέλο απέιχε από τις ευρωπαϊκές και διεθνείς πολιτικές που προωθούσαν την αειφορία και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Προκειμένου, λοιπόν, να καλυφθούν οι σύγχρονες αυτές απαιτήσεις, προτάθηκε η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Μια τέτοια ενέργεια θα ωφελούσε τόσο την εθνική οικονομία, όσο τους Έλληνες παραγωγούς αλλά και τους καταναλωτές. Μάλιστα, στόχοι της απελευθέρωσης της εγχώριας αγοράς αποτελούσαν η βελτίωση των συνθηκών ανταγωνισμού, καθώς και η διαμόρφωση ενός σταθερού μοντέλου αγοράς. Το μοντέλο αυτό θα διευκόλυνε την είσοδο νέων συμμετεχόντων στην αγορά και θα καλλιεργούσε το έδαφος για νέες σημαντικές επενδύσεις.

Πλέον, η Ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας έχει μετασχηματιστεί πλήρως, προκειμένου να συμμορφώνεται με το Ευρωπαϊκό Target Model. Σε αυτό το πλαίσιο, δομείται από τέσσερις (4) επιμέρους αγορές, οι οποίες διακρίνονται ανάλογα με τα χρονικά πλαίσια αναφοράς τους (ν. 4512/2018) και αναλύονται παρακάτω.

#### **2.6.1.1 Χονδρική Αγορά Προθεσμιακών Προϊόντων Ηλεκτρικής Ενέργειας (Forward Market)**

Η χονδρική αγορά προθεσμιακών προϊόντων Η/Ε, στην οποία πραγματοποιείται η αγορά προθεσμιακών προϊόντων, μετονομάστηκε σε ενεργειακή χρηματοπιστωτική αγορά. Επιτρέπει στους συμμετέχοντες να συνάπτουν συμβόλαια (τα λεγόμενα προθεσμιακά συμβόλαια, forward contracts) έγχυσης και απορρόφησης ενέργειας σε μελλοντικές χρονικές περιόδους. Τα προθεσμιακά προϊόντα εκκαθαρίζονται είτε με φυσική παράδοση, είτε χρηματικά και η διαπραγμάτευσή τους γίνεται είτε σε οργανωμένη αγορά (πλατφόρμα), είτε εκτός (Over the Counter Market, OTC). Η συμμετοχή σε αυτή την αγορά είναι προαιρετική. Η διαχείρισή της γίνεται από τον ΟΔΑΗΕ, ενώ ο ΛΑΓΗΕ/ΕΧΕ Α.Ε. έχει ορισθεί ως ο εθνικός (μονοπωλιακός) διαχειριστής της χονδρεμπορικής αγοράς

#### **2.6.1.2 Αγορά Επόμενης Ημέρας (Day-ahead Market)**

Η αγορά αυτή επιτρέπει στους συμμετέχοντες να υποβάλλουν εντολές συναλλαγών Η/Ε με υποχρέωση φυσικής παράδοσης την επόμενη ημέρα. Οι συμμετέχοντες υποχρεούνται να προσφέρουν την πλήρη καθαρή ισχύ που έχουν στη διάθεσή τους. Στην αγορά επόμενης ημέρας δηλώνονται, επίσης, οι ποσότητες ενέργειας που έχουν δεσμευτεί μέσω διενέργειας συναλλαγών

επί προθεσμιακών προϊόντων, που έχουν πραγματοποιηθεί είτε μέσω της χονδρικής αγοράς προθεσμιακών προϊόντων, είτε εκτός αυτής. Παράλληλα, πραγματοποιείται έμμεση κατανομή (implicit allocation) της μεταφορικής ικανότητας στις διασυνδέσεις. Γίνεται επίλυση βάσει του αλγορίθμου της συζευγμένης αγοράς. Αρχικά, η επίλυση γίνεται μόνο για την εσωτερική αγορά (isolated model) και ακολούθως εφαρμόζεται η σύζευξη. Τέλος, πραγματοποιείται ενιαία επίλυση της αγοράς σε Ευρωπαϊκό επίπεδο.

Η διαχείριση αυτής της αγοράς γίνεται από τον ΟΔΑΗΕ σε συνεργασία με τον Διαχειριστή του Συστήματος. Αρμοδιότητές του είναι η επίλυση και ο υπολογισμός των καθαρών θέσεων των συμμετεχόντων, η κατανομή της δυναμικότητας των διασυνδέσεων, η εκκαθάριση και η τακτική ενημέρωση του Διαχειριστή του Συστήματος.

### **2.6.1.3 Ενδοημερήσια Αγορά (Intra-day Market)**

Η αγορά αυτή επιτρέπει στους συμμετέχοντες να υποβάλλουν εντολές συναλλαγών για φυσική παράδοση την ημέρα εκπλήρωσης φυσικής παράδοσης, μετά τη λήξη της προθεσμίας υποβολής εντολών συναλλαγών στην αγορά επόμενης ημέρας. Λαμβάνονται υπόψη οι ποσότητες ενέργειας που έχουν δεσμευτεί μέσω διενέργειας συναλλαγών επί προθεσμιακών προϊόντων ηλεκτρικής ενέργειας τις οποίες έχουν πραγματοποιήσει, τα αποτελέσματα της αγοράς επόμενης ημέρας, καθώς και τυχόν περιορισμοί που έχουν προκύψει από την αγορά εξισορρόπησης. Οι συμμετέχοντες δύνανται να προβαίνουν σε συναλλαγές προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν την απόκλιση της καθαρής θέσης τους που προκύπτει από τις συναλλαγές σε όλες τις αγορές, από τις πωλούμενες/αγορασθείσες ποσότητες σε πραγματικό χρόνο.

Η υλοποίηση της αγοράς αυτής πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Σε πρώτο στάδιο, τελούνται ενδοημερήσιες δημοπρασίες (intra-day sessions) με διαδοχικές εκκαθαρίσεις κατά τις ημέρες D-1 και D στο πλαίσιο της εσωτερικής αγοράς ή/και σε περιφερειακό επίπεδο με γειτονικές αγορές. Στο δεύτερο στάδιο, τελούνται ενδοημερήσιες συναλλαγές συνεχούς διαπραγμάτευσης (continuous intraday trading) σε συνδυασμό με ή χωρίς ενδοημερήσιες δημοπρασίες, λειτουργώντας στο πλαίσιο της σύζευξης των Ευρωπαϊκών αγορών.

Η διαχείριση της Ενδοημερήσιας αγοράς γίνεται από τον ΟΔΑΗΕ (ΛΑΓΗΕ/ EXE A.E.) σε συνεργασία με το Διαχειριστή του Συστήματος, οι οποίοι καθορίζουν τη διαθέσιμη ικανότητα μεταφοράς των διασυνδέσεων και ελέγχουν τις εντολές των συναλλαγών. Η αγορά αυτή συνδέεται με την Αγορά Επόμενης Ημέρας και την Αγορά Εξισορρόπησης, και παράλληλα συνδέεται με την πραγματική λειτουργία και τα προγράμματα κατανομής που ήδη εκτελούνται στη διάρκεια της ημέρας κατανομής.

### **2.6.1.4 Αγορά Ισχύος και Ενέργειας Εξισορρόπησης (Balancing Market)**

Η αγορά εξισορρόπησης περιλαμβάνει την αγορά ισχύος εξισορρόπησης, την αγορά ενέργειας εξισορρόπησης, καθώς και τη διαδικασία εκκαθάρισης αποκλίσεων. Αποτελεί την «ώρα» της

φυσικής παράδοσης, καθώς εξισορροπεί τις αποκλίσεις στο ενεργειακό ισοζύγιο και διασφαλίζει την ασφαλή διαχείριση και λειτουργία του Ηλεκτρικού Συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Οι Συμμετέχοντες έχουν υποχρέωση υποβολής προσφορών με υποχρέωση φυσικής παράδοσης για το σύνολο της διαθέσιμης ισχύος τους, τόσο στην αγορά ενέργειας εξισορρόπησης όσο και στην αγορά ισχύος εξισορρόπησης.

Η δομή της είναι πιο πολύπλοκη σε σύγκριση με τις υπόλοιπες αγορές, τόσο στην εμπορική, όσο και στην τεχνική της διάσταση. Στην αγορά αυτή πραγματοποιούνται η σύνδεση με τη διαδικασία της κεντρικής κατανομής, η αγορά ισχύος για απαιτήσεις εφεδρειών, η αγορά ενέργειας για την εξισορρόπηση του ισοζυγίου παραγωγής – ζήτησης και η τελική εκκαθάριση των αποκλίσεων. Διαχειριστής της είναι ο ίδιος ο Διαχειριστής του Συστήματος. Η υλοποίησή της γίνεται σε δύο στάδια: αρχικά λειτουργεί η εσωτερική Αγορά Εξισορρόπησης, ενώ σε δεύτερο στάδιο η λειτουργία γίνεται με βάση τους κανόνες του Ευρωπαϊκού Κώδικα Εξισορρόπησης (Guidelines on Electricity Balancing).

Οι τρεις πρώτες αγορές λειτουργούν υπό την επίβλεψη του Ελληνικού Χρηματιστηρίου Ενέργειας (EXE), ενώ η τελευταία έχει ανατεθεί στον ΑΔΜΗΕ. Σύμφωνα με την απόφαση του Υπουργού ΠΕΝ (ΑΠΕΗΛ/Γ/Φ1/οικ.184866), υπεύθυνο για τη σύζευξη της αγοράς επόμενης ημέρας και τη σύζευξη της ενιαίας ενδοημερήσιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι το EXE ως ο Ορισθέντας Διαχειριστής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΟΔΑΗΕ, Nominated Electricity Market Operator – NEMO).

## **2.6.2 Τα οφέλη της απελευθέρωσης της αγοράς**

Στόχος της τάσης που έχει η ΕΕ να προωθή την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας συστήνοντας συνεχώς νέες στρατηγικές αποφάσεις, είναι η επίτευξη μιας ριζοσπαστικής αλλαγής στην λειτουργία του ενεργειακού κλάδου. Όλα κινούνται με γνώμονα τα προσδοκώμενα οφέλη που μπορεί να επιφέρει μια τέτοια αλλαγή στο σύνολο των συμμετεχόντων της αγοράς.

Τα οφέλη της απελευθέρωσης της αγοράς ξεκινούν από τους παραγωγούς, οι οποίοι δύνανται να προγραμματίζουν αποτελεσματικότερα την παραγωγή των μονάδων τους, με μεγαλύτερη ακρίβεια και σε προγενέστερο χρόνο, βελτιστοποιώντας, έτσι, τη λειτουργία τους και περιορίζοντας ταυτόχρονα τη σπατάλη πόρων για την παραγωγή ενέργειας, αλλά και την σπατάλη της ίδιας της ενέργειας. Ο καλύτερος αυτός προγραμματισμός επιτυγχάνει τη μείωση του κόστους παραγωγής, ωφελώντας τους παραγωγούς σε οικονομικό επίπεδο και καλλιεργώντας το έδαφος για επενδύσεις που εκσυγχρονίζουν, διευκολύνουν και βελτιστοποιούν την παραγωγή σε όλα τα επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, προωθούνται επενδύσεις για την αυτοματοποίηση της παραγωγής, την ένταξη σύγχρονων και αποδοτικότερων μονάδων παραγωγής, τον προγραμματισμό των καυσίμων, την χρήση των υδατικών πόρων και τον προγραμματισμό της συντήρησης των μονάδων παραγωγής.

Η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής παρέχει τη δυνατότητα στους προμηθευτές να προσφέρουν στην αγορά ανταγωνιστικότερες προσφορές με νέα προϊόντα. Αυτό αυξάνει την κερδοφορία τους και, παράλληλα, παρέχει τη δυνατότητα προσφοράς πιο ολοκληρωμένων

προσφορών στους καταναλωτές. Συνοπτικά, πέραν της μείωσης των λογαριασμών του οικιακού τιμολογίου, προσφέρονται με το συμβόλαιο πακέτα για την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών στις κατοικίες με σκοπό την αποδοτικότερη διαχείριση του οικιακού δικτύου, αλλά και η δυνατότητα σύνδεσης του συμβολαίου με άλλα χρηματοοικονομικά προϊόντα (π.χ. τις ασφάλειες) και υπηρεσίες, όπως το ενοποιημένο συμβόλαιο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

Κερδισμένος δε θα μπορούσε να μην είναι και ο καταναλωτής, ο οποίος επωφελείται από μειωμένα τιμολόγια, δηλαδή την ουσιαστική πρόσβαση σε φτηνότερη ενεργεία. Επίσης, με την εγκατάσταση των έξυπνων μετρητών είναι εφικτός ο καλύτερος προγραμματισμός των ενεργειακών του αναγκών. Τέλος, τα ενοποιημένα πακέτα των δύο ενεργειακών προϊόντων (ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου) επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση του οικονομικού σχεδιασμού του καταναλωτή ανάλογα και με το κόστος της κάθε μορφής ενέργειας, και, έτσι, την ευκολότερη και καλύτερη εποπτεία και διαχείριση των λειτουργικών του εξόδων.

Τα παραπάνω οφέλη που αφορούν τους επιμέρους συμμετέχοντες της αγοράς ενισχύει και η λήξη των μονοπωλίων ηλεκτρικής ενέργειας που επιφέρει η απελευθέρωση της αγοράς Η/Ε και η σύζευξη των εθνικών αγορών μέσω των διασυνδέσεων των χωρών. Με την ενοποίηση των αγορών αυξάνεται ο διασυνωριακός ανταγωνισμός, προσελκύοντας περισσότερους συμμετέχοντες στην αγορά. Παρέχονται, επομένως, στους πελάτες περισσότερες επιλογές παρόχων, δικαιότερες και ανταγωνιστικότερες τιμές.

Τέλος, ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμβολή της ενοποίησης των αγορών στην εξασφάλιση της συνολικής ποιότητας του ενεργειακού εφοδιασμού της Ευρώπης. Επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων, προωθούνται επενδύσεις στον ενεργειακό τομέα και εφαρμόζονται αξιόπιστα συστήματα μεταφοράς και διανομής ενέργειας. Περιορίζεται η εξάρτηση από μια χώρα, ένα καύσιμο, ή έναν έμπορο ανοίγοντας στην ΕΕ τον δρόμο για την επίτευξη του στόχου μιας παγκοσμιοποιημένης οικονομίας. Έτσι, καλλιεργείται το έδαφος για συνεργασία των κρατών – μελών και αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των κρίσεων μεταξύ τους.

Σε επίπεδο περιβάλλοντος, η ενεργειακή αυτή πολιτική εξυπηρετεί τους στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης. Αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για το διεθνή στόχο της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), και μαζί με την αγορά ρύπων, περιορίζουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των σύγχρονων κοινωνιών. Το σύστημα αυτό λειτουργεί ως καταλύτης για την ισχυροποίηση της προσπάθειας επίτευξης των περιβαλλοντικών στόχων της ΕΕ. «Μια ενοποιημένη αγορά ενέργειας θα επιτρέψει στις ευρωπαϊκές χώρες να παρουσιάζονται συντεταγμένες για τα διεθνή ενεργειακά θέματα και να αντιμάχονται τις πολιτικές άρνησης της κλιματικής αλλαγής» (Νάντση, 2019).

## 2.7 Το Ευρωπαϊκό Μοντέλο – Στόχος (Target Model)

### 2.7.1 Εισαγωγή

Από την 1<sup>η</sup> Νοεμβρίου του 2020 ξεκίνησε να εφαρμόζεται πιλοτικά στην Ελλάδα το Ευρωπαϊκό Μοντέλο – Στόχος (Target Model), το οποίο σηματοδοτούσε την εκκίνηση μιας νέας εποχής για την ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και με δέκα χρόνια καθυστέρηση σε σχέση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, τελικά λειτουργεί συνυφασμένο με τη λογική της κοινής αρχιτεκτονικής λειτουργίας της αγοράς. Η Ελλάδα συμμορφώνεται σε μια θεμελιώδη υποχρέωσή της απέναντι στην ΕΕ που εδώ και χρόνια προωθούσε τη δημιουργία μιας ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η αγορά αυτή αποσκοπεί στην άρση των περιορισμών στις συναλλαγές μέσω διασύνδεσης των επιμέρους εθνικών αγορών και κατ' επέκταση τη διασφάλιση ίσης πρόσβασης σε όλους με απώτερο σκοπό την ικανοποίηση και το όφελος του τελικού καταναλωτή. Τα ανωτέρω θα επιτευχθούν μέσω της αποδοτικής διαμόρφωσης των τιμών και τον περιορισμό των στρεβλώσεων, τα οποία καθιστά εφικτά το Target Model. Τα σταδιακά οφέλη που θα προκύψουν συνοψίζονται στα εξής:

- Προώθηση του ανταγωνισμού των συμμετεχόντων
- Σύγκλιση των τιμών της ελληνικής αγοράς με τις γειτονικές
- Διαφανές πλαίσιο για το κόστος της αγοράς
- Εξασφάλιση ποιοτικής λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της αποδοτικότερης χρήσης των διασυνδέσεων
- Βελτίωση της ρευστότητας των επιμέρους αγορών
- Ευκολότερη πρόσβαση σε οικονομικότερες πηγές ενέργειας
- Αυξημένη δυνατότητα συναλλαγών (εισαγωγών – εξαγωγών) ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ

### 2.7.2 Γενικά στοιχεία

Κύριο μέλημα του Οργανισμού για την Συνεργασία των Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας (ΟΣΡΑΕ, Agency for the Cooperation of Energy Regulators - ACER) αποτελεί η ενοποίηση των ευρωπαϊκών αγορών. Η ανάγκη για μια κοινή αρχιτεκτονική λειτουργίας που θα προωθούσε τον ανοιχτό και δίκαιο ανταγωνισμό ήταν η δημιουργία του ενιαίου Ευρωπαϊκού μοντέλου αγοράς, γνωστό και ως Μοντέλο – Στόχος (Target Model). Η Ευρωπαϊκή πολιτική για την επίτευξη μιας ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και κατ' επέκταση της εφαρμογή του Μοντέλου – Στόχου (Target Model), συνιστά τη διάρθρωσή της στις παρακάτω τέσσερις (4) αγορές:

1. Αγορά επόμενης ημέρας (Day-Ahead Market)
2. Ενδοημερήσια αγορά (Intra-Day market)
3. Προθεσμιακή αγορά (Forward Market)
4. Αγορά εξισορρόπησης (Balancing Market)

Η διάρθρωση και η λειτουργία των ανωτέρω αγορών παρουσιάστηκε και αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο του τεύχους.

Με την εφαρμογή αυτού του μοντέλου οι αγορές γίνονται διακριτές με σκοπό την αποδοτική διαμόρφωση των τιμών ανά προσφερόμενη υπηρεσία. Η δυνατότητα που παρέχεται σε παραγωγούς και προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας να συμμετάσχουν σε περισσότερες αγορές με περισσότερα προϊόντα και υπηρεσίες, επιτρέπει την καλύτερη διαχείριση των αποκλίσεων των χαρτοφυλακίων τους. Μάλιστα, με την λειτουργία της Προθεσμιακής Αγοράς θα μπορούν να διαπραγματεύονται συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης με σκοπό την αντιστάθμιση του κινδύνου.

Με βασική του επιδίωξη την εξισορρόπηση μεταξύ προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, το Μοντέλο – Στόχος επιτυγχάνει τον αποτελεσματικό σχεδιασμό ενδοημερήσιων αγορών για τον ορθό καταμερισμό της δυναμικότητας των διασυνδέσεων. Έτσι, πραγματοποιείται καλύτερη διαχείριση στις περιπτώσεις αιχμών φορτίου ή στοχαστικών διακυμάνσεων των ΑΠΕ. Παράλληλα, με τη δημιουργία μιας διευρυμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας μέσω συντονισμένων πρακτικών των Διαχειριστών των Συστημάτων, αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση της χρήσης της δυναμικότητας του Συστήματος Μεταφοράς. Έτσι, η πιθανότητα ελλείμματος ενέργειας σε μία χώρα αντισταθμίζεται από το πλεόνασμα μιας άλλης χώρας με όρους αγοράς, περιορίζοντας συνολικά και το ενεργειακό κόστος.

Υπό αυτό το πρίσμα, επιτυγχάνεται και η σταδιακή σύγκλιση των τιμών ενέργειας της ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς. Με αυτή τη συντονισμένη προσέγγιση αμβλύνονται οι διαφοροποιήσεις των τιμών μεταξύ των αγορών, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε πιο αποτελεσματικές ροές ενέργειας. Η επίτευξη αξιόπιστων τιμών και ρευστότητας στον καταμερισμό της δυναμικότητας των διασυνδέσεων για την αγορά της επόμενης ημέρας είναι ένας από τους βασικούς στόχους του Target Model.

Η αποτελεσματικότητα των διασυνοριακών ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας και η ομαλή λειτουργία των χονδρεμπορικών αγορών ενέργειας καθιστούν απαραίτητη την εφαρμογή εναρμονισμένων κανόνων μεταξύ των κρατών. Οι κατευθυντήριες γραμμές – πλαίσια (Framework Guidelines), που εκδίδονται από τον ACER, και οι κώδικες δικτύου (Network Codes), που εκδίδονται από τον Ευρωπαϊκό Δίκτυο των Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (ENTSO-E) και εγκρίνονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, αποτελούν τις βάσεις για το Ευρωπαϊκό Μοντέλο – Στόχο. Υπεύθυνες για την εφαρμογή του νομικού πλαισίου που διασφαλίζει τη λειτουργία, την ακεραιότητα και τη διαφάνεια της αγοράς ενέργειας είναι η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (PAE) και η Επιτροπή Κεφαλαιαγοράς (EK), οι οποίες συνεργάζονται για την επίτευξη των αρμοδιοτήτων τους και του εποπτικού τους ρόλου, σύμφωνα πάντα με το δίκαιο της ΕΕ.

### 2.7.3 Αλλαγές σε σχέση με το προηγούμενο πλαίσιο λειτουργίας της αγοράς

Το ισχύον πλαίσιο λειτουργίας της αγοράς έως και τον Οκτώβριο του 2020, βασιζόταν στην επίλυση του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (HEΠ). Ο προγραμματισμός της λειτουργίας των μονάδων παραγωγής (σε 24ωρη βάση), με γνώμονα την αποτελεσματική και ασφαλή και λειτουργία του συστήματος και τον περιορισμό των συνολικών δαπανών, αποτελούσε τον κύριο στόχο του HEΠ. Το Target Model έρχεται να αντικαταστήσει τον HEΠ ως μοντέλο με ουσιαστικές διαφοροποιήσεις και, κατ' επέκταση, μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα.

Σε όρους διαμόρφωσης της αγοράς, με τη δημιουργία αγορών που λειτουργούν σε διαφορετικά χρονικά πλαίσια και εξασκούν διαφορετικούς ρόλους ενισχύεται η ασφάλεια των συναλλαγών και ταυτόχρονα περιορίζεται η δυνατότητα χειραγώγησης των συμμετεχόντων. Στο νέο μοντέλο, και σε αντίθεση με τον HEΠ, εισάγεται και λειτουργεί η Ενδοημερήσια Αγορά. Η, δε, νέα Αγορά Εξισορρόπησης αντικαθιστά τον μηχανισμό εκκαθάρισης αποκλίσεων του HEΠ. Επομένως, οι συναλλαγές πλέον λαμβάνουν χώρα πλησιέστερα στον πραγματικό χρόνο λειτουργίας. Η Αγορά Επόμενης Ημέρας αποτελεί αγορά μόνο ενέργειας, ενώ οι συμπληρωματικές υπηρεσίες διαχωρίζονται σε ξεχωριστές διαδικασίες, με αποτέλεσμα οι τιμές να αντικατοπτρίζουν αποκλειστικά το κόστος ενέργειας. Τέλος, η εκκαθάριση των αγορών του EXE υλοποιείται σε ημερήσια βάση από εκκαθαριστικό οίκο (EnExClear), γεγονός που συνεπάγεται τον περιορισμό των χρηματοπιστωτικών κινδύνων.

Όσον αφορά ευρύτερα τη λειτουργία του νέου μοντέλου, ενθαρρύνεται ο ανοικτός και δίκαιος ανταγωνισμός μεταξύ των συμμετεχόντων. Δεν υφίσταται κατώτατο όριο προσφορών βάσει ελάχιστου μεταβλητού κόστους παραγωγής, όπως ίσχυε στο παρελθόν. Παράλληλα, διευρύνονται οι δυνατότητες συνεργασίας των μερών λόγω της εισαγωγής διμερών συναλλαγών στην Αγορά Επόμενης Ημέρας. Τέλος, αναπτύσσεται ένας κοινός Ευρωπαϊκός αλγόριθμος, ο οποίος επιτρέπει την εκχώρηση της μεταφορικής ικανότητας των διασυνδέσεων με τις συζευγμένες αγορές (αρχικά της Ιταλίας και στη συνέχεια της Βουλγαρίας). Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι ροές ενέργειας στις συζευγμένες διασυνδέσεις θα εξορθολογίζονται, οδηγώντας σε μεγαλύτερη σύγκλιση τιμών και περιορίζοντας σημαντικά τις αντισυμβαλλόμενες ροές ενέργειας.

### 2.7.4 Τα χαρακτηριστικά του Μοντέλου – Στόχου

Τα πέντε (5) κύρια χαρακτηριστικά του Ευρωπαϊκού Μοντέλου – Στόχου είναι:

#### 1. Μεθοδολογία υπολογισμού δυναμικότητας

Οι Εθνικές Ρυθμιστικές Αρχές έχουν τη δυνατότητα αφού πρώτα αναθεωρούν, στη συνέχεια να εγκρίνουν τον όγκο των ετήσιων δικαιωμάτων δυναμικότητας και τις αρχές που διέπουν την κατανομή της δυναμικότητας σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Οι



Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης

μεθοδολογίες υπολογισμού της δυναμικότητας που ορίζονται από το μοντέλο είναι οι ακόλουθες:

- Μέθοδος διαθέσιμης ικανότητας μεταφοράς (Available Transfer Capacity, ATC)
- Μέθοδος με βάση τις ροές των δικτύων (Flow Based, FB)

## **2. Μακροχρόνια δικαιώματα μεταφοράς**

Το μοντέλο ορίζει την ανάπτυξη των διασυνοριακών αγορών βάσει εναρμονισμένων μακροπρόθεσμων δικαιωμάτων για πρόσβαση στη δυναμικότητα των διασυνδέσεων.

## **3. Σύζευξη τιμής επόμενης ημέρας (day-ahead price coupling)**

Η σύζευξη των τιμών επιτυγχάνεται με έμμεσες δημοπρασίες (implicit auctions), όπου οι ροές ενέργειας υπολογίζονται σύμφωνα τόσο με την τιμή, όσο και με την ικανότητα διασύνδεσης. Με τη μέθοδο σύζευξης των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας, η σύγκλιση των τιμών θα επιτυγχάνεται όταν διασφαλίζεται επάρκεια διασυνοριακής δυναμικότητας. Η εφαρμογή του μηχανισμού σύζευξης των τιμών σε ολόκληρη την Ευρώπη (European Price Coupling, EPC) στοχεύει στη μεγιστοποίηση της συνολικής απόδοσης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, παρέχοντας ροές ηλεκτρικής ενέργειας από περιοχές χαμηλής τιμής σε περιοχές υψηλής τιμής.

## **4. Συνεχείς ενδοημερήσιες συναλλαγές (continuous intraday trading)**

Η ενδοημερήσια αγορά επιτρέπει στους συμμετέχοντες να αγοράζουν ή να πωλούν ενέργεια έτσι ώστε να βελτιστοποιήσουν τις θέσεις τους, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τις αποκλίσεις τους σε πραγματικό χρόνο. Η δημιουργία μιας ενιαίας Ευρωπαϊκής πλατφόρμας για τις ενδοημερήσιες αγορές στοχεύει στο σχεδιασμό των ενδοημερήσιων αγορών για τον καταμερισμό της δυναμικότητας των διασυνδέσεων. Μέσω συνεχών έμμεσων συναλλαγών (continuous implicit trading) θα καθορίζεται ο τρόπος τιμολόγησης της δυναμικότητας των διασυνδέσεων με την απαίτηση να αντανακλάται στην τιμή η συμφορά τους.

## **5. Εξισορρόπηση ηλεκτρικής ενέργειας**

Η εξισορρόπηση της ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει τη διασφάλιση εφεδρειών, την ενεργοποίηση ενέργειας εξισορρόπησης και τη διευθέτηση της ανισορροπίας των ενεργειακών ισοζυγίων. Με την εφαρμογή του μοντέλου προωθείται ο μεγαλύτερος επιμερισμός των πόρων εξισορρόπησης μεταξύ των Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς, των οποίων καθήκον είναι η εναρμόνιση των προϊόντων εξισορρόπησης και των προϊόντων εφεδρειών, λαμβάνοντας υπόψη τοπικές τεχνικές ιδιαιτερότητες.

### **2.7.5 Σύζευξη Αγορών (Market Coupling)**

Πριν την εφαρμογή του Target Model, η διασυνοριακή δυναμικότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η ηλεκτρική ενέργεια αγοράζονταν ξεχωριστά. Έτσι, ένα διαπραγματευόμενο μέλος έπρεπε να διατηρήσει τη διασυνοριακή δυναμικότητα σε ένα πρώτο βήμα, προτού την αξιοποιήσει για να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια που αγοράστηκε σε ένα δεύτερο βήμα.

Μετά την πλήρη λειτουργία των αγορών του Target Model, μια πολιτική που εισήγαγε και προωθήει στα πλαίσια της εφαρμογής του, είναι η Διασύνδεση των Αγορών (Market Coupling)· η σύζευξη, δηλαδή, των αγορών των Χρηματιστηρίων Ενέργειας των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στο πλαίσιο της Ελλάδας, ακολουθεί το αμέσως επόμενο διάστημα η σύζευξη (coupling) της εγχώριας αγοράς με τις αγορές της Ιταλίας και της Βουλγαρίας.

Υπό το πρίσμα της διασύνδεσης των αγορών, σε επίπεδο αγοράς επόμενης ημέρας διενεργούνται δημοπρασίες (auctions), ενώ σε επίπεδο ενδοημερήσιας αγοράς πραγματοποιείται συνεχής συναλλαγή (continuous trading). Με τις έμμεσες αυτές διαδικασίες οι συμμετέχοντες στην αγορά δεν λαμβάνουν μεμονωμένα κατανομές διασυνοριακής δυναμικότητας, αλλά υποβάλλουν προσφορά για την ηλεκτρική ενέργεια στο Χρηματιστήριο με τη διαζωνική δυναμικότητα να κατανέμεται τελικά σε διαφορετικές ζώνες προσφοράς πανευρωπαϊκά. Στη συνέχεια, κατά τον υπολογισμό των τιμών λαμβάνεται υπόψη η διαθέσιμη διασυνοριακή δυναμικότητα, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά τιμής σε διαφορετικές περιοχές της αγοράς.

Με αυτόν τον τρόπο, η πρακτική του Market Coupling συμβάλλει στη μεγιστοποίηση της κοινωνικής ευημερίας και την αποφυγή του τεχνητού διαχωρισμού των αγορών. Παράλληλα, καθορίζει το πιο σχετικό σήμα τιμών για επενδύσεις σε διασυνοριακές δυνατότητες μεταφοράς. Τέλος, η αποτελεσματικότητα της συζευγμένης αγοράς αποδεικνύεται από την αυξανόμενη σύγκλιση των τιμών μεταξύ των περιοχών της αγοράς.

### **2.7.6 Σύζευξη Τιμών των Περιφερειών (Price Coupling of Regions, PCR)**

Ζωτικής σημασίας για την επίτευξη του συνολικού στόχου της ΕΕ για μια εναρμονισμένη ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η σύζευξη των τιμών ενέργειας των κρατών μελών της ΕΕ. Η Σύζευξη Τιμών των Περιφερειών (Price Coupling of Regions, PCR) αποτελεί ακόμα μια πτυχή του Ευρωπαϊκού Μοντέλου. Είναι έργο των Ευρωπαϊκών Χρηματιστηρίων Ενέργειας με στόχο την εύρεση και ανάπτυξη μιας κοινής μεθοδολογίας σύζευξης τιμών που θα υπολογίζει τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη την Ευρώπη, λαμβάνοντας υπόψη τη δυναμικότητα των σχετικών στοιχείων του δικτύου σε καθημερινή βάση.

Η ολοκληρωμένη ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να αυξήσει τη ρευστότητα, την αποδοτικότητα και την κοινωνική ευημερία. Παράλληλα, η πολιτική του PCR αποσκοπεί στη διαχείριση του επιχειρηματικού κινδύνου. Με βασική επιδίωξη την μείωση της έκθεσης των εμπλεκόμενων στην αγορά στις διακυμάνσεις των τιμών, λειτουργεί και η οργανωμένη αγορά

προθεσμιακών ανταλλαγών ενεργειακών προϊόντων (ενεργειακή χρηματοπιστωτική αγορά/αγορά παραγωγών).

Το έργο εκτελείται επί του παρόντος από εννέα (9) χρηματιστήρια ενέργειας: EPEX SPOT, GME, HEnEx, Nasdaq, Nord Pool, OMIE, OPCOM, OTE και TGE και χρησιμοποιείται για τη σύζευξη των ακόλουθων χωρών: Αυστρία, Βέλγιο, Τσεχική Δημοκρατία, Δανία, Εσθονία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ουγγαρία, Ιταλία, Λετονία, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Κάτω Χώρες, Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Δημοκρατία της Ιρλανδίας, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Ισπανία, Σουηδία και Ηνωμένο Βασίλειο. Σαν πρωτοβουλία προτάθηκε το 2009, ενώ τον Ιούνιο του 2012 τα συμβαλλόμενα μέρη υπέγραψαν τη Συμφωνία Συνεργασίας PCR και τη Συμφωνία Συνιδιοκτησίας PCR.

Ένα από τα βασικά στοιχεία του έργου PCR είναι η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου σύζευξης ενιαίας τιμής, με το όνομα EUPHEMIA (αρκτικόλεξο του πανευρωπαϊκού αλγορίθμου ολοκλήρωσης αγοράς υβριδικής ηλεκτρικής ενέργειας). Ο αλγόριθμος αυτός υπολογίζει την κατανομή ενέργειας, των καθαρών θέσεων και τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρη την Ευρώπη. Κύριος γνώμονας αυτής της διαδικασίας είναι η μεγιστοποίηση της γενικής ευημερίας και η αύξηση της διαφάνειας του υπολογισμού των τιμών και των ροών ισχύος που οδηγούν σε καθαρές θέσεις.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η περιοχή μελέτης**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Η περιοχή μελέτης της εργασίας αφορά σε μια μικρής έκτασης εικονική χώρα. Ο πληθυσμός της ανέρχεται στους 100.000 κατοίκους. Το κλίμα της περιοχής θεωρείται γενικά εύκρατο, με τους χειμερινούς μήνες να χαρακτηρίζονται από έντονες βροχοπτώσεις και τους θερινούς μήνες από υψηλή ηλιοφάνεια. Το αιολικό δυναμικό της περιοχής είναι, επίσης, υψηλό. Το ανάγλυφο είναι ημιορεινό, συναντώνται μεγάλες καλλιεργούμενες εκτάσεις και πεδιάδες, ενώ δεν λείπουν τα τρεχούμενα νερά ποταμών ή και μικρότερων ρεμάτων και χειμάρρων.

Στην εν λόγω εικονική χώρα είναι ανεπτυγμένες τόσο βιομηχανικές, όσο και τουριστικές δραστηριότητες, με αποτέλεσμα οι απαιτήσεις σε ενέργεια να είναι αυξημένες για μεγάλο ποσοστό του χρόνου. Για την ηλεκτροδότησή της, λοιπόν, έχει αναπτυχθεί ένα καινοτόμο σύστημα που προάγει την βιωσιμότητα και την πράσινη ανάπτυξη, ενώ παράλληλα προσανατολίζει το επενδυτικό ενδιαφέρον σε αυτήν. Η γεωμορφολογία της περιοχής, καθώς και οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες, καθιστούν ιδανική την επιλογή της αξιοποίησης των εγχώριων ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

#### **3.2 Η επιλογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)**

Οι αυξανόμενες περιβαλλοντικές ανησυχίες, οι νεότερες νομοθετικές ρυθμίσεις, καθώς και οι τεχνολογικές εξελίξεις, συμβάλλουν καθημερινά στην άνοδο και την ανάπτυξη της αγοράς των ΑΠΕ. Τα οφέλη από την αξιοποίησή τους είναι πολλά και ιδιαίτερα σημαντικά για το περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία στο σύνολό της. Τα κυριότερα από αυτά είναι τα εξής:

- Ως πρακτικά ανεξάντλητες πηγές μειώνουν την εξάρτηση από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Ενισχύουν την ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση και την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο ως εγχώρια προϊόντα.
- Η διάσπαρτη γεωγραφική τους κατανομή ανακουφίζει το σύστημα υποδομής και περιορίζει τις απώλειες για τη μεταφορά ενέργειας, οδηγώντας, έτσι, στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος.
- Το λειτουργικό τους κόστος είναι χαμηλό, ενώ δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ δύνανται να καλύψουν και της μικρής κλίμακας ανάγκες των χρηστών, διευκολύνοντας τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς την τρέχουσα ζήτηση ενέργειας.
- Μπορούν να αποτελέσουν πόλο για την τοπική ανάπτυξη και οικονομικό πολλαπλασιαστή για την πρόωθηση ανάλογων επενδύσεων.

### 3.3 Ηλεκτροδότηση της περιοχής μελέτης

Όπως έχει προαναφερθεί, προτεραιότητα για τον σχεδιασμό του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) και, κατ' επέκταση την ηλεκτροδότηση της περιοχής μελέτης, αποτελεί η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παράλληλος στόχος του καινοτόμου συστήματος εφαρμογής είναι η ενεργειακή ανεξαρτητοποίησή της στην περίπτωση της πλήρους κάλυψης των αναγκών με ίδιους πόρους, ενώ μελλοντικός στόχος είναι η ταυτόχρονη συνεργασία με γειτονικές περιοχές, όσον αφορά την διοχέτευση των πλεονασμάτων ενέργειας και, έτσι, την εξοικονόμηση των ενεργειακών πόρων.

Η μεγαλύτερη διαχρονική πρόκληση που αντιμετωπίζουν τα ΣΗΕ είναι η απαίτηση για την ακριβή κάλυψη του φορτίου, δηλαδή η συνεχής διατήρηση του ισοζυγίου παραγωγής και ζήτησης. Η στοχαστική φύση του μεταβαλλόμενου φορτίου σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, σε συνδυασμό με τη μεταβλητότητα της ηλεκτρικής ισχύος εξόδου που παράγουν οι ΑΠΕ (λόγω της σχέσης αναλογίας με την στοχαστική μηχανική ισχύ εισόδου που προσφέρεται σε αυτές), ενισχύουν τα φαινόμενα ανισορροπίας στο ισοζύγιο παραγωγής-ζήτησης.



**Εικόνα 3.1** Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ)

Επομένως, οι ΑΠΕ αυτές καθ' αυτές ενδέχεται να αδυνατούν να υποστηρίξουν πλήρως και διαρκώς την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, απαιτείται η ύπαρξη εναλλακτικής λύσης στην περίπτωση των ελλειμμάτων ενέργειας. Το φυσικό αέριο, ένα καύσιμο που υπάρχει σε αφθονία, αποτελεί τον ιδανικό πόρο που μπορεί να ανταπεξέλθει στις διακυμάνσεις του δικτύου και των καιρικών συνθηκών.

Το φυσικό αέριο είναι συμβατικό καύσιμο, αρκετά φιλικό προς το περιβάλλον, καθώς δεν περιέχει ενώσεις θείου, με αποτέλεσμα να περιορίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση. Παράγει, δε, τις λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου συγκριτικά με άλλα συμβατικά καύσιμα (πετρέλαιο, άνθρακας). Ταυτόχρονα, δεδομένης της μειωμένης τιμής αγοράς του, συγκριτικά με άλλα συμβατικά καύσιμα, είναι μια επιλογή που προκρίνεται και σε επίπεδο εξοικονόμησης οικονομικών πόρων. Οι συσκευές αερίου έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής χάρη στην καθαρή τους καύση, αλλά και μικρό κόστος συντήρησης. Ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημά τους είναι ο γρήγορος χρόνος απόκρισης στις μεταβολές φορτίου, γεγονός που τις καθιστά πρόσφορες για την κάλυψη των αιχμών της ζήτησης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, οι υποδομές που θα στελεχώσουν το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και θα φέρουν την εικονική αυτή χώρα ένα βήμα πιο κοντά στις απαιτήσεις του μέλλοντος, όσον αφορά την πράσινη μετάβαση και την βιώσιμη ανάπτυξη, είναι οι παρακάτω:

1. Αιολικό Πάρκο
2. Φωτοβολταϊκό Πάρκο
3. Τρία (3) Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (ΜΥΗΕ) που αξιοποιούν τις παροχές δύο ρεμάτων σε τρεις, όμως, θέσεις
4. Σταθμός Φυσικού Αερίου, ως συμβατική πηγή ενέργειας

Ο βασικός κανόνας λειτουργίας του παραπάνω συστήματος στηρίζεται στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της περιοχής μελέτης με την ιεραρχική προτεραιότητα να δίνεται στις ΑΠΕ και εν συνεχεία στον σταθμό φυσικού αερίου. Η περαιτέρω προτεραιότητα μεταξύ των παραγωγών που συμμετέχουν σε αυτό το σύστημα καθορίζεται στη συνέχεια, όπου διαμορφώνονται και εκτελούνται τα επιμέρους εναλλακτικά σενάρια, των οποίων τα αποτελέσματα αναλύονται και σχολιάζονται στο Κεφάλαιο 7. Στόχος αυτής της ανάλυσης είναι μια προκαταρκτική διερεύνηση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργεί στην υπό μελέτη περιοχή. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη εύρεση του ιδανικού σεναρίου για την επίτευξη των παρακάτω σημαντικών ερευνητικών στόχων:

- Ελαχιστοποίηση των ενεργειακών ελλειμμάτων
- Βέλτιστη διαχείριση των πλεονασμάτων ενέργειας
- Μεγιστοποίηση του συνολικού οφέλους της αγοράς ενέργειας
- Αποφυγή μονοπωλιακών συμπεριφορών και ταυτόχρονη ενίσχυση ανοιχτού και δίκαιου ανταγωνισμού

Για λόγους απλούστευσης της έρευνας, η προσομοίωση της αγοράς ενέργειας που τελείται στην παρούσα εργασία γίνεται υπό το πρίσμα του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού, που αποτελεί πρόγονο του Ευρωπαϊκού Μοντέλου – Στόχου. Ωστόσο, γίνεται μια προσπάθεια προσέγγισης της προσομοίωσης στους στόχους του Target Model, χωρίς όμως να εφαρμόζονται πιστά οι κανόνες που διαμορφώνουν το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σχεδιασμός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας**

### **4.1 Εισαγωγή**

Η ζήτηση για ενέργεια παγκοσμίως αυξάνεται συνεχώς λόγω της αύξησης του πληθυσμού, της ενεργειακής αναβάθμισης του βιομηχανικού τομέα και της γενικότερης βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων. Παράλληλα, η απειλή της κλιματικής αλλαγής έχει επίδραση στην περιβαλλοντική στρατηγική της ενέργειας. Η μετάβαση από τη χρήση συμβατικών καυσίμων στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθίσταται απαραίτητη για την αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής κρίσης του 21<sup>ου</sup> αιώνα.

Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της περιοχής μελέτης αποτελεί σύστημα τόσο ανανεώσιμων, όσο και συμβατικών πηγών ενέργειας. Ο αποτελεσματικός συνδυασμός των δύο αυτών μορφών εξετάζεται στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού για την ευρύτερη κατανόηση της λειτουργίας της αγοράς ενέργειας. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, απαιτείται πρώτα ο σχεδιασμός του συστήματος, ο οποίος τελείται με γνώμονα την κάλυψη της αιχμής της ζήτησης, και τον ισομερή καταμερισμό της εγκατεστημένης ισχύος στις επιμέρους πηγές ενέργειας και τους επιμέρους παίκτες – παραγωγούς.

### **4.2 Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (ΜΥΗΕ)**

#### **4.2.1 Γενικά για τα ΜΥΗΕ**

Το κριτήριο για την κατάταξη ενός υδροηλεκτρικού έργου στην κατηγορία του μικρού είναι η εγκατεστημένη ισχύς των στροβίλων του, η οποία πρέπει να είναι μικρότερη από ένα συγκεκριμένο όριο που ορίζει η κάθε εθνική νομοθεσία. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται διεθνώς μεταξύ των 10 και 30 MW. Στην Ελλάδα, όπως και στην υπό μελέτη περιοχή, το όριο αυτό έχει τεθεί στα 15 MW.

Η παραγωγή ενέργειας μέσω των ΜΥΗΕ παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα, συγκριτικά με τις υπόλοιπες μορφές ΑΠΕ:

- Μεγαλύτερη συμμετοχή στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου (ανά μονάδα ενέργειας)
- Μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα (0.85 – 0.90)
- Μικρότερο κόστος παραγωγής (ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος)
- Μεγαλύτερος χρόνος ζωής (15 – 25 έτη)
- Μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση σε χρόνο κύκλου ζωής

#### **4.2.2 Βασικά κριτήρια σχεδιασμού των ΜΥΗΕ**

Η επιλογή των κρίσιμων παραμέτρων και χαρακτηριστικών των ΜΥΗΕ αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην αποδοτικότητά τους και την αποτελεσματική αξιοποίηση της διερχόμενης παροχής. Τα κριτήρια που αξιολογούνται για το σχεδιασμό ενός τέτοιου έργου διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

##### **1. Χωροθέτηση του έργου**

Στόχος της χωροθέτησης είναι η επιλογή του σημείου εκείνου του ρέματος που μεγιστοποιείται η διερχόμενη παροχή, το οποίο κυρίως εξαρτάται από τη γεωλογική φύση και την έκταση της λεκάνης απορροής ανάντη του σημείου υδροληψίας. Στη συνέχεια, καθορίζεται η υψομετρική διαφορά μεταξύ του σημείου εισόδου και εξόδου της παροχής, η οποία προσδιορίζει το υδραυλικό φορτίο. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στο να περιοριστεί το μήκος της εκτροπής, προκειμένου να περιοριστούν τόσο τα κατασκευαστικά κόστη, όσο και οι επιπτώσεις στο ποτάμιο σύστημα και την ευρύτερη επηρεαζόμενη ζώνη. Όλα, φυσικά, τα παραπάνω πραγματοποιούνται υπό συγκεκριμένους νομοθετικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς.

##### **2. Σύστημα υδροληψίας**

Καθοριστικός είναι και ο σχεδιασμός του συστήματος εκμετάλλευσης της παροχής, το οποίο παράγει μέρος της διερχόμενης, από εκείνο το σημείο, παροχής. Σημαντικά ζητήματα που πρέπει να μελετηθούν παράλληλα με αυτό το σύστημα, είναι αυτά της οικολογικής παροχής που πρέπει πάντα να διατηρείται, των φερτών υλών, των πλημμυρών και αυτό της προστασίας των οικοσυστημάτων, ιδιαιτέρως κατά την φάση διέλευσης της ιχθυοπανίδας.

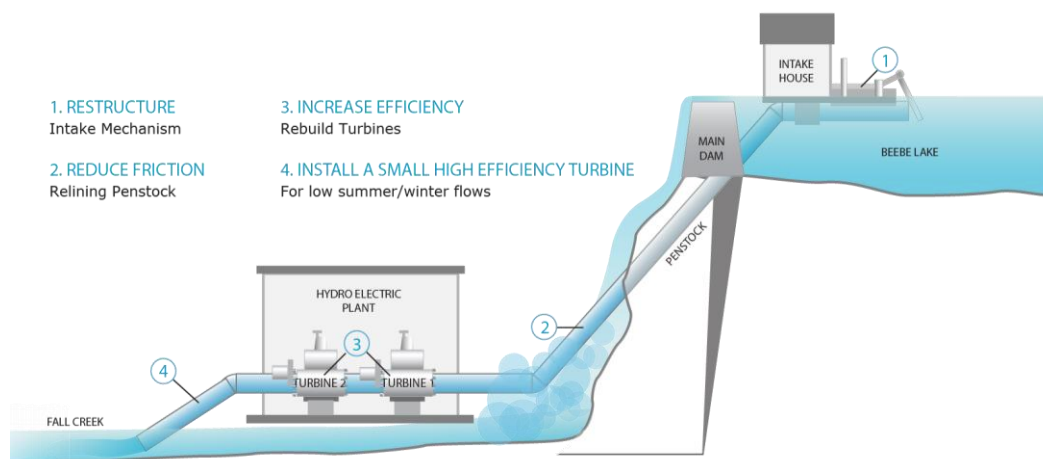
##### **3. Σύστημα εκτροπής παροχής**

Επιλέγεται είτε αγωγός υπό πίεση, είτε συνδυασμός ανοιχτών καναλιών, δεξαμενής φόρτισης και αγωγού προσαγωγής. Η επιλογή εξαρτάται κυρίως από το κόστος κατασκευής και το φυσικό ανάγλυφο της περιοχής. Σημαντική παράμετρος σε αυτό το κριτήριο είναι και ο περιορισμός των γραμμικών απωλειών, λόγω της απόστασης του σημείου εισόδου και εξόδου του αγωγού προσαγωγής, γεγονός που καθορίζεται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγωγού· το μήκος και τη διάμετρό του, αλλά και το υλικό κατασκευής του.

##### **4. Στροβίλοι**

Ο συνδυασμός δύο στροβίλων διαφορετικής εγκατεστημένης ισχύος εξυπηρετεί την ταυτόχρονη λειτουργία τους στον μέγιστο δυνατό βαθμό απόδοσής τους κατά περίπτωση. Εξυπηρετεί ακόμη την διαρκή λειτουργία του ΜΥΗΕ, όταν κάποιος από τους στροβίλους συντηρείται ή είναι εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης.





Εικόνα 4.1 Παράμετροι σχεδιασμού μικρών υδροηλεκτρικών έργων

#### 4.2.3 Τα ΜΥΗΕ στην περιοχή μελέτης

Το ανάγλυφο της περιοχής, που χαρακτηρίζεται από ορεινές και ημιορεινές εκτάσεις, ενδείκνυται για τον σχηματισμό ρεμάτων. Οι έντονες καιρικές συνθήκες των χειμερινών μηνών, όπως οι ισχυρές βροχοπτώσεις, επίσης συνεισφέρουν στην διατήρηση της παροχής τους. Για το λόγο αυτό, έχει επιλεγεί η αξιοποίηση δύο υδατορευμάτων για εγκατάσταση μικρών υδροηλεκτρικών έργων και κατ' επέκταση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό την ηλεκτροδότηση της εικονικής χώρας. Στο ένα εκ των δύο ρεμάτων εγκαθίσταται έργο τόσο ανάντη, όσο και στην κοίτη αυτού. Επομένως, απαιτείται ο σχεδιασμός τριών (3) συνολικά ΜΥΗΕ.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα (Small Hydroelectric Power Plants, SHPP) που σχεδιάζονται συγκαταλέγονται στην κατηγορία των run-off river SHPP. Εκμεταλλεύονται, δηλαδή, την υψομετρική διαφορά (μικρών) υδατορευμάτων χωρίς δυνατότητα αποθήκευσης νερού, με επί τόπου εκμετάλλευση της διερχόμενης παροχής από το σημείο υδροληψίας. Αυτό το είδος ΜΥΗΕ είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο και εφαρμοσμένο.

Τα δεδομένα που λαμβάνονται υπ' όψιν στο σχεδιασμό είναι ημερήσια δεδομένα παροχής από τον ποταμό Αχελώο με διάρκεια 40 ετών και από τον ποταμό Εύηνο 8 ετών. Για διευκόλυνση της κατανόησης ορίζεται ως «ΜΥΗΕ Ι» το έργο με τα δεδομένα του Εύηνου, «ΜΥΗΕ ΙΙ» αυτό με τα δεδομένα της θέσης ανάντη του Αχελώου και «ΜΥΗΕ ΙΙΙ» αυτό με δεδομένα που ανάγονται στην κοίτη του Αχελώου.

Για τον υπολογισμό της διερχόμενης παροχής από κάθε θέση έργου πρέπει πρώτα να εκτιμηθεί η οικολογική παροχή, που πρέπει πάντοτε να διατηρείται στο υδατόρευμα. Οι βασικές μεθοδολογίες για την εκτίμησή της βασίζονται στις ιστορικές παροχές του ποταμού και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διατομών της κοίτης, με στόχο την διατήρηση του ποταμού ως ενδιαίτημα για συγκεκριμένα είδη και υγροβιότοπους. Με βάση τα παραπάνω, οι περιβαλλοντικές παροχές ( $Q_e$  σε  $m^3/s$ ), καθώς και τα υδραυλικά φορτία των υπό μελέτη έργων, είναι τα ακόλουθα (Πίνακας 4.1):

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά των ΜΥΗΕ της περιοχής μελέτης		
Έργο	Οικολογική Παροχή, $Q_e$ (m <sup>3</sup> /s)	Υδραυλικό Φορτίο, $H$ (m)
ΜΥΗΕ I	0.29	250
ΜΥΗΕ II	0.25	150
ΜΥΗΕ III	7.50	10

Για τον σχεδιασμό των ΜΥΗΕ, την επιλογή, δηλαδή, των στροβίλων και της εγκατεστημένης ισχύος τους, τελείται η ακόλουθη υπολογιστική διαδικασία που αποτελείται από τα εξής βήματα (Drakaki et al., 2021, Sakki et al., 2021):

1. Με βάση, αρχικά, το υδραυλικό φορτίο και το εύρος των διερχόμενων παροχών, επιλέγονται οι στρόβιλοι που θα τοποθετηθούν. Για κάθε τύπο στροβίλου καθορίζονται οι παράμετροι σχήματος  $a$  και  $b$ , ο λόγος  $\theta = \frac{Q_{min}}{Q_{max}}$ , και οι  $n_{min}$ ,  $n_{max}$  που αφορούν τον ελάχιστο και μέγιστο βαθμό απόδοσης μεταξύ του εύρους  $Q_{min}$  και  $Q_{max}$ .
2. Επιλέγεται τυχαία μια τιμή εγκατεστημένης ισχύος ( $P$ ) και σύμφωνα με τις παρακάτω Εξισώσεις 4.1 και 4.2 υπολογίζονται η ονομαστική παροχή  $Q_{max}$  και η ελάχιστη παροχή λειτουργίας  $Q_{min}$ . Οι στρόβιλοι ανάλογα με τον τύπο τους (Pelton – Francis) εκμεταλλεύονται παροχές κατ' ελάχιστο 10% έως 40%, αντίστοιχα, της παροχής που αντιστοιχεί στην ονομαστική παροχή σχεδιασμού τους.

$$Q_{max} = \frac{P}{\gamma * n_{max} * H}$$

$$Q_{min} = \theta * Q_{max}$$

Εξισώσεις 4.1 & 4.2

όπου  $n_{max}$  είναι ο βαθμός απόδοσης στη μέγιστη παροχή, που εξαρτάται από τον τύπο του στροβίλου,  $\gamma$  είναι το ειδικό βάθος του νερού ίσο με 9.81 kN/m<sup>3</sup> και  $H$  το υδραυλικό φορτίο, αφού αφαιρεθούν οι υδραυλικές απώλειες.

3. Αφού τεθεί προτεραιότητα σε έναν από τους δύο στροβίλους ως κύριο, ελέγχεται εάν η διερχόμενη παροχή υπερβαίνει την ελάχιστη παροχή λειτουργίας ( $Q_{min}$ ) και στη συνέχεια αν είναι μικρότερη από την ονομαστική παροχή ( $Q_{max}$ ). Η υπολειπόμενη ποσότητα παροχής διέρχεται από τον δευτερεύοντα στρόβιλο.
4. Τα ΜΥΗΕ λειτουργούν υπό ποικίλες συνθήκες ροής, με αποτέλεσμα οι βαθμοί απόδοσης των στροβίλων, επίσης, να κυμαίνονται σε ένα εύρος τιμών. Η γενικευμένη φόρμουλα για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης δίνεται από την Εξίσωση 4.3

$$n(Q_T) = n_{min} + \left( 1 - \left( 1 - \left( \frac{Q_T - \theta}{Q_{max} - \theta} \right)^a \right)^b \right) * (n_{max} - n_{min})$$

Εξίσωση 4.3

5. Τέλος, υπολογίζεται η παραγόμενη από κάθε στρόβιλο (και από το άθροισμα των δύο) ποσότητα ενέργειας από την Εξίσωση 4.4. Ενέργεια παράγεται εάν η διερχόμενη παροχή

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης

είναι μεγαλύτερη της ελάχιστης επιτρεπόμενης ( $Q_{\min}$ ). Στην αντίθετη περίπτωση οι στρόβιλοι τίθενται εκτός λειτουργίας.

$$E = n(Q_T) \cdot \gamma \cdot Q_T \cdot H \cdot \Delta t$$

#### Εξίσωση 4.4

όπου  $\Delta t$  το χρονικό βήμα των δεδομένων (εδώ ίσο με 24 h).

Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, μέσω του υπολογιστικού φύλλου Excel και τη χρήση του εργαλείου Solver, καθορίζεται η εγκατεστημένη ισχύς των στρόβιλων. Η μέση τιμή της παραγόμενης ενέργειας ( $E_{\mu}$ ) συνδέεται άμεσα με τα αναμενόμενα έσοδα από τη λειτουργία του συστήματος, ενώ η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σχετίζεται με το κόστος επένδυσης για τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό (στρόβιλοι, γεννήτρια, κ.λπ.), διαμορφώνοντας επίσης την παροχή σχεδιασμού, και άρα το κόστος του συστήματος μεταφοράς ενέργειας. Σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης η  $E_{\mu}$  και ο Συντελεστής Δυναμικότητας ( $\Sigma\Delta$ ) είναι τα δύο κύρια κριτήρια σχεδιασμού των ΜΥΗΕ. Στην προκειμένη περίπτωση, απαιτείται ο συντελεστής αυτός να μην είναι μικρότερος του 30%, δηλαδή ο σταθμός παραγωγής να λειτουργεί τουλάχιστον περί τις 2600 ώρες το χρόνο.

Με βάση τη διερχόμενη παροχή και το εκάστοτε υδραυλικό φορτίο των ΜΥΗΕ, επιλέγονται δύο στρόβιλοι Pelton για τα ΜΥΗΕ I και II, ενώ για το ΜΥΗΕ III επιλέγονται δύο στρόβιλοι Kaplan, λόγω του πολύ μικρότερου υδραυλικού φορτίου και κατ' επέκταση της μεγαλύτερης συγκριτικά διερχόμενης παροχής.

Ένα άλλο χρήσιμο εργαλείο στο σχεδιασμό και την ευρύτερη εποπτεία του προβλήματος είναι ο σχηματισμός της καμπύλης διάρκειας (flow duration curve), η οποία αναπαριστά την πιθανότητα η διερχόμενη παροχή να ξεπεράσει την κάθε τιμή. Στα *Διαγράμματα 4.1, 4.2 και 4.3* παρίστανται οι καμπύλες διάρκειας για κάθε έργο.

Τα αποτελέσματα της υπολογιστικής διαδικασίας που περιγράφηκε για τον σχεδιασμό παρουσιάζονται στον *Πίνακα 4.2*.

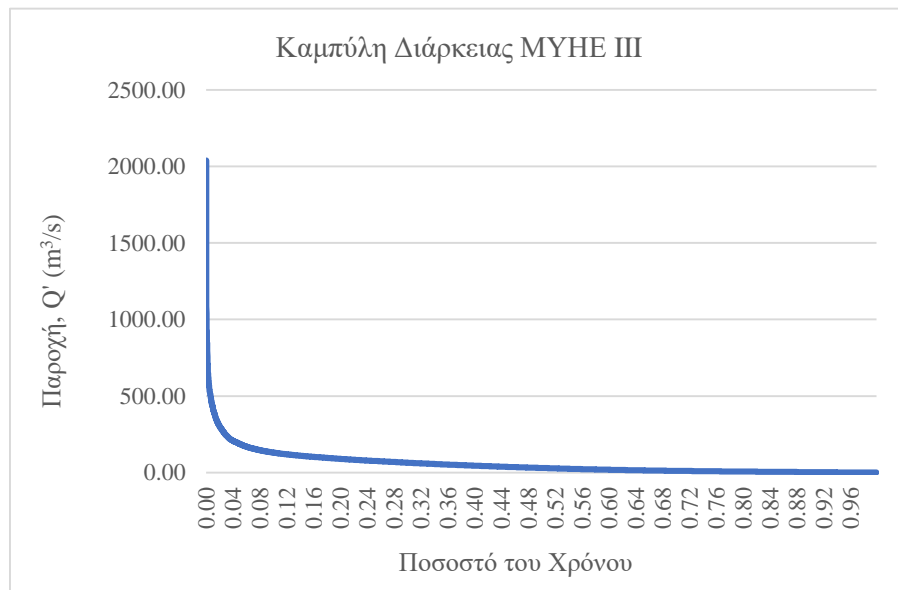
<b>Πίνακας 4.2</b> Επιλογή στρόβιλων και εγκατεστημένης ισχύος			
<b>ΜΥΗΕ I</b>	<b>Pelton</b>	<b>Pelton</b>	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>
Ισχύς (MW)	7.50	2.50	<b>10.00</b>
<b>ΜΥΗΕ II</b>	<b>Pelton</b>	<b>Pelton</b>	
Ισχύς (MW)	5.91	0.55	<b>6.46</b>
<b>ΜΥΗΕ III</b>	<b>Kaplan</b>	<b>Kaplan</b>	
Ισχύς (MW)	3.50	9.85	<b>13.35</b>
<b>Συνολική Ισχύς ΜΥΗΕ (MW)</b>			<b>29.81</b>



Διάγραμμα 4.1 Καμπύλη διάρκειας ΜΥΗΕ I



Διάγραμμα 4.2 Καμπύλη διάρκειας ΜΥΗΕ II



Διάγραμμα 4.3 Καμπύλη διάρκειας ΜΥΗΕ III

## 4.3 Φωτοβολταϊκό πάρκο

### 4.3.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Η ηλιακή ενέργεια παρουσιάζει όλες εκείνες τις προοπτικές για την αντιστάθμιση των ζητήσεων που καλύπτονται – μέχρι στιγμής– από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παγκοσμίως. Είναι αυτή τη στιγμή η ταχύτερα ανερχόμενη και εξελισσόμενη πηγή παραγωγής ενέργειας.

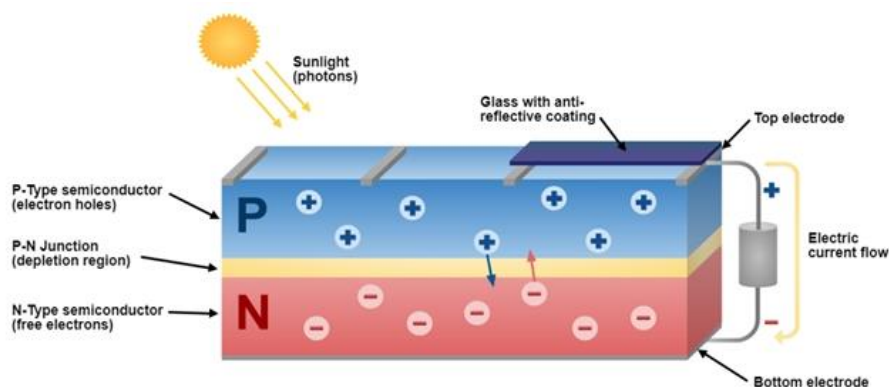
Τα φωτοβολταϊκά (φ/β) συστήματα διαδραματίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο στο αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις ΑΠΕ. Διαθέτουν πλεονεκτήματα που τα καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστικά στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και ειδικότερα στα πλαίσια της «πράσινης» ανάπτυξης που προωθείται παγκοσμίως. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους είναι τα εξής:

- Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή
- Μηδενική ρύπανση και πλήρης απουσία αποβλήτων ή άλλων άχρηστων παραπροϊόντων
- Υψηλή αξιοπιστία των φωτοβολταϊκών συστημάτων
- Αντοχή σε ακραίες καιρικές συνθήκες (ισχυρούς άνεμους, χαλαζόπτωση κ.λπ.)
- Μεγάλη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων (τουλάχιστον 25 χρόνια) και σχετικά απλή μέθοδος κατασκευής
- Μεγάλο εύρος εφαρμογών όσον αφορά την ισχύ, από μερικά W μέχρι μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (μερικών MW)

Η αρχή στην οποία στηρίζεται η παραγωγή ενέργειας μέσω του ηλιακού φωτός είναι το φωτοβολταϊκό φαινόμενο (photovoltaic effect). Το φως αποτελείται από φωτόνια, δηλαδή μικρές δέσμες ενέργειας. Όταν προσπίπτει στην επιφάνεια ενός υλικού, ένα μέρος του ανακλάται, ένα άλλο την διαπερνά, ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από το υλικό. Η απορρόφηση σε συνδυασμό με τη χρήση του κατάλληλου υλικού (ημιαγώγιμα υλικά όπως το πυρίτιο) έχει ως αποτέλεσμα την μετατροπή του σε ηλεκτρική ενέργεια. Πρόκειται, δηλαδή, για την διαδικασία κατά την οποία όταν ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο έρθει σε επαφή με το ηλιακό φως παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία και τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.



Εικόνα 4.2 Φωτοβολταϊκό στοιχείο

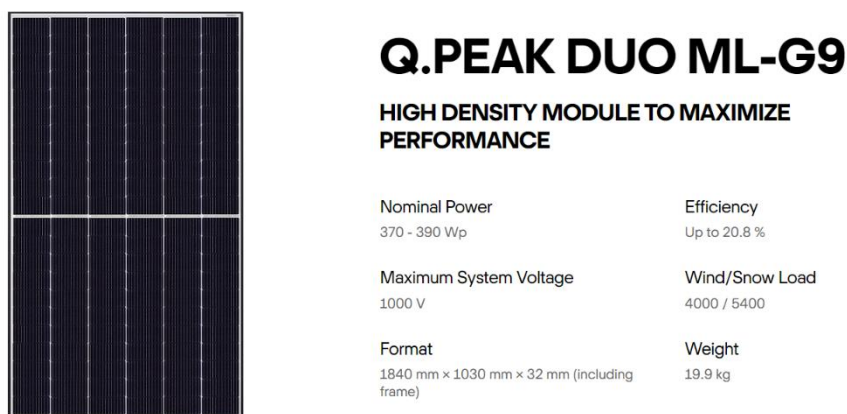


Εικόνα 4.3 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

### 4.3.2 Το φωτοβολταϊκό πάρκο της περιοχής μελέτης

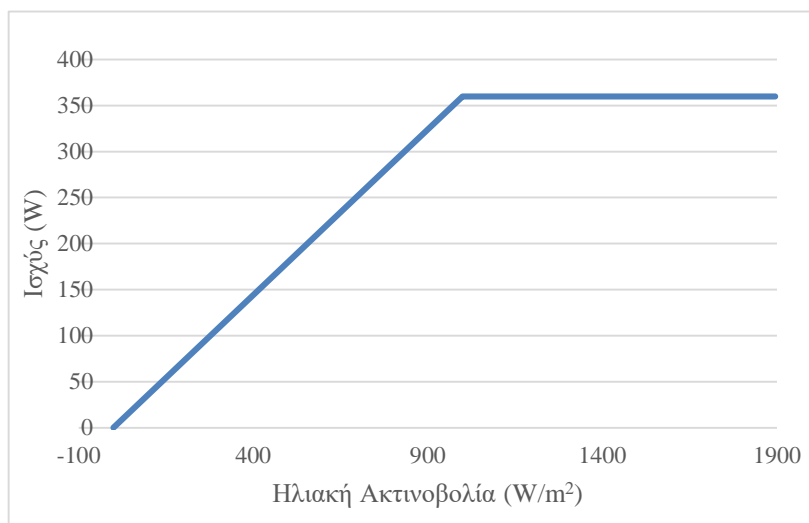
Το κλίμα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης θεωρείται εύκρατο. Τους θερινούς μήνες δεν λείπουν οι υψηλές θερμοκρασίες, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου η ηλιοφάνεια είναι επίσης υψηλή. Για το λόγο αυτό, ενδείκνυται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου, με σκοπό την βέλτιστη αξιοποίηση των εγχώριων ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων.

Το πάρκο αποτελείται από πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου (τύπου Q.PEAK DUO ML-G9, βλ. *Εικόνα 4.4*) εγκατεστημένης ισχύος 360 W (1840 × 1030 × 32 mm), με τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ του πάρκου να ανέρχεται στα **36 MW**. Η έδραση των πάνελ γίνεται σε ειδικού τύπου μεταλλικές βάσεις περιστρεφόμενες στον άξονα Βορρά – Νότου με υδραυλικά μέσα. Η αντιστροφή της συνεχούς ισχύος πραγματοποιείται με την βοήθεια αντιστροφέων χωρίς μετασηματιστή μονοφασικής ισχύος. Με συνολικό πλήθος 100.000 πάνελ, η έκταση που καταλαμβάνεται από αυτά, συμπεριλαμβανομένων των κενών στη διάταξή τους, είναι περίπου 500 στρέμματα (0.5 km<sup>2</sup>).



**Εικόνα 4.4** Επιλεγθέν φωτοβολταϊκό πλαίσιο για τη στελέχωση του φωτοβολταϊκού συστήματος

Ο βαθμός απόδοσης, ως το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο, κυμαίνεται σήμερα μεταξύ 15 και 20%. Σε σύγκριση με την απόδοση άλλων συστημάτων, μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνελ σε ηλιοστάτη. Στην προκειμένη μελέτη, τα φ/β πλαίσια που εγκαθίστανται έχουν ονομαστική ισχύ 360 W, ενώ με διαστάσεις 1.84 × 1.03 m δίνουν επιφάνεια περίπου 1.90 m<sup>2</sup> έκαστο. Επομένως, αν η μέγιστη ισχύς επιτυγχάνεται στα 1000 W/m<sup>2</sup>, τότε σε κάθε πλαίσιο προσπίπτουν 1895.2 W και παράγονται 360 W, δίνοντας συντελεστή απόδοσης της τάξης του 19%. Ένας τέτοιος συντελεστής θεωρείται υψηλός και είναι αρκετά ικανοποιητικός για την λειτουργία του φ/β σταθμού. Η καμπύλη ισχύος των επιλεγμένων φ/β πάνελ δίνεται στο *Διάγραμμα 4.4*.



Διάγραμμα 4.4 Καμπύλη ισχύος φωτοβολταϊκού πάνελ

## 4.4 Αιολικό Πάρκο

### 4.4.1 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια αποτελεί ανανεώσιμη πηγή με ανεξάντλητη και χωρίς κόστος καύσιμη ύλη που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον. Γεννιέται από την κινητική ενέργεια του ανέμου, που αποτελεί σύνθετη ατμοσφαιρική διαδικασία. Είναι μη γραμμική συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, η οποία παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις λόγω της στοχαστικότητας των καιρικών συνθηκών. Αντίστοιχα, η αιολική ενέργεια είναι δύσκολα προβλέψιμη με τη χωρική και χρονική της κατανομή να είναι τυχαία. Μερικά πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας είναι τα εξής:

- Ανεξάρτητη από ορυκτά καύσιμα
- Φιλική προς στο περιβάλλον λόγω αμελητέων επιδράσεων στην πανίδα και περιορισμένων απαιτήσεων γης
- Αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, μειώνοντας τις απώλειες για τη μεταφορά ενέργειας
- Τεχνολογικά ώριμη, οικονομικά ανταγωνιστική, γρήγορη και τυποποιημένη συναρμολόγηση και εγκατάσταση των ανεμογεννητριών σε συνδυασμό με χαμηλό λειτουργικό κόστος

Για την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική απαιτείται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών (Α/Γ). Ο βαθμός απόδοσης μιας ανεμογεννήτριας περιορίζεται από ένα θεωρητικό ανώτατο όριο, που ονομάζεται όριο Betz και ισούται με  $16/27 = 59.3\%$ . Στην πραγματικότητα, όμως, η απόδοση των Α/Γ είναι αρκετά μικρότερη και κυμαίνεται στα πλαίσια των επιτρεπτών τιμών ταχύτητας ανέμου, που ορίζονται τα 3.5 – 25 m/s.

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης



Εικόνα 4.5 Αιολικό πάρκο

#### 4.4.2 Το αιολικό πάρκο της περιοχής μελέτης

Το ορεινό ανάγλυφο της περιοχής μελέτης επιτρέπει την εγκατάσταση Α/Γ, με σκοπό την αξιοποίηση του υψηλού αιολικού δυναμικού. Το αιολικό πάρκο θα αποτελείται από 23 ανεμογεννήτριες της εταιρίας Enercon (τύπου E-66/15.66), ονομαστικής ισχύος 1.5 MW. Η διάμετρος του ρότορα της Α/Γ είναι 66 m και το ύψος της πτερωτής 100 m (είναι διαθέσιμο και στα 67 m). Η συνολική ισχύς του αιολικού πάρκου της περιοχής μελέτης ανέρχεται στα **34.5 MW**.

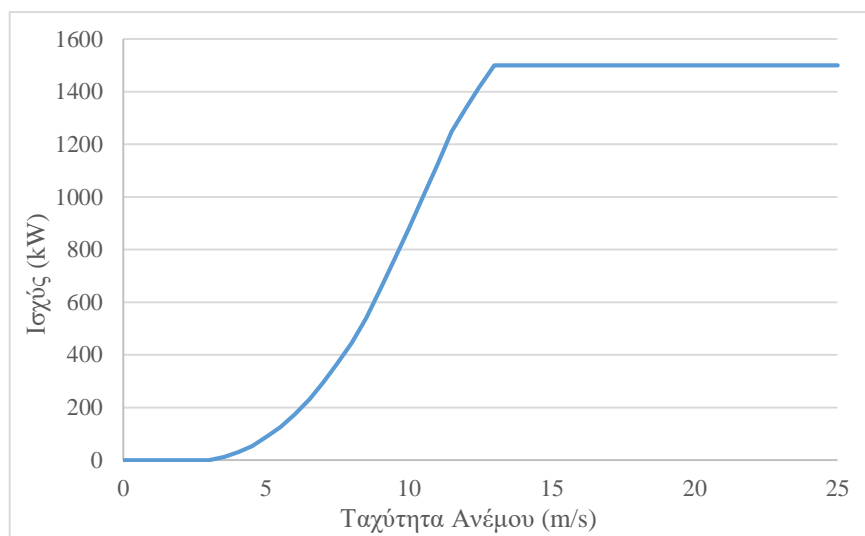


Εικόνα 4.6 Ανεμογεννήτρια Enercon (E-66/15.66)

Η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας είναι η σχέση μεταξύ της καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια και της ταχύτητας του ανέμου στη συγκεκριμένη θέση. Για



το συγκεκριμένο μοντέλο A/Γ η καμπύλη δίνεται από τον κατασκευαστή και αναπαρίσταται στο Διάγραμμα 4.5. Η αναλυτική σχέση που θα ληφθεί ύστερα υπόψη στους υπολογισμούς δίνεται από την Εξίσωση 4.5.



Διάγραμμα 4.5 Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας Enercon E-66/15.66

$$Iσχύς (kW) = \begin{cases} 0, & 0 \leq ταχύτητα ανέμου \leq 3.5 \text{ m/s} \\ -0.194 \cdot x^4 + 4.8414 \cdot x^3 - 24.23 \cdot x^2 + 40.468 \cdot x, & 3.5 \leq ταχύτητα ανέμου \leq 12.5 \text{ m/s} \\ 0, & ταχύτητα ανέμου \geq 12.5 \text{ m/s} \end{cases}$$

Εξίσωση 4.5

## 4.5 Σταθμός φυσικού αερίου

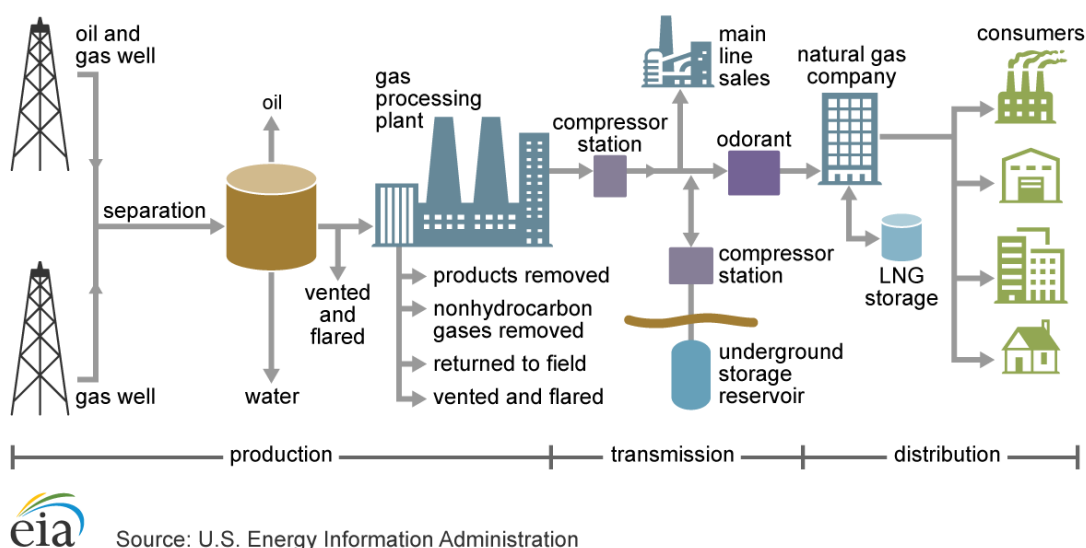
### 4.5.1 Φυσικό αέριο

Οι αυξανόμενες απαιτήσεις μαζί με τις τεχνολογικές εξελίξεις που χαρακτηρίζουν την σύγχρονη εποχή, αναδεικνύουν την ανάγκη για χρήση πιο αποδοτικών και φιλικών προς το περιβάλλον μορφών ενέργειας. Έτσι, το φυσικό αέριο θεωρείται μια λύση που δύναται να αναβαθμίσει την ποιότητα ζωής και να συμβάλλει στη διατήρηση ενός καθαρότερου περιβάλλοντος.

Τα πλεονεκτήματά του ποικίλουν, γεγονός που δικαιολογεί την ολοένα αυξανόμενη χρήση του. Πρόκειται για καύσιμο που βρίσκεται σε περίσσεια στο υπέδαφος, με την ροή του να είναι συνεχής. Αποτελεί το φιλικότερο συμβατικό καύσιμο για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Ως μίγμα υδρογονανθράκων σε αέρια κατάσταση, αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο (σε ποσοστό άνω του 85 %), κατά την καύση του παράγει σημαντικά λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα σε σχέση με άλλα συμβατικά καύσιμα. Με τον τρόπο αυτό συμβάλλει αντίστοιχα λιγότερο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Δεν περιέχει θειούχα συστατικά, ούτε μονοξείδιο του άνθρακα, περιορίζοντας, έτσι, τα φαινόμενα όξινης βροχής και τη γενικότερη ρύπανση του περιβάλλοντος· του εδάφους και των

υπόγειων υδάτων. Σημαντική είναι, τέλος, η συμβολή του στη μείωση του ενεργειακού κόστους χάρη στην υψηλή θερμική του απόδοση.

Το φυσικό αέριο ενισχύει τη βιωσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς θεωρείται καύσιμο «θεμέλιο» για μια πράσινη οικονομία στηριζόμενη στις ανανεώσιμες πηγές. Σύμφωνα με μια δημοσίευση του 2015 με τίτλο «Pathways to Decarbonization: Natural Gas and Renewable Energy», το Ινστιτούτο Στρατηγικών Αναλύσεων (Joint Institute for Strategic Analysis) επισήμανε ότι το φυσικό αέριο σε συνδυασμό με τις ανανεώσιμες πηγές «μπορούν να συνεισφέρουν σε ένα καθαρό (με μειωμένα επίπεδα άνθρακα), ανθεκτικό και αξιόπιστο ηλεκτρικό δίκτυο εμπλουτίζοντας το ενεργειακό μίγμα με ποικίλες μορφές ενέργειας και αντισταθμίζοντας το ρίσκο το σχετιζόμενο με τις αβεβαιότητες της αγοράς και της πολιτικής».



Εικόνα 4.7 Παραγωγή και διανομή φυσικού αερίου (Πηγή: U.S. Energy Information Administration)

#### 4.5.2 Σταθμός φυσικού αερίου στην περιοχής μελέτης

Ο ρόλος της εγκατάστασης σταθμού φυσικού αερίου στην εικονική χώρα, παράλληλα με τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών, έγκειται στην ανάγκη κάλυψης των ενεργειακών ελλειμμάτων. Ως συμβατική πηγή, το ίδιο το καύσιμο, δεν υπόκειται σε εποχιακές διακυμάνσεις και στη στοχαστικότητα των καιρικών φαινομένων, αλλά πρόκειται για την άμεση λύση σε περιπτώσεις που οι εγχώριοι ενεργειακοί πόροι δεν μπορούν να ανταποκριθούν στη ζήτηση. Η άμεση ανταπόκριση του σταθμού συντελεί στην αποτροπή των φαινομένων «black out» και ενισχύει την ασφάλεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 5, η ωριαία αιχμή της ζήτησης της περιοχής μελέτης ανέρχεται στις 100 MWh. Σύμφωνα με αυτό το δεδομένο γίνεται και ο σχεδιασμός του σταθμού, προκειμένου να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει την έσχατη περίπτωση της πλήρους αδυναμίας κάλυψης των ενεργειακών αναγκών μέσω των άλλων πηγών. Για το λόγο αυτό, η εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού φυσικού αερίου επιλέγεται να είναι ίση με **100 MW**.

#### 4.6 Το ενεργειακό μίγμα της περιοχής μελέτης

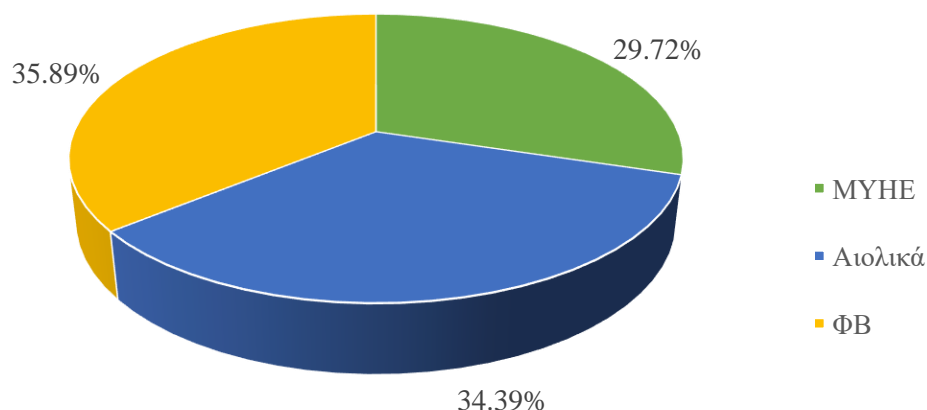
Ο όρος «ενεργειακό μίγμα» αναφέρεται στο συνδυασμό των επιμέρους πρωτογενών πηγών που αξιοποιούνται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας περιοχής. Συνήθως περιλαμβάνει συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές, οι οποίες αξιοποιούνται για παραγωγή ενέργειας, σαν καύσιμα για τη μεταφορά των οχημάτων, για τη θέρμανση και ψύξη εγκαταστάσεων.

Η σύνθεση του ενεργειακού μίγματος διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και από περίοδο σε περίοδο. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαμόρφωσή του συνοψίζονται στους παρακάτω:

- Διαθεσιμότητα και δυνατότητα αξιοποίησης των πηγών
- Δυνατότητα εισαγωγής και μεταφοράς
- Απαιτήσεις σε ενέργεια
- Νομοθετικές διατάξεις βασιζόμενες σε ιστορικούς, οικονομικούς, κοινωνικούς, δημογραφικούς, περιβαλλοντικούς και γεωπολιτικούς παράγοντες

Το ενεργειακό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής (power generation mix) σχεδιάστηκε κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να δίνεται πρωτίστως προτεραιότητα στους παραγωγούς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και στη συνέχεια η συμμετοχή των παικτών να είναι όσο το δυνατόν ισόποσα καταμερισμένη στο μίγμα. Φυσικά, η συνολική ισχύς των έργων των ανανεώσιμων πηγών επιλέγεται έτσι ώστε να δύναται να καλύψει την αιχμή της ζήτησης, δηλαδή να είναι ίση με 100 MW. Το ίδιο ισχύει και για το σταθμό φυσικού αερίου, που όπως αναλύθηκε παραπάνω έχει συνολική ισχύ 100 MW. Στον παρακάτω Πίνακα 4.3, καθώς και στο Διάγραμμα 4.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του σχεδιασμού του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 4.3 Ενεργειακό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής					
Έργο	I	II	III	Συνολική Ισχύς (MW)	Συμμετοχή
<b>ΜΥΗΕ</b>	10.00	6.46	13.35	29.8	29.72%
<b>Αιολικό Πάρκο</b>	34.50			34.5	34.39%
<b>Φ/Β Πάρκο</b>	36.00			36.0	35.89%
<b>Συνολική Ισχύς Μονάδων ΑΠΕ (MW)</b>				<b>100.3</b>	100.00%
<b>Σταθμός Φυσικού Αερίου</b>				<b>100.0</b>	
<b>Συνολική Ισχύς (MW)</b>				<b>200.3</b>	



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Προσομοίωση λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας**

### **5.1 Εισαγωγή**

Ως προσομοίωση ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία εκτελείται η αναπαράσταση μιας διεργασίας με τη βοήθεια ενός μοντέλου. Βασικός λόγος εκτέλεσης μίας προσομοίωσης είναι η χαρτογράφηση της λειτουργίας ενός συστήματος και η διερεύνηση της απόκρισής του σε σύνθετες, απρόσμενες και ιδιαίτερες καταστάσεις που αναμένεται να βρεθεί εντός του χρόνου λειτουργίας του. Είναι, έτσι, εφικτή η αξιολόγηση του συστήματος σχετικά με το εάν είναι ωφέλιμο, αποδοτικό, αξιόπιστο και εάν αξίζει να τεθεί σε εφαρμογή.

Στην παρούσα εργασία, αφού έχει σχεδιαστεί το ΣΗΕ της περιοχής μελέτης (αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 4), ελέγχεται μέσω προσομοίωσης εάν πράγματι η λειτουργία του είναι η βέλτιστη. Μελετάται αν ο κάθε σταθμός παραγωγής αξιοποιεί την ονομαστική ισχύ του, επιτυγχάνοντας έναν σημαντικό συντελεστή δυναμικότητας. Διερευνάται, επίσης, πώς το σύστημα ανταποκρίνεται στις διακυμάνσεις των καιρικών φαινομένων και στη στοχαστικότητα που τα διέπουν. Υπολογίζονται για τις προγνωστικές, αλλά και τις πραγματικές, «εισροές ενέργειας», οι αντίστοιχες ποσότητες παραγόμενης ενέργειας και ελέγχονται οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο τιμών.

### **5.2 Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας**

Πρωτεύων στόχος και βασικό κριτήριο σχεδιασμού και εγκατάστασης ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας περιοχής. Τα δεδομένα ζήτησης της παρούσας εργασίας αφορούν χρονικό διάστημα ενός έτους και παρέχονται σε ωριαίο χρονικό βήμα.

Ο σχεδιασμός του υπό μελέτη συστήματος τελείται με κύριο γνώμονα την ικανοποίηση των απαιτήσεων των καταναλωτών. Καίρια σχεδιαστική παράμετρος είναι η απαίτηση ανταπόκρισης στην μεγαλύτερη τιμή ζήτησης που έχει παρατηρηθεί διαχρονικά στην υπό μελέτη περιοχή, την αιχμή της ζήτησης. Η αιχμή της εικονικής χώρας παρατηρείται κατά τους θερινούς μήνες και συγκεκριμένα τον Αύγουστο και ανέρχεται στις 100 MWh. Στην προκειμένη περίπτωση, επιδιώκεται από το σχεδιασμό η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων που αξιοποιούν τους εγχώριους ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους να δύναται να καλύψει τη ζήτηση αυτή. Παράλληλα, στην σπάνια περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, ο σταθμός φυσικού αερίου απαιτείται να καλύπτει εξ' ολοκλήρου τη ζήτηση.

Για την μελέτη της λειτουργίας του συστήματος και την επίλυση του ΗΕΠ, παράγονται δεδομένα πρόγνωσης της ζητούμενης ενέργειας για κάθε ώρα του 24-ώρου του χρόνου προσομοίωσης. Στην παρούσα φάση οι προγνώσεις προκύπτουν με προσθήκη τυχαίου σφάλματος στις ήδη παρατηρημένες τιμές ζήτησης. Το σφάλμα αποτελεί ποσοστό της παρατηρημένης τιμής, το οποίο προκύπτει με τυχαία πιθανότητα από την κανονική κατανομή, με μηδενική μέση τιμή ( $\mu$ ) και

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης

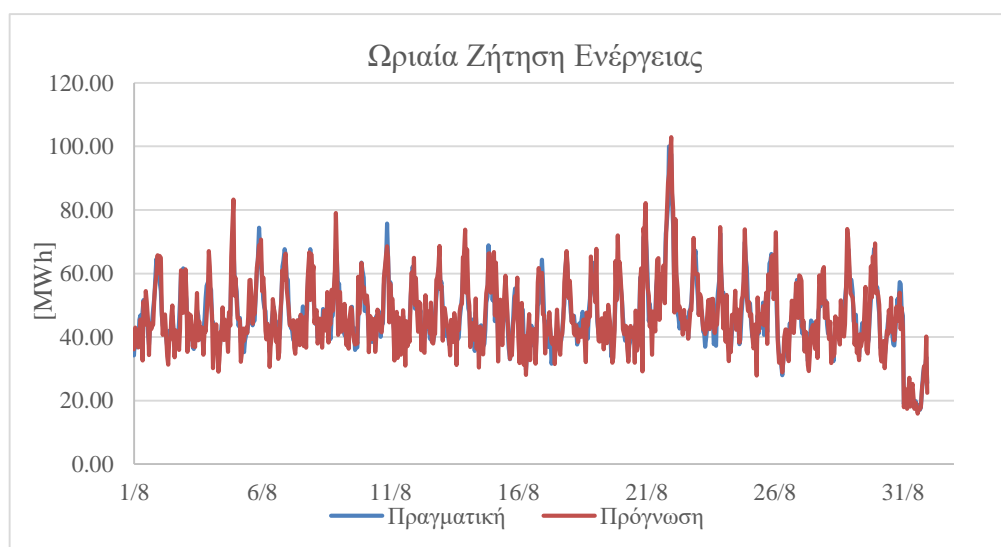
τυπική απόκλιση ( $\sigma$ ) ίση με 0.10 (10 %) της ζήτησης. Η αναλυτική σχέση υπολογισμού της πρόγνωσης για τη ζήτηση σε κάθε χρονικό βήμα [i] δίνεται ως εξής (Εξίσωση 5.1):

$$\text{Πρόγνωση Ζήτησης [i]} = \text{Παρατηρημένη Τιμή Ζήτησης [i]} + \text{Παρατηρημένη Τιμή Ζήτησης [i]} * \text{NORMINV}(\text{RAND}(), 0, 0.10)$$

#### Εξίσωση 5.1

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία των προγνώσεων και των πραγματικών τιμών ζήτησης που λαμβάνονται υπόψη σαν δεδομένα της προσομοίωσης, ενώ στο Διάγραμμα 5.1 παρίστανται τα δεδομένα του μήνα Αυγούστου, που παρατηρείται και η αιχμή της ζήτησης.

Πίνακας 5.1 Στατιστικά στοιχεία δεδομένων ζήτησης		
	Πραγματική (MWh)	Πρόγνωση (MWh)
Μέγιστη Τιμή – Αιχμή	100.00	102.95
Ελάχιστη Τιμή	5.33	5.34
Μέση Τιμή	25.93	25.93
Τυπική Απόκλιση	10.40	10.81

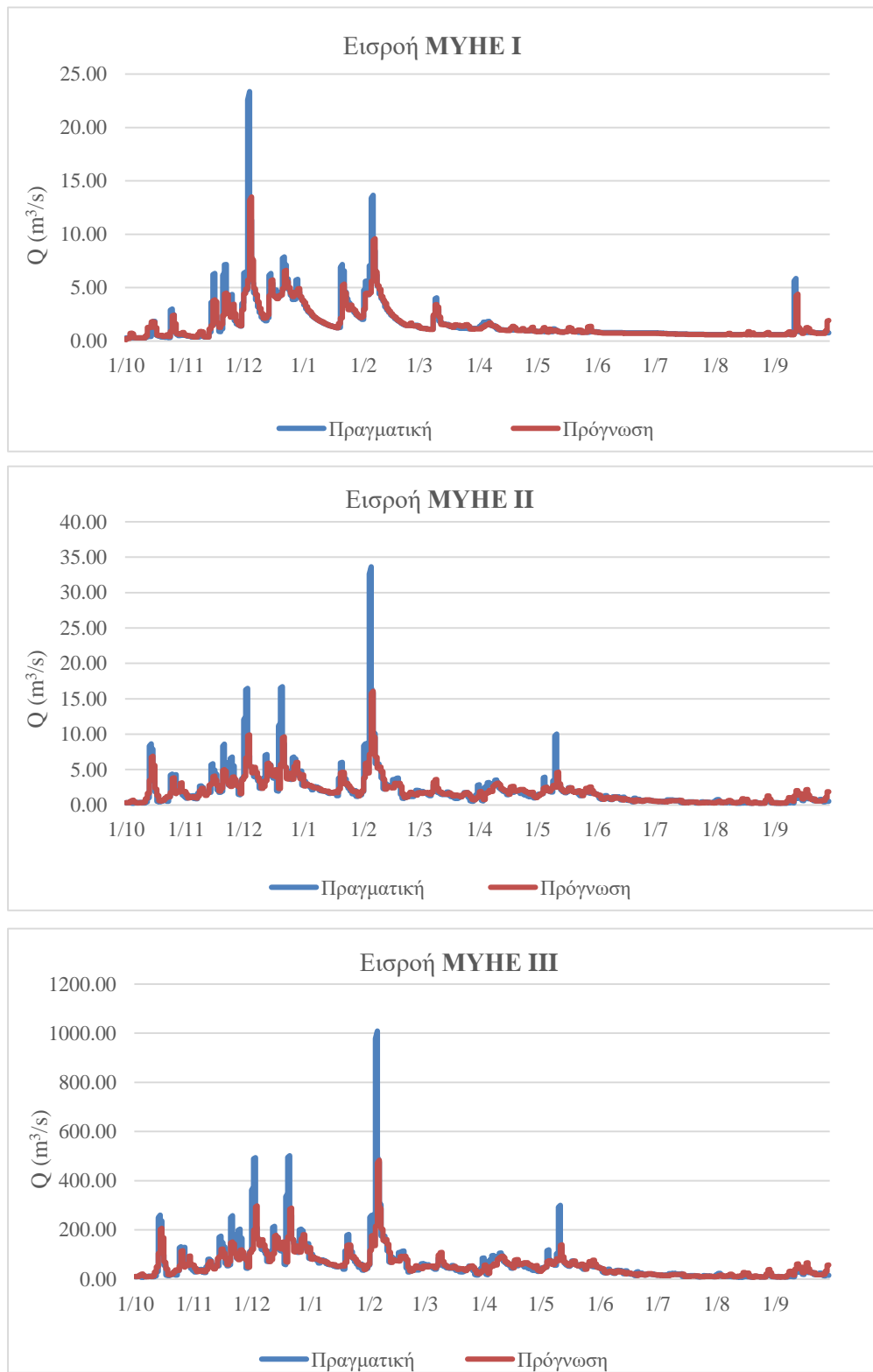


Διάγραμμα 5.1 Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (Αύγουστος)

### 5.3 Μικρά υδροηλεκτρικά έργα

#### 5.3.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Για την προσομοίωση της λειτουργίας των υπό εξέταση ΜΥΗΕ λαμβάνονται ωριαία δεδομένα ενός έτους, τα οποία αφορούν προγνωστικές και πραγματικές εισροές ρεμάτων. Οι προγνώσεις έχουν προκύψει μέσω εξειδικευμένων μαθηματικών μοντέλων (Δρακάκη, 2021, Drakaki et al., 2021). Τα δεδομένα των εισροών (πριν την αφαίρεση της περιβαλλοντικής παροχής) παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 5.2 έως 5.4.



Διαγράμματα 5.2 - 5.4 Πρόγνωση και πραγματικές τιμές εισροής ΜΥΗΕ (1 έτος)

Όπως παρατηρείται στα παραπάνω διαγράμματα, η κατανομή των εισροών είναι έντονα κυμαινόμενη με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται κατά του χειμερινούς μήνες, όταν και οι βροχοπτώσεις είναι αυξημένες. Τους θερινούς μήνες οι εισροές είναι γενικά σταθερές, παρουσιάζουν δηλαδή μικρότερες διακυμάνσεις, και είναι σχετικά περιορισμένες. Για το ΜΥΗΕ Ι η μεγαλύτερη τιμή εισροής (ίση με 23.36 m<sup>3</sup>/s) εμφανίζεται το μήνα Δεκέμβριο, ενώ για τα ΜΥΗΕ ΙΙ και ΙΙΙ (33.64 m<sup>3</sup>/s και 1009.14 m<sup>3</sup>/s, αντίστοιχα) που αποτελούν μέρος του ίδιου ρέματος το Φεβρουάριο. Συγκρίνοντας τις προγνώσεις με τις πραγματικές τιμές, χαρακτηριστική είναι η στοχαστικότητα της χρονοσειράς, η οποία αποδεικνύει την αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τα καιρικά φαινόμενα. Ωστόσο, οι πραγματικές εισροές φαίνεται να υπερβαίνουν τις προγνώσεις σε μεγάλο ποσοστό του χρόνου, γεγονός που μπορεί να ωφελήσει το σύστημα προσφέροντας μεγαλύτερη ποσότητα παραγόμενης ενέργειας. Παράλληλα, όμως η κακή πρόβλεψη που διέπει τις εισροές των υπό εξέταση ρεμάτων ενδέχεται να επιφέρει αρνητικές συνέπειες στον παίκτη που κατέχει μονάδες παραγωγής ενέργειας, καθώς η πρόβλεψη θα διαμορφώσει την τελική θέση του στον ΗΕΠ.

### 5.3.2 Παραγόμενη ενέργεια από τα ΜΥΗΕ

Για τον υπολογισμό των παραγόμενων ποσοτήτων ενέργειας από τα ΜΥΗΕ χρησιμοποιούνται οι σχέσεις της παραγράφου 3.3.2. Παράλληλα, υπολογίζονται τα ακόλουθα μεγέθη που επιτρέπουν την αξιολόγηση των μονάδων παραγωγής και της αποδοτικότητάς τους.

- **Ποσοστό χρόνου λειτουργίας**

Αφορά την πιθανότητα να παραχθεί ενέργεια κατά τη διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης. Υπολογίζεται ως το ποσοστό του χρόνου που η διερχόμενη από τον στρόβιλο παροχή ( $Q_T$ ) λαμβάνει θετικές τιμές.

- **Ποσοστό εκμεταλλεύσιμου όγκου**

Υπολογίζεται ως ο λόγος της μέσης τιμής της διερχόμενης παροχής ( $Q'$ ) προς την μέση τιμή εκμεταλλεύσιμης παροχής ( $Q_T$ ).

- **Συντελεστής Δυναμικότητας (Σ.Δ.)**

Στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα χωρίς ταμειυτήρα η παραγόμενη ενέργεια εξαρτάται κυρίως από την υδρολογική δίαιτα του ποταμού. Ο Σ.Δ. μπορεί να «σχεδιαστεί» λαμβάνοντας υπόψη το εύρος των παροχών εκμετάλλευσης. Εκφραζόμενος σε ετήσια βάση, ορίζεται ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας προς τη θεωρητικά μέγιστη ενέργεια που μπορεί να παραχθεί, δηλαδή:

$$\Sigma. \Delta. = \frac{\text{Μέση τιμή παραγόμενης ενέργειας} \cdot 1000}{\text{Ισχύς για ονομαστική παροχή} \cdot 8760}$$

Εξίσωση 5.2

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.2 έως 5.4, όπου πράγματι ο συντελεστής δυναμικότητας προσεγγίζει όσο το δυνατόν περισσότερο την τιμή 0.30 για την οποία

σχεδιάστηκε. Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία (και αντίστοιχα τη νομοθεσία της περιοχής μελέτης), το ποσοστό του χρόνου λειτουργίας των έργων πρέπει να υπερβαίνει το 30 %, το οποίο κατά γενική ομολογία ισχύει και στα τρία έργα. Όσον αφορά το ποσοστό του εκμεταλλεύσιμου όγκου που πρέπει να υπερβαίνει το 75 %, παρατηρείται ότι δεν συμβαίνει στο ΜΥΗΕ ΙΙΙ, γεγονός που μπορεί να εξηγηθεί από την πολύ μεγάλη εισροή που χαρακτηρίζει εκείνο το σημείο στην κοίτη του έργου. Στα ακόλουθα Διαγράμματα 5.5 έως 5.7 δίνονται τα γραφήματα των προγνώσεων και των πραγματικών παραγόμενων ποσοτήτων ενέργειας των τριών μικρών υδροηλεκτρικών έργων.

**Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ Ι**

Δεδομένα	Πραγματικά			Πρόγνωση		
	Pelton 1	Pelton 2	Σύνολο	Pelton 1	Pelton 2	Σύνολο
Στρόβιλος						
Ισχύς για Ονομαστική Παροχή (MW)	7.50	2.50	10.00	7.50	2.50	10.00
Βαθμός Απόδοσης στη Μέγιστη Παροχή $\eta$	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Ονομαστική Παροχή $Q_{\max}$ (m <sup>3</sup> /s)	3.44	1.15	4.59	3.44	1.15	4.59
Ελάχιστη Παροχή Λειτουργίας $Q_{\min}$ (m <sup>3</sup> /s)	0.34	0.11	0.45	0.34	0.11	0.45
Ποσοστό Χρόνου Λειτουργίας	0.75	0.32		0.78	0.29	
Ποσοστό Εκμεταλλεύσιμου Όγκου	0.87	0.11		0.89	0.11	
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	19.43	2.92	22.35	19.88	2.43	22.31
<b>Συντελεστής Δυναμικότητας</b>			<b>0.26</b>			<b>0.25</b>

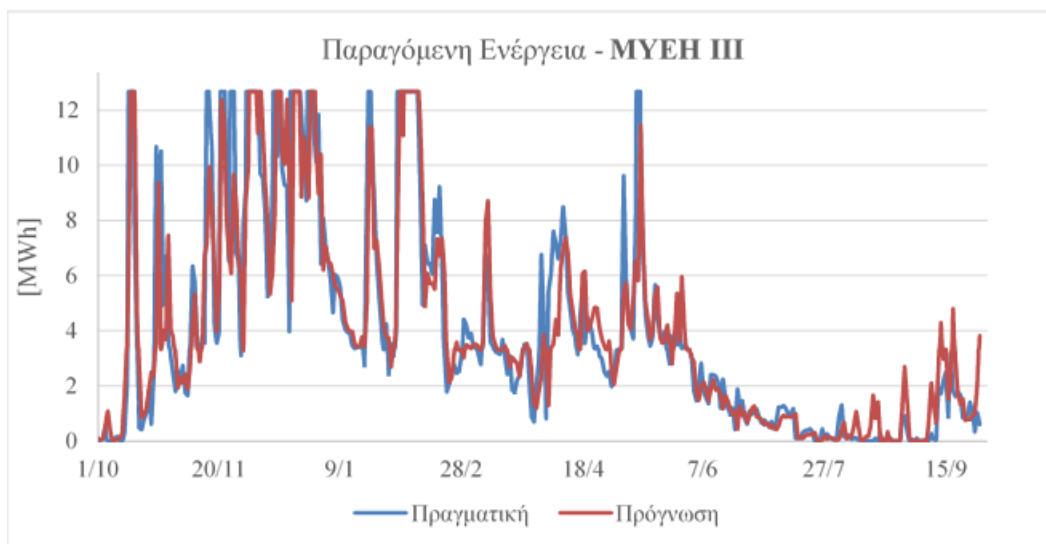
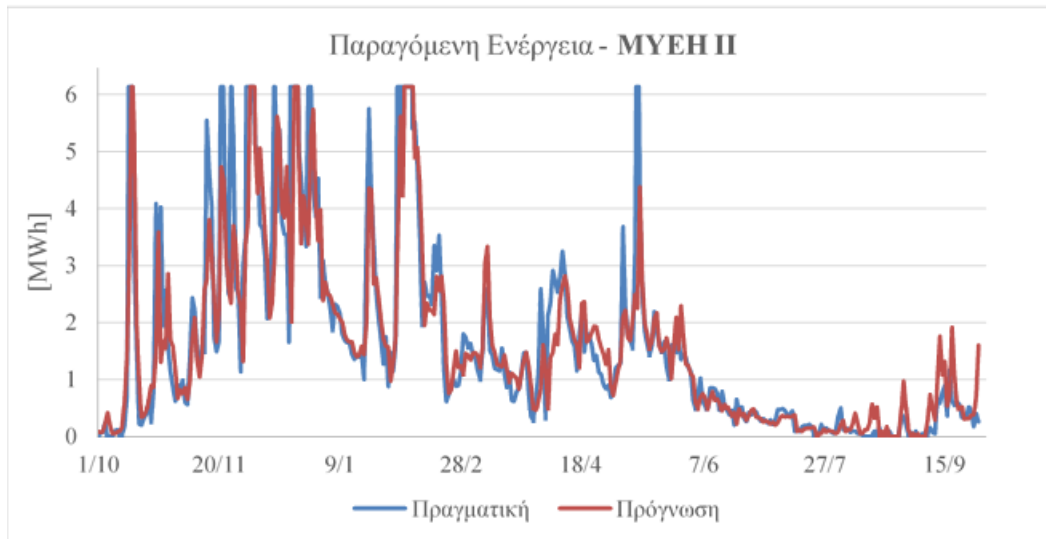
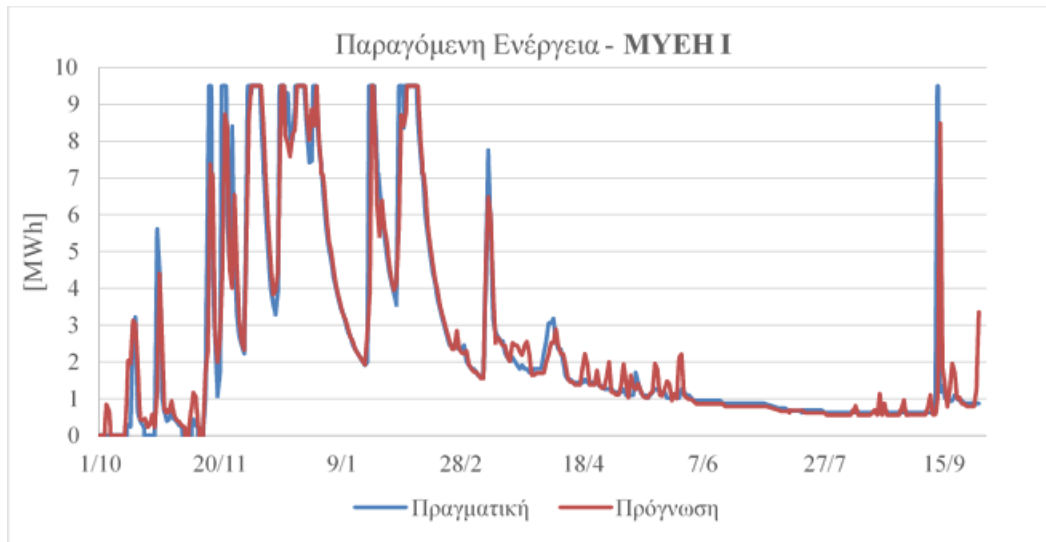
**Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ ΙΙ**

Δεδομένα	Πραγματικά			Πρόγνωση		
	Pelton 1	Pelton 2	Σύνολο	Pelton 1	Pelton 2	Σύνολο
Στρόβιλος						
Ισχύς για Ονομαστική Παροχή (MW)	5.91	0.55	6.46	5.91	0.55	6.46
Βαθμός Απόδοσης στη Μέγιστη Παροχή $\eta$	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Ονομαστική Παροχή $Q_{\max}$ (m <sup>3</sup> /s)	5.65	0.52	6.17	5.65	0.52	6.17
Ελάχιστη Παροχή Λειτουργίας $Q_{\min}$ (m <sup>3</sup> /s)	0.56	0.05	0.61	0.56	0.05	0.61
Ποσοστό Χρόνου Λειτουργίας	0.68	0.32		0.71	0.28	
Ποσοστό Εκμεταλλεύσιμου Όγκου	0.94	0.06		0.95	0.05	
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	13.80	0.81	14.61	13.44	0.68	14.12
<b>Συντελεστής Δυναμικότητας</b>			<b>0.26</b>			<b>0.25</b>

**Πίνακας 5.4 Χαρακτηριστικά ΜΥΗΕ ΙΙΙ**

Δεδομένα	Πραγματικά			Πρόγνωση		
	Kaplan 1	Kaplan 2	Σύνολο	Kaplan 1	Kaplan 2	Σύνολο
Στρόβιλος						
Ισχύς για Ονομαστική Παροχή (MW)	3.50	9.85	13.35	3.50	9.85	13.35
Βαθμός Απόδοσης στη Μέγιστη Παροχή $\eta$	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Ονομαστική Παροχή $Q_{\max}$ (m <sup>3</sup> /s)	38.34	107.94	146.28	38.34	107.94	146.28
Ελάχιστη Παροχή Λειτουργίας $Q_{\min}$ (m <sup>3</sup> /s)	0.96	2.70	3.66	0.96	2.70	3.66
Ποσοστό Χρόνου Λειτουργίας	0.97	0.48		0.98	0.51	
Ποσοστό Εκμεταλλεύσιμου Όγκου	0.54	0.46		0.57	0.43	
Μέση Ετήσια Ενέργεια (GWh)	19.65	16.23	35.88	20.60	14.85	35.45
<b>Συντελεστής Δυναμικότητας</b>			<b>0.31</b>			<b>0.30</b>





Διαγράμματα 5.5 -5.7 Πρόγνωση και πραγματικές ποσότητες παραγόμενης ενέργειας ΜΥΕΗ (1 έτος)

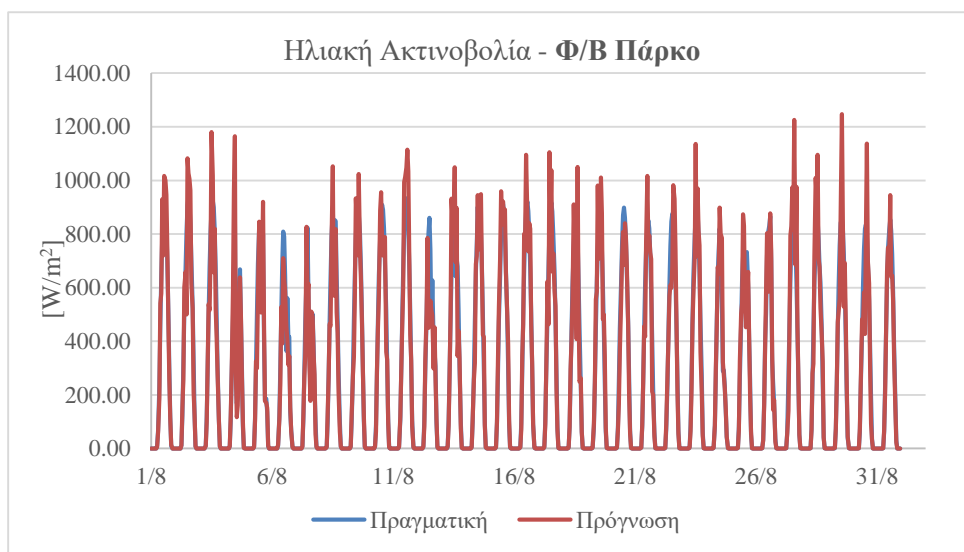
## 5.4 Φωτοβολταϊκό πάρκο

### 5.4.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Για την αποτίμηση των ενεργειακών απολαβών και της παραγόμενης ενέργειας του εν λόγω φωτοβολταϊκού πάρκου ακολουθήθηκε η διαδικασία «από την πηγή προς την κατανάλωση». Πηγή ενέργειας είναι η ηλιακή ακτινοβολία και τελικός καταναλωτής το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας η ηλιακή ενέργεια καταφθάνει στη γη μειωμένη, καθώς εξασθενεί διαπερνώντας το σώμα της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος απορροφάται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας, όπως η υπεριώδης ακτινοβολία από το όζον, ενώ ένα ποσοστό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας φτάνει στη γη. Για το λόγο αυτό η ολική ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος διακρίνεται σε:

- **Άμεση ακτινοβολία (direct radiation):** Η ακτινοβολία που λαμβάνεται χωρίς να υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα.
- **Διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation):** Η προερχόμενη από ανακλάσεις σε μόρια του αέρα ακτινοβολία, η οποία φτάνει στο έδαφος.

Για την προσομοίωση της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πάρκου λαμβάνονται ωριαία δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας ( $W/m^2$ ) για το χρονικό διάστημα ενός έτους. Για την παραγωγή προγνώσεων ακολουθείται η διαδικασία της *Εξίσωσης 5.1*, με την τυπική απόκλιση να διαφοροποιείται στην τιμή 0.20 (20 %). Η κατανομή των δεδομένων ενδεικτικά για το μήνα Αύγουστο παρουσιάζεται στο *Διάγραμμα 5.8*.



Διάγραμμα 5.8 Πρόγνωση και πραγματικές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας (Αύγουστος)

### 5.4.2 Παραγόμενη ενέργεια από το φωτοβολταϊκό πάρκο

Η ελάχιστη τιμή ηλιακής ακτινοβολίας για την οποία τα πάνελ δουλεύουν στην ονομαστική τους ισχύ είναι τα  $1000 W/m^2$ . Από εκείνη την τιμή και ύστερα παράγουν ενέργεια με πλήρη αξιοποίηση

της δυναμικότητάς τους. Έτσι, η παραγόμενη ενέργεια από τα πάνελ (σε MWh) δίνεται από την Εξίσωση 5.3.

$$E_{\phi/\beta} = \frac{(\min(1000, I) \cdot A \cdot E)}{10^6} [MWh]$$

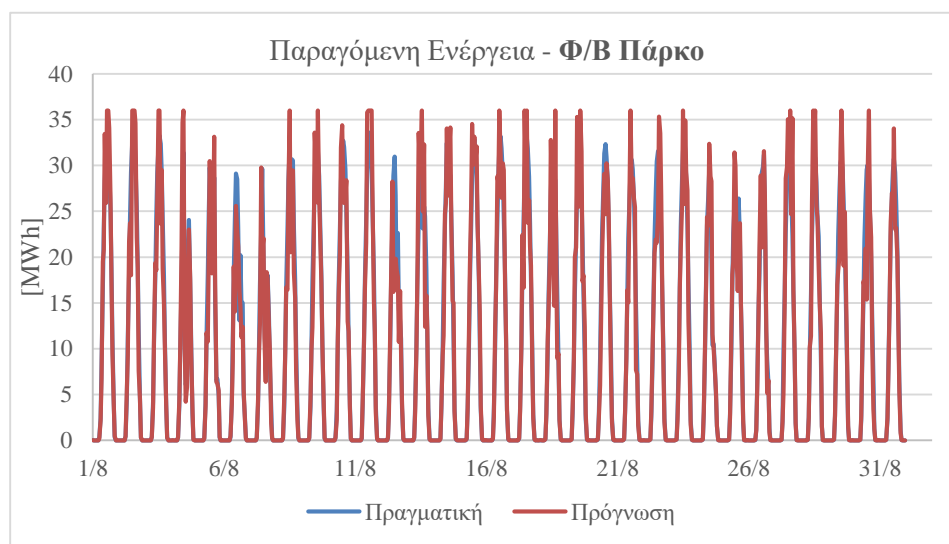
Εξίσωση 5.3

όπου  $E_{\phi/\beta}$  η παραγόμενη ενέργεια από τα πάνελ,  $I$  η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτά ( $W/m^2$ ),  $A$  η επιφάνεια των πάνελ ( $m^2$ ) και  $E$  ο συντελεστής απόδοσής τους.

Πολλαπλασιάζοντας την ποσότητα ενέργειας κάθε χρονικού βήματος με το πλήθος των πάνελ που εγκαθίστανται (εδώ 100.000), προκύπτει η συνολική παραγόμενη ενέργεια από το υπό μελέτη φωτοβολταϊκό πάρκο για κάθε ώρα του 24ώρου. Προσομοιώνοντας, λοιπόν, το σύστημα σύμφωνα με τα προγνωστικά και πραγματικά δεδομένα, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Να σημειωθεί ότι ΣΔ της τάξης του 19 με 20 % είναι αρκετά ικανοποιητικός για το σύστημα.

Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα φ/β πάρκου		
	Πραγματικά	Πρόγνωση
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	36.00	36.00
Ποσοστό χρόνου λειτουργίας	64 %	64 %
Μέση Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας (GWh)	64.30	63.80
<b>Συντελεστής Δυναμικότητας</b>	<b>0.19</b>	<b>0.20</b>

Στο Διάγραμμα 5.9 δίνεται το γράφημα των προγνώσεων και των πραγματικών παραγόμενων ποσοτήτων ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου για τον Αύγουστο.



Διάγραμμα 5.9 Πρόγνωση και πραγματικές ποσότητες παραγόμενης ενέργειας φωτοβολταϊκού πάρκου (Αύγουστος)

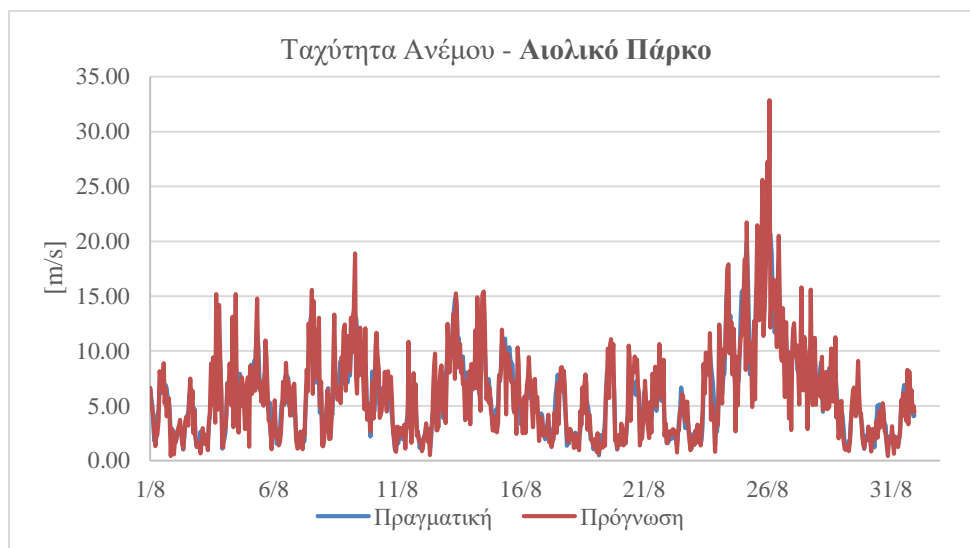
## 5.5 Αιολικό πάρκο

### 5.5.1 Δεδομένα προσομοίωσης αιολικού πάρκου

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από το αιολικό πάρκο χρησιμοποιούνται ωριαία δεδομένα ταχυτήτων ανέμου σε μονάδες m/s. Εναλλακτικά, η ταχύτητα του ανέμου ενδέχεται να λαμβάνεται από βάσεις δεδομένων (ή άλλες πηγές) στην κλίμακα Beaufort. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται η μετατροπή της σε m/s (ή μονάδες όπως km/h, knots), η οποία επιτυγχάνεται με γραμμική παλινδρόμηση σε δεδομένα πινάκων, με εμπειρικές σχέσεις, ή εναλλακτικά με την χρήση ροδογράμματος (wind rose).

Τα δεδομένα της μελέτης δίνονται απ' ευθείας σε μονάδες m/s και είναι μετρημένα στο ύψος του ανεμομέτρου, που είναι τοποθετημένο στα 3 m από το έδαφος. Για την παραγωγή προγνώσεων ακολουθείται η διαδικασία της *Εξίσωσης 5.1*, με την τυπική απόκλιση να διαφοροποιείται στην τιμή 0.30 (30 %). Αξίζει να σημειωθεί ότι η διακύμανση των ταχυτήτων ανέμου είναι περισσότερο έντονη σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία, γεγονός που την καθιστά και περισσότερο αβέβαιη προγνωστικά, γι' αυτό και η τυπική απόκλιση λαμβάνεται μεγαλύτερη.

Γραφική αναπαράσταση των προγνωστικών και πραγματικών δεδομένων που αξιοποιούνται στην προσομοίωση ενδεικτικά για το μήνα Αύγουστο δίνεται στο *Διάγραμμα 5.10*.



**Διάγραμμα 5.10** Πρόγνωση και πραγματικές τιμές ταχύτητας ανέμου (Αύγουστος)

Η ταχύτητα του ανέμου διαφοροποιείται ανάλογα με το ύψος που μετράται, γι' αυτό και απαιτείται η αναγωγή της στο ύψος της Α/Γ, προκειμένου να υπολογίζεται η ακριβής ενεργειακή της απολαβή. Η αναγωγή πραγματοποιείται με τον παρακάτω λογαριθμικό νόμο (*Εξίσωση 5.4*).

$$u^* = u \cdot \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)}$$

**Εξίσωση 5.4**

όπου  $u^*$  η ανηγμένη στο ύψος της Α/Γ ταχύτητα (σε m/s),  $u$  η ταχύτητα στο ύψος του ανεμομέτρου (σε m/s),  $z_2$  το ύψος της πτερωτής ίσο με τα 100 m,  $z_1$  το ύψος του ανεμομέτρου (ίσο με 3 m) και  $a$  η παράμετρος τραχύτητας του εδάφους, η οποία στην προκειμένη περίπτωση λαμβάνεται ίση με 15 cm, θεωρώντας βλάστηση με ύψος 1-2 m στην περιοχή χωροθέτησης του αιολικού πάρκου.

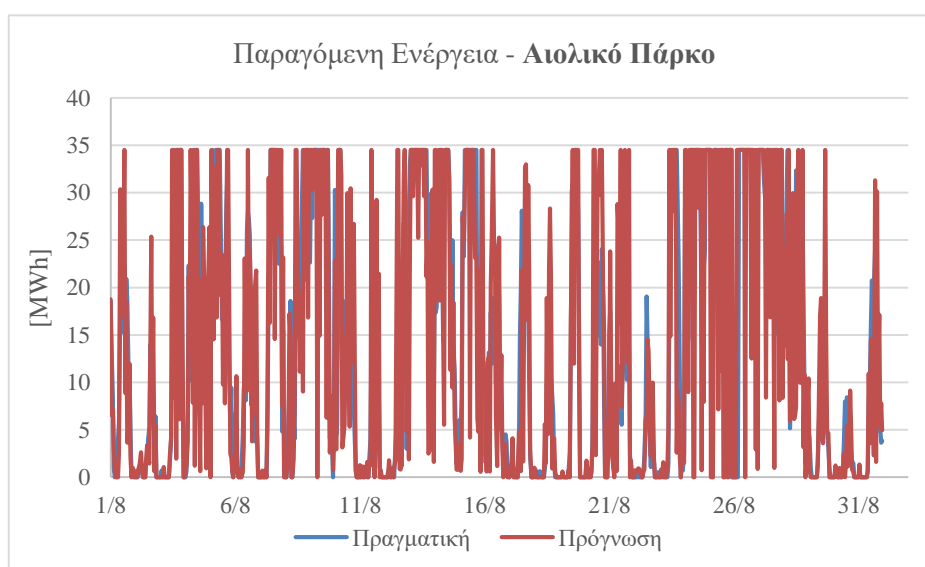
Η ταχύτητα  $u^*$  αποτελεί το δεδομένο εισόδου σε ωριαία βάση για την προσομοίωση της λειτουργίας του 24-ώρου.

### 5.5.2 Παραγόμενη ενέργεια από το αιολικό πάρκο

Για την λειτουργία της Α/Γ, απαιτείται η ταχύτητα του ανέμου να κυμαίνεται στο εύρος 3.5 – 25 m/s. Σε κάθε άλλη περίπτωση τίθεται εκτός λειτουργίας. Η παραγόμενη ενέργεια από την εκάστοτε Α/Γ εξαρτάται από την καμπύλη ισχύος που δίνεται από τον κατασκευαστή. Είτε αυτή δίνεται αναλυτικά ως χρονοσειρά, είτε ως εμπειρική σχέση, κάθε τιμή ταχύτητας ανέμου αντιστοιχεί σε μια τιμή ισχύος και, ανάλογα με το χρονικό βήμα, σε ποσότητα παραγόμενης ενέργειας. Ακολουθώντας αυτή τη διαδικασία και πολλαπλασιάζοντας την ενέργεια με το πλήθος των Α/Γ (εδώ 23), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα για το αιολικό πάρκο.

<b>Πίνακας 5.6</b> Αποτελέσματα αιολικού πάρκου		
	<b>Πραγματικά</b>	<b>Πρόγνωση</b>
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	34.50	34.50
Ποσοστό χρόνου λειτουργίας	71 %	67 %
Μέση Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας (GWh)	67.50	65.6
<b>Συντελεστής Δυναμικότητας</b>	<b>0.22</b>	<b>0.22</b>

Στο *Διάγραμμα 5.11* δίνεται το γράφημα των προγνώσεων και των πραγματικών παραγόμενων ποσοτήτων ενέργειας για τον Αύγουστο εκ μέρους του αιολικού πάρκου



**Διάγραμμα 5.11** Πρόγνωση και πραγματικές ποσότητες παραγόμενης ενέργειας αιολικού πάρκου (Αύγουστος)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Προσομοίωση Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (HEΠ) στην εικονική αγορά ενέργειας**

### **6.1 Εισαγωγή στην προσομοίωση του HEΠ**

#### **6.1.1 Σκοπός της προσομοίωσης**

Προκειμένου να μελετηθεί η απόκριση του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) στις απαιτήσεις της ζήτησης και στις διακυμάνσεις των καιρικών συνθηκών, και προκειμένου να διερευνηθεί η λειτουργία της αγοράς ενέργειας, τελείται στην παρούσα εργασία η προσομοίωση και επίλυση του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (HEΠ). Ο όρος του HEΠ αναφέρεται στον ημερήσιο καθορισμό της παραγωγής ενέργειας των μονάδων ενός αυτόνομου ηλεκτρικού συστήματος. Αποσκοπεί στην ικανοποίηση της ζήτησης των καταναλωτών, ικανοποιώντας παράλληλα την τήρηση των περιορισμών ασφαλείας και των κανόνων λειτουργίας του συστήματος. Ο προγραμματισμός τελείται από τον Διαχειριστή του Συστήματος την προηγούμενη ημέρα της κατανομής, η οποία ταυτίζεται με μία 24ωρη ημερολογιακή μέρα. Συχνά η ημερολογιακή μέρα δύναται να χωριστεί σε δύο 12ωρες περιόδους, παρέχοντας τη δυνατότητα αναπροσαρμογής του προημερήσιου προκαταρκτικού προγραμματισμού για την δεύτερη περίοδο. Τέλος, η μικρότερη χρονική διάρκεια που μπορεί να αποτελέσει το ελάχιστο βήμα προγραμματισμού είναι η περίοδος κατανομής, ή ώρα κατανομής, η οποία αντιστοιχεί σε μία ωρολογιακή ώρα (Ραφτούλη & Τσοκάνου, 2016).

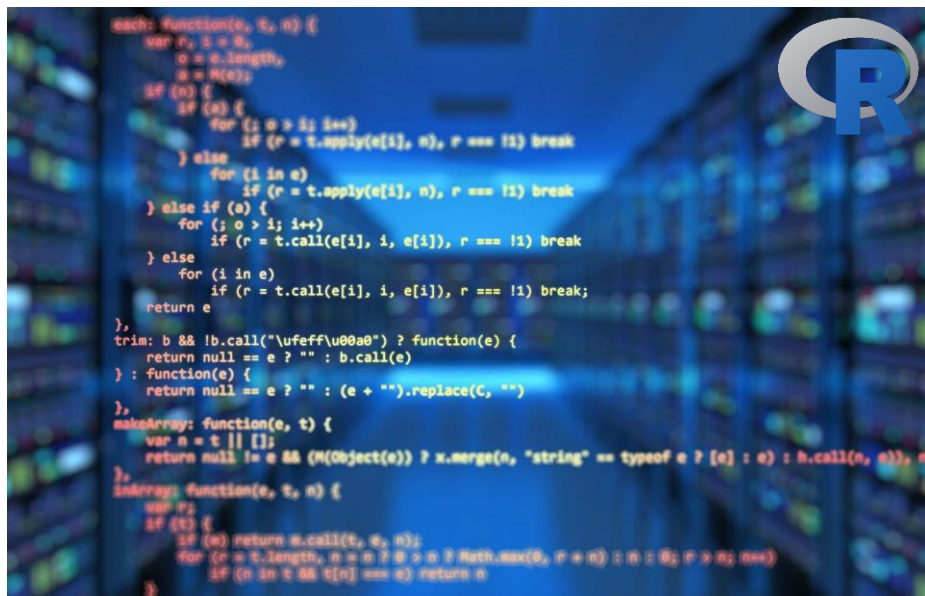
Μέσω της παραπάνω διαδικασίας ελέγχεται πώς η παραγόμενη ενέργεια των μονάδων διοχετεύεται στο δίκτυο, πώς αντιμετωπίζεται η περίπτωση ελλειμμάτων, πώς τελείται η διαχείριση των πλεονασμάτων και τελικά πώς εκκαθαρίζονται οι αποκλίσεις μεταξύ πρόγνωσης και πραγματικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Διαμορφώνονται εναλλακτικά σενάρια, τα οποία διαφοροποιούνται με αλλαγές σε ορισμένα κριτήρια λειτουργίας, και τελικά διαπιστώνεται ποιο σενάριο είναι το βέλτιστο, αξιολογώντας τα μέτρα επίδοσης που προσδιορίζονται για την διευκόλυνση της επιλογής.

#### **6.1.2 Επίλυση προσομοίωσης μέσω της γλώσσας προγραμματισμού R**

Για την προσομοίωση του ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού, τον καθορισμό και την ανάλυση των επιμέρους σεναρίων, χρησιμοποιείται η γλώσσα προγραμματισμού R. Αρχικοί δημιουργοί της ήταν οι Robert Gentleman και Ross Ihaka, ενώ αργότερα συνέβαλλαν και άλλοι στην διαμόρφωση και την ανάπτυξή της. Σαν γλώσσα προγραμματισμού ανοικτού κώδικα, η R παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα της ανάλυσης δεδομένων, της υπολογιστικής στατιστικής, καθώς και της παραγωγής γραφημάτων, διαθέτοντας όλα τα απαραίτητα εργαλεία για την εκτέλεση μιας στατιστικής ανάλυσης. Το GNU λογισμικό της επιτρέπει στον καθένα να βελτιώσει τον πηγαίο κώδικά της. Τέλος, είναι εφικτή η αλληλεπίδραση και με άλλες γλώσσες προγραμματισμού (C/C++, Java, Python), με αρχεία δεδομένων (Excel, Access) και άλλα στατιστικά πακέτα (SAS, Stata, SPSS, Minitab).

Συνήθως μαζί με την R εγκαθίσταται και το R Studio, το οποίο είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (Integrated Development Environment - IDE) της R, που επιτρέπει την ευκολότερη, σε σχέση με τη βασική έκδοση, αξιοποίηση των δυνατοτήτων της.

Η R υποστηρίζει έξι (6) διαφορετικούς τύπους δεδομένων: διανύσματα (vectors), πίνακες (matrices), πίνακες πολλαπλών διαστάσεων (arrays), λίστες (lists), παράγοντες (factors) και πλαίσια δεδομένων (data frames). Ο, δε, διερμηνευτής της R, αφού αξιολογήσει μία έκφραση, επιστρέφει μία τιμή, η οποία μπορεί να είναι: λογική (logical), αριθμητική (arithmetic), μιγαδική (complex), ή κείμενο (character).



Εικόνα 6.1 Το προγραμματιστικό περιβάλλον της R

## 6.2 Δεδομένα προσομοίωσης ΗΕΠ

Για την προκείμενη προσομοίωση εισάγονται στον κώδικα δύο (2) είδη δεδομένων: δεδομένα ζήτησης και καιρικών συνθηκών και δεδομένα που αφορούν τις μονάδες παραγωγής ενέργειας των παικτών – παραγωγών του συστήματος. Τα πρώτα εισάγονται στο περιβάλλον της R ως data frames, μέσω υπολογιστικών αρχείων Microsoft Excel, ενώ τα δεύτερα σαν αριθμητικές μεταβλητές.

### 6.2.1 Δεδομένα ζήτησης και καιρικών συνθηκών

Στόχος του ΗΕΠ είναι πάντοτε να διατηρείται το ισοζύγιο παραγωγής – ζήτησης με τον αποτελεσματικότερο κάθε φορά τρόπο. Όπως έχει προαναφερθεί, στο σύστημα ηλεκτροδότησης της περιοχής μελέτης κυριαρχικός είναι ο ρόλος των μονάδων ΑΠΕ, καθώς έχουν την ιεραρχική προτεραιότητα στην κάλυψη της ζήτησης. Εκμεταλλεζόμενες το έντονο δυναμικό των κλιματικών

συνθηκών της περιοχής, προωθούν την καθαρή ενέργεια και εκπληρώνουν τους διεθνείς περιβαλλοντικούς στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης. Για την προσομοίωση, επομένως, του ΗΕΠ απαιτούνται τόσο δεδομένα ζήτησης της περιοχής, όσο και δεδομένα καιρικών συνθηκών που αφορούν την περιοχή μελέτης, με σκοπό τον υπολογισμό των δυνητικών και πραγματικών παραγόμενων ποσοτήτων ενέργειας από τις μονάδες ΑΠΕ. Εισάγονται, λοιπόν, τα εξής δεδομένα:

- Δεδομένα ζήτησης
- Δεδομένα εισροών δύο (2) ρεμάτων (τριών (3) θέσεων)
- Δεδομένα ταχυτήτων ανέμου
- Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας (ανά μονάδα επιφάνειας)

Η προσομοίωση πραγματοποιείται για ένα (1) ημερολογιακό έτος με τα δεδομένα να ξεκινούν από το μήνα Οκτώβριο. Το βήμα τους είναι ωριαίο, καθώς ο ΗΕΠ επιλύεται για κάθε ώρα της ημέρας (ξεκινώντας από τις 00:00 έως τις 23:00), αφού διαφοροποιούνται σημαντικά τόσο η ζήτηση, όσο και οι καιρικές συνθήκες. Τις απογευματινές και τις πρώτες νυχτερινές ώρες αναμένεται η ζήτηση για ενέργεια να είναι αυξημένη, καθώς οι δραστηριότητες των καταναλωτών είναι, επίσης, αυξημένες. Φυσικά μια τέτοια παραδοχή εξαρτάται και από τις δραστηριότητες της περιοχής μελέτης. Παραδείγματος χάριν, εάν πρόκειται για βιομηχανική περιοχή, αναμένεται η ζήτηση να κατανέμεται διαφορετικά στο χρόνο, με τις μεγαλύτερες απαιτήσεις να καταγράφονται τις πρωινές ώρες της ημέρας, όποτε και συνήθως αναπτύσσονται οι περισσότερες βιομηχανικές δραστηριότητες. Σχετικά με τα δεδομένα των καιρικών συνθηκών, η μεγαλύτερη δυνατότητα στην πρόβλεψη δίνεται στα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς όπως είναι προφανές, ανάλογα με την ώρα του 24ώρου (ημέρα – νύχτα) οι ηλιακές συνθήκες διαφέρουν χαρακτηριστικά. Τα δεδομένα ζήτησης και καιρικών συνθηκών της προσομοίωσης παραστάθηκαν και παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5.

### 6.2.2 Δεδομένα σταθμών παραγωγής ενέργειας

Οι σταθμοί παραγωγής σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μεγιστοποιείται η συνολική απολαβή και αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων. Για την αξιοποίηση των δεδομένων των καιρικών συνθηκών με σκοπό τον υπολογισμό των παραγόμενων ποσοτήτων ενέργειας, απαιτούνται δεδομένα που αφορούν τους σταθμούς παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, για τον εκάστοτε σταθμό απαιτούνται τα εξής δεδομένα:

- **Μικρά υδροηλεκτρικά έργα:** ύψος πτώσης και χαρακτηριστικά στροβίλων, όπως ο τύπος, η ονομαστική ισχύς και οι συντελεστές του βαθμού απόδοσης
- **Φωτοβολταϊκό πάρκο:** διαστάσεις, συντελεστής απόδοσης, πλήθος και ονομαστική ισχύς φωτοβολταϊκών πάνελ
- **Αιολικό πάρκο:** παράμετρος τραχύτητας, ύψος πτερωτής Α/Γ, ύψος ανεμομέτρου για τον υπολογισμό του συντελεστή αναγωγής, πλήθος και ονομαστική ισχύς Α/Γ
- **Σταθμός φυσικού αερίου:** εγκατεστημένη ισχύς

Σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι εφικτός ο προσδιορισμός της παραγόμενης ενέργειας με βάση τη δυναμικότητα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάθε μονάδας. Η λειτουργία του κάθε σταθμού



σαφώς διαφοροποιείται εάν τα δεδομένα αυτά μεταβληθούν. Τα δεδομένα έχουν επιλεγεί με κριτήριο την μέγιστη αξιοποίηση των απολαβών ενέργειας και με γνώμονα η κατανομή της δυναμικότητας να γίνεται ισόποσα μεταξύ των παικτών – παραγωγών. Παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4, όπου πραγματοποιείται ο σχεδιασμός των μονάδων παραγωγής ενέργειας, ενώ εισάγονται στον κώδικα σαν σταθερές αριθμητικές τιμές.

### 6.3 Εισαγωγή στην επίλυση του ΗΕΠ

Στη χονδρεμπορική αγορά συναλλάσσεται το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται εντός των συνόρων μιας χώρας και καθορίζονται οι εισαγόμενες και εξαγόμενες ποσότητες ενέργειας, σύμφωνα πάντα με έναν ενδελεχή προγραμματισμό. Ο προγραμματισμός αυτός αφορά τρία συνολικά 24-ωρα, τελείται πιστά σε καθημερινή βάση και επιλύεται στα πλαίσια του Χρηματιστηρίου Ενέργειας. Η λειτουργία της χονδρεμπορικής αγοράς ενέργειας, δηλαδή ο ημερήσιος ενεργειακός προγραμματισμός, όπως αυτός προσομοιώνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία, περιλαμβάνει τα εξής πέντε (5) στάδια:

1. **Προηγούμενη ημέρα (D-1):** Προβλέψεις και υποβολή προσφορών
2. **Προηγούμενη ημέρα (D-1):** Προγραμματισμός λειτουργίας
3. **Ημέρα φυσικής παράδοσης (D):** Πραγματική παραγωγή
4. **Ημέρα φυσικής παράδοσης (D):** Πραγματική λειτουργία και εντολές κατανομής
5. **Επόμενη ημέρα από τη φυσική παράδοση (D+1):** Υπολογισμός αποκλίσεων

Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας παρουσιάζονται σύμφωνα με τον Πίνακα 6.1 για κάθε ώρα του 24ώρου και για κάθε παίκτη – παραγωγό που συμμετέχει στην αγορά ενέργειας της περιοχής μελέτης.

Ημέρα Εντολής	Περίοδοι Κατανομής	0:00	1:00	2:00	(...)	23:00
<b>Προηγούμενη ημέρα (D-1)</b> Προβλέψεις και υποβολή προσφορών	Ζήτηση (MW)					
	Παίκτης Α (MW)					
	Παίκτης Β (MW)					
	Παίκτης Γ (MW)					
<b>Προηγούμενη ημέρα (D-1)</b> Προγραμματισμός λειτουργίας	Παίκτης Δ (MW)					
	Παίκτης Α (MW)					
	Παίκτης Β (MW)					
	Παίκτης Γ (MW)					
<b>Ημέρα φυσικής παράδοσης (D)</b> Πραγματική παραγωγή	Παίκτης Δ (MW)					
	Παίκτης Α (MW)					
<b>Ημέρα φυσικής παράδοσης (D)</b> Πραγματική λειτουργία και εντολές κατανομής	Παίκτης Β (MW)					
	Παίκτης Γ (MW)					
	Παίκτης Δ (MW)					
	Παίκτης Α (MW)					
<b>Επόμενη ημέρα από τη φυσική παράδοση (D+1)</b> Υπολογισμός αποκλίσεων	Ζήτηση (MW)					
	Παίκτης Α (MW)					
	Παίκτης Β (MW)					
	Παίκτης Γ (MW)					
	Παίκτης Δ (MW)					

Πίνακας 6.1 Προεπισκόπηση πίνακα αποτελεσμάτων ΗΕΠ

## 6.4 Βασικό Σενάριο – Κανόνες λειτουργίας

### 6.4.1 Εισαγωγή στο Βασικό Σενάριο

Για την απλούστερη κατανόηση της επίλυσης του ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού στα πλαίσια της χονδρεμπορικής αγοράς ενέργειας, αναλύεται και επεξηγείται το «Βασικό Σενάριο». Το σενάριο αυτό διαμορφώνεται με απλούς κανόνες λειτουργίας της αγοράς, προκειμένου να γίνει αντιληπτή η διαδικασία επίλυσης του ΗΕΠ και απλούστερη η παρουσίαση της προσομοίωσής του. Οι κανόνες λειτουργίας του Βασικού Σεναρίου διατυπώνονται στη συνέχεια.

Έπειτα (στο Κεφάλαιο 7), μεταβάλλοντας ορισμένες μεταβλητές και παραδοχές, διαμορφώνονται εναλλακτικά σενάρια για την επίλυση του ΗΕΠ. Τα εναλλακτικά αυτά σενάρια προσομοιώνουν την αγορά ενέργειας με πιο σύνθετους κανόνες λειτουργίας, προσεγγίζοντας, έτσι, περισσότερο ρεαλιστικά το ζήτημα του ΗΕΠ και τη μορφή των πραγματικών αγορών ενέργειας. Στόχος αυτής της διαδικασίας είναι η ευρύτερη εποπτεία του προβλήματος, η εξέταση ποικίλων περιπτώσεων και η εξαγωγή των αντίστοιχων συμπερασμάτων. Φυσικά, υπάρχουν προοπτικές εξέλιξης του προβλήματος και ο ορισμός ακόμα πιο σύνθετων κανόνων και συνθηκών. Αναφορά στις προοπτικές μελλοντικής εξέλιξης της έρευνας γίνεται στο Κεφάλαιο 8 της παρούσας εργασίας.

### 6.4.2 Παίκτες – Παραγωγοί

Το εν λόγω σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυτόνομο, δηλαδή δεν αλληλεπιδρά με άλλα συστήματα εκτός των συνόρων της εικονικής χώρας, δεν πραγματοποιούνται εισαγωγές, ούτε εξαγωγές ενέργειας. Συμμετέχουν τέσσερις (4) παίκτες – παραγωγοί, οι οποίοι λαμβάνουν μέρος και στον ΗΕΠ. Σε πρώτη φάση εξετάζεται και επιλύεται το Βασικό Σενάριο, με την προσομοίωση να τελείται με την παραδοχή ότι ο κάθε παίκτης διαθέτει και από ένα σταθμό παραγωγής. Δηλαδή, η κατανομή των μονάδων είναι η εξής:

Παίκτης	Μονάδα παραγωγής	Ονομαστική Ισχύς (MW)
Παίκτης Α	Αιολικό πάρκο	29.8
Παίκτης Β	Φωτοβολταϊκό πάρκο	34.5
Παίκτης Γ	Μικρά υδροηλεκτρικά έργα	36.0
Παίκτης Δ	Σταθμός φυσικού αερίου	100.0

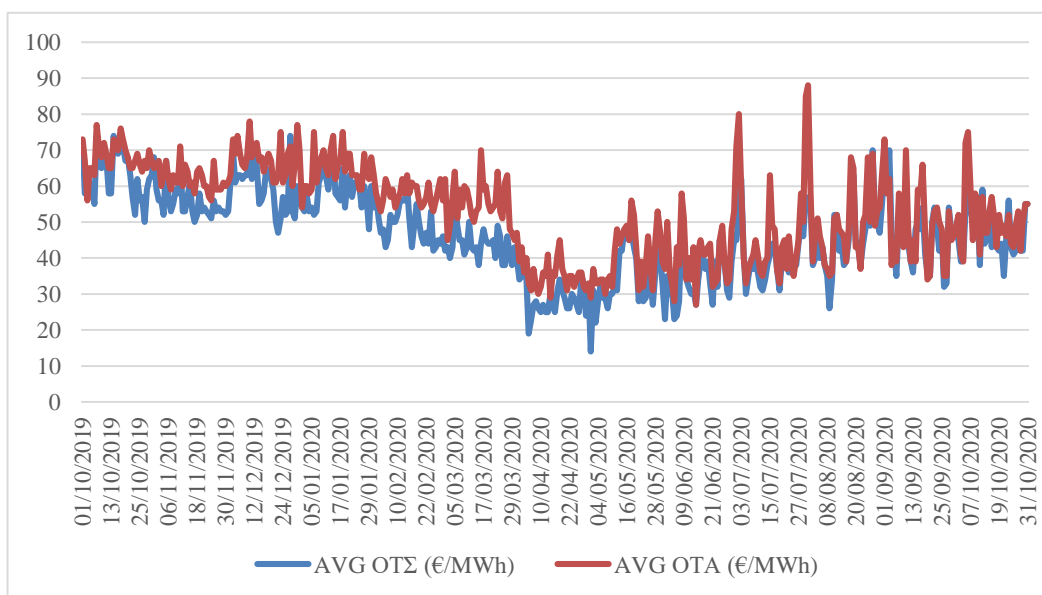
Στο Βασικό Σενάριο (**Σενάριο 1**) η ιεραρχία, σύμφωνα με την οποία οι παίκτες παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο, θεωρείται ότι παραμένει σταθερή σε κάθε χρονικό βήμα και καθ' όλη τη διάρκεια του ενός έτους της προσομοίωσης. Ο Παίκτης Δ, που κατέχει τον σταθμό φυσικού αερίου, διατηρεί την τελευταία θέση (4<sup>η</sup>), και καλείται να παρέχει ενέργεια όποτε οι πρώτοι τρεις παίκτες με τα συνολικά τους αποθέματα αδυνατούν να καλύψουν την ζήτηση. Η ιεραρχία μεταξύ των τριών πρώτων παικτών εναλλάσσεται, διαμορφώνοντας τα έξι βασικά σενάρια του Πίνακα 6.3. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την εύρεση του ευμενέστερου σεναρίου προς όφελος τόσο της αγοράς ενέργειας στο σύνολό της, όσο και των επιμέρους παικτών.

Πίνακας 6.3 Εναλλακτικά σενάρια ιεραρχίας παικτών – παραγωγών				
Σενάριο #	Παίκτης Α	Παίκτης Β	Παίκτης Γ	Παίκτης Δ
Σενάριο 1 <b>Βασικό Σενάριο</b>	1 <sup>ος</sup>	2 <sup>ος</sup>	3 <sup>ος</sup>	4 <sup>ος</sup>
Σενάριο 2	1 <sup>ος</sup>	3 <sup>ος</sup>	2 <sup>ος</sup>	4 <sup>ος</sup>
Σενάριο 3	2 <sup>ος</sup>	1 <sup>ος</sup>	3 <sup>ος</sup>	4 <sup>ος</sup>
Σενάριο 4	2 <sup>ος</sup>	3 <sup>ος</sup>	1 <sup>ος</sup>	4 <sup>ος</sup>
Σενάριο 5	3 <sup>ος</sup>	1 <sup>ος</sup>	2 <sup>ος</sup>	4 <sup>ος</sup>
Σενάριο 6	3 <sup>ος</sup>	2 <sup>ος</sup>	1 <sup>ος</sup>	4 <sup>ος</sup>

### 6.4.3 Οριακές τιμές (ΟΤΣ και ΟΤΑ)

Οι οριακές τιμές με τις οποίες εκκαθαρίζεται η αγορά, δηλαδή η Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ) και η Οριακή Τιμή Αποκλίσεων (ΟΤΑ), αποτελούν επέκταση της επίλυσης του ΗΕΠ. Ο καθορισμός τους ακολουθεί μια σύνθετη διαδικασία, η οποία επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και μεταβλητές. Μια συνοπτική αναφορά στη μεθοδολογία και τις παραμέτρους υπολογισμού τους δίνεται στο Κεφάλαιο 2. Να σημειωθεί ότι οι οριακές τιμές καθορίζονται για κάθε ώρα του 24ώρου ανάλογα με την αντίστοιχες προσφορές ενέργειας εκ μέρους των συμμετεχόντων.

Στο παρόν Βασικό Σενάριο επίλυσης του ΗΕΠ δεν πραγματοποιείται αναλυτικός υπολογισμός των οριακών τιμών. Αντιθέτως, έχουν ληφθεί δεδομένα των δύο αυτών τιμών από τη βάση δεδομένων του ΑΔΜΗΕ. Αποτελούν μέσες ημερήσιες τιμές ΟΤΣ και ΟΤΑ για χρονικό διάστημα ενός έτους και αφορούν την Ελληνική αγορά ενέργειας. Γραφική αναπαράσταση για την εποπτεία των υπό εξέταση δεδομένων δίνεται στο *Διάγραμμα 6.1*.



**Διάγραμμα 6.1** Μέσες Οριακές Τιμές Συστήματος (ΟΤΣ) και Αποκλίσεων (ΟΤΑ)

Αναλύοντας τα παραπάνω δεδομένα, προκύπτουν για τις ημερήσιες διακυμάνσεις των τιμών τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία (Πίνακας 6.4).

<b>Πίνακας 6.4 Στατιστικά στοιχεία οριακών τιμών</b>		
<b>Παράμετρος</b>	<b>ΟΤΣ (€/MWh)</b>	<b>ΟΤΑ(€/MWh)</b>
Μέση τιμή ( $\mu$ )	46.78	52.93
Max ημερήσια διακύμανση	21.00	35.00
Min ημερήσια διακύμανση	-23.00	-30.00
Μέση τιμή ημερήσιας διακύμανσης	22.00	32.50
Τυπική απόκλιση ( $\sigma$ )	12.00	22.00

Επειδή η προσομοίωση τελείται σε ωριαίο βήμα, η θεώρηση τυπικής απόκλισης της τάξης των 22 €/MWh για την ΟΤΣ και 32.5 €/MWh για την ΟΤΑ, ενδέχεται να μην ανταποκρίνεται στις πραγματικές ωριαίες διακυμάνσεις. Για το λόγο αυτό, γίνεται μια μικρή απομείωση αυτών των τιμών στα 12 €/MWh και 22 €/MWh, αντίστοιχα. Έτσι, θεωρείται ότι οι οριακές τιμές μεταβάλλονται σε κάθε χρονικό βήμα και παράγονται από τον κώδικα της R σαν τυχαίο αριθμοί της κανονικής κατανομής με μέση τιμή  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma$ , όπως αυτές ορίζονται παραπάνω.

## 6.5 Στάδια επίλυσης Βασικού Σεναρίου

### 6.5.1 Προηγούμενη ημέρα (D-1): Προβλέψεις και υποβολή προσφορών

Η πρώτη φάση του ΗΕΠ ξεκινάει την προηγούμενη ημέρα (D-1) από την προγραμματισμένη ημέρα της κατανομής (D). Πραγματοποιείται η πρόβλεψη της ζήτησης και των παραγόμενων ποσοτήτων ενέργειας και η υποβολή προσφορών εκ μέρους των παικτών – παραγωγών.

Οι προβλέψεις τελούνται με εξειδικευμένες μεθοδολογίες και σύνθετα μαθηματικά μοντέλα, βασιζόμενα σε ιστορικά δεδομένα και άλλες περισσότερο σύνθετες διαδικασίες. Η στοχαστικότητα είναι πάντα ένας παράγοντας που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, καθώς η αβεβαιότητα που προσάπτει στις προβλέψεις μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα κοστοβόρα για τους παραγωγούς. Στην παρούσα μελέτη, η διαδικασία της πρόβλεψης πραγματοποιείται με την απλουστευτική μεθοδολογία, όπως αυτή περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5. Προστίθεται, δηλαδή, στις ήδη παρατηρημένες τιμές δεδομένων ένα τυχαίο σφάλμα από την κανονική κατανομή. Έπειτα, οι «εισροές ενέργειας», δηλαδή τα μεγέθη των καιρικών συνθηκών, μετατρέπονται σε «εκροές ενέργειας», δηλαδή την παραγόμενη –εκ μέρους των σταθμών ΑΠΕ– ενέργεια.

Στη συνέχεια, αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία των προβλέψεων, τελείται η υποβολή των προσφορών, η οποία ακολουθεί το μοντέλο υποχρεωτικής κοινοπραξίας ισχύος (mandatory pool). Κάθε παίκτης υποχρεούται να παρέχει το σύνολο της παραγόμενης ισχύος του. Όση, δηλαδή, ποσότητα ενέργειας έχει προβλέψει ότι θα παράξει, υποχρεούται να τη διοχετεύσει στο σύστημα, εφόσον κληθεί να το κάνει με βάση τον προγραμματισμό. Ο Παίκτης Δ, που κατέχει το σταθμό φυσικού αερίου, προσφέρει, επίσης, πάντα το σύνολο της ισχύος του, που στην προκειμένη περίπτωση είναι τα 100 MW. Κατ' αυτόν τον τρόπο, συμπληρώνεται το πρώτο τμήμα του Πίνακα 6.1.

### 6.5.2 Προηγούμενη ημέρα (D-1): Προγραμματισμός λειτουργίας

Η επόμενη διαδικασία που τελείται την προηγούμενη ημέρα της κατανομής (D-1) είναι ο προγραμματισμός της λειτουργίας των μονάδων παραγωγής. Καθορίζεται η ποσότητα της ενέργειας που θα προσφέρει ο κάθε παίκτης στο δίκτυο, με βάση τη σειρά που κατέχει στην ιεραρχία και έπειτα με βάση τις προβλέψεις της ζήτησης και της παραγόμενης ενέργειας της μονάδας του.

Ο κώδικας που παράγει τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας σε ωριαίο βήμα γράφεται για τον κάθε επιμέρους παίκτη με μια ακολουθία (loop) εντολών IF. Παραδείγματος χάριν, για τον προγραμματισμό που αφορά τον Παίκτη A η λογική είναι η εξής:

- Εάν ο Παίκτης A είναι 1<sup>ος</sup>, προσφέρει το ελάχιστο μεταξύ της ζήτησης και της προβλεπόμενης παραγόμενης ενέργειας της μονάδας του.
- Εάν ο Παίκτης A είναι 2<sup>ος</sup>:
  - Εάν ο Παίκτης B είναι 1<sup>ος</sup>, ο Παίκτης A προσφέρει ενέργεια μόνο εφόσον ο Παίκτης B δε δύναται να καλύψει τη ζήτηση. Σε αυτή την περίπτωση, προσφέρει το ελάχιστο μεταξύ της ποσότητας που απαιτείται για να καλυφθεί η ζήτηση και της ποσότητας που έχει προβλεφθεί ότι θα παράξει.
  - Εάν ο Παίκτης B είναι 3<sup>ος</sup>, δηλαδή ο Παίκτης Γ είναι 1<sup>ος</sup>, τελείται η προηγούμενη διαδικασία με τον A να καλείται να καλύψει την διαφορά της ζήτησης με την προσφερόμενη ενέργεια του Γ, εάν αυτή υφίσταται.
- Εάν ο Παίκτης A είναι 3<sup>ος</sup> και εξακολουθεί να μην καλύπτεται η ζήτηση από τις προσφορές των B και Γ, ο Παίκτης A καλείται να προσφέρει το ελάχιστο της ποσότητας που δύναται να παράσχει και της ανάγκης για κάλυψη της ζήτησης από το έλλειμμα που αφήνουν οι Παίκτες B και Γ.

Η παραπάνω διαδικασία αφορά τα δεδομένα πρόβλεψης (forecast) και τελείται και για του Παίκτες B και Γ με ακριβώς την ίδια λογική, όσον αφορά την ιεραρχία τους. Για τον Παίκτη Δ, αθροίζονται οι ποσότητες που έχει προγραμματιστεί να προσφερθούν από τις μονάδες ΑΠΕ, δηλαδή τους Παίκτες A, B και Γ. Εφόσον εξακολουθεί να παρατηρείται έλλειμμα στη ζήτηση, ο Παίκτης Δ προσφέρει τη υπολειπόμενη ζητούμενη αυτή ποσότητα στο δίκτυο.

Η ποσότητα που κατανέμεται από το EXE σε κάθε παίκτη αποτελεί το πρόγραμμα αγοράς του (Market Schedule, MS). Κατ' αυτόν τον τρόπο, συμπληρώνεται το δεύτερο τμήμα του Πίνακα 6.1. Τα αποτελέσματα ορίζονται από τον κώδικα με κατάληξη (π.χ. για τον Παίκτη A) «Ewind\_scheduled».

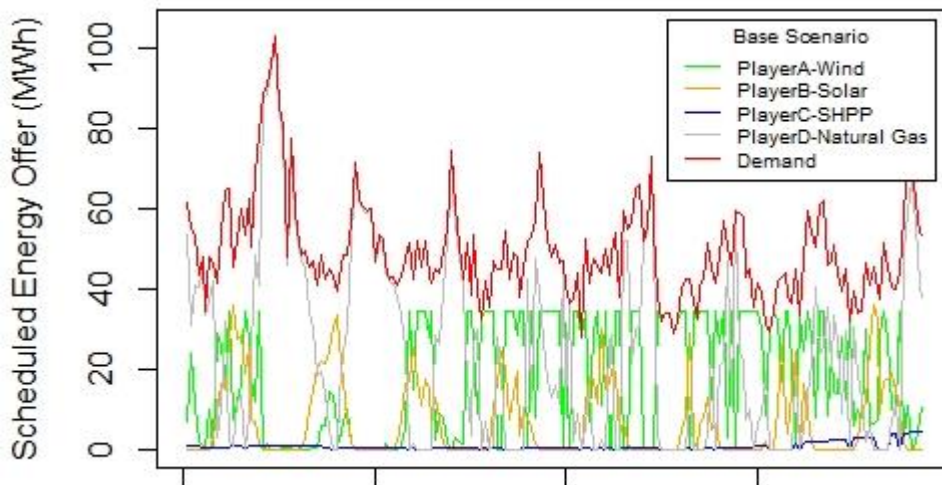
Στην συνέχεια, για λόγους ευρύτερης κατανόησης της διαδικασίας του προγραμματισμού της προσφοράς, ακολουθεί η αναπαράσταση του τμήματος του κώδικα της R (6.1) που αφορά ενδεικτικά τον Παίκτη A, τον κάτοχο του αιολικού σταθμού.

```

#Player A : Wind Energy
for (i in 1:nts) {
  if (Player_A==1) {
    Ewind_scheduled[i]<-min(Demand_forecast[i], Ewind_forecast[i])
  }
  Else {if (Player_A==2) {
    If (Player_B==1) {
      If (Demand_forecast[i]>Esolar_forecast[i]) {
        If (Ewind_forecast[i]>=Demand_forecast[i]-Esolar_forecast[i]) {
          Ewind_scheduled[i]<-Demand_forecast[i]-Esolar_forecast[i]}
        else {Ewind_scheduled[i]<-Ewind_forecast[i]}
      }
      else {Ewind_scheduled[i]<-0}}
    else {if(Demand_forecast[i]>Eshpp_forecast[i]) {
      if (Ewind_forecast[i]>=Demand_forecast[i]-Eshpp_forecast[i]) {
        Ewind_scheduled[i]<-Demand_forecast[i]-Eshpp_forecast[i]}
      else {Ewind_scheduled[i]<-Ewind_forecast[i]}
    }
    else {if(Demand_forecast[i]>Esolar_forecast[i]+Eshpp_forecast[i]){
      if(Ewind_forecast[i]>=(Demand_forecast[i]-Esolar_forecast[i]-Eshpp_forecast[i])){
        Ewind_scheduled[i]<-Demand_forecast[i]-Esolar_forecast[i]-Eshpp_forecast[i]}
      else {Ewind_scheduled[i]<-Ewind_forecast[i]}
    }
    else {Ewind_scheduled[i]<-0}}}}]
  }
}
    
```

**Μέρος Κώδικα R 6.1** Προγραμματισμός προσφοράς Παίκτη Α

Στο *Διάγραμμα 6.2* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προγραμματισμένων ποσοτήτων ενέργειας για κάθε παίκτη για το Βασικό Σενάριο. Αφορούν το χρονικό διάστημα 21/08 00:00 έως 28/08 23:00, δηλαδή την εβδομάδα που παρατηρείται η αιχμή της ζήτησης.



**Διάγραμμα 6.2** Προγραμματισμός προσφοράς παικτών – παραγωγών για το Βασικό Σενάριο

### 6.5.3 Ημέρα φυσικής παράδοσης (D): Πραγματική παραγωγή

Την ημέρα φυσικής παράδοσης (D) καταγράφεται η πραγματική παραγωγή ενέργειας εκ μέρους των παικτών – παραγωγών του συστήματος. Όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4, οι πραγματικές, πλέον, εισροές ενέργειας, δηλαδή τα μεγέθη των πραγματικών καιρικών συνθηκών, μετατρέπονται σε εκροές ενέργειας, δηλαδή την παραγόμενη –εκ μέρους των σταθμών ΑΠΕ– ενέργεια. Μαζί και με τα πραγματικά δεδομένα ζήτησης, όπως καταγράφονται από το Διαχειριστή του Συστήματος, συμπληρώνεται το τρίτο τμήμα του *Πίνακα 6.1*.

### 6.5.4 Ημέρα φυσικής παράδοσης (D): Πραγματική λειτουργία και εντολές κατανομής

Την προηγούμενη διαδικασία κατά την ημέρα φυσικής παράδοσης (D) έρχεται να συμπληρώσει ο προγραμματισμός της πραγματικής λειτουργίας και οι εντολές κατανομής. Η διαδικασία που ακολουθείται σε αυτή τη φάση προσεγγίζει τη λογική της παραγράφου 6.6.2, όμως παρουσιάζει ορισμένες σημαντικές διαφοροποιήσεις. Ο κώδικας που παράγει τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας σε ωριαίο βήμα γράφεται ξανά για τον κάθε επιμέρους παίκτη με μια ακολουθία (loop) εντολών IF. Παραδείγματος χάριν, για την πραγματική λειτουργία και τις εντολές κατανομής που αφορούν τον Παίκτη A η λογική είναι η εξής:

- Εάν ο Παίκτης A είναι 1<sup>ος</sup>, προσφέρει το ελάχιστο μεταξύ της ζήτησης και μεταξύ του ελαχίστου της πραγματικής παραγόμενης ενέργειας της μονάδας του (real) και αυτής που είχε προγραμματιστεί να παράσχει (scheduled). Εάν, δηλαδή, παράξει περισσότερη ενέργεια (real) από όση είχε προβλέψει (forecast), παρέχει αρχικά αυτή την ποσότητα (scheduled) και η υπόλοιπη (scheduled-real) διοχετεύεται σε επόμενο στάδιο στην φάση της διαχείρισης των πλεονασμάτων ενέργειας (surplus management).
- Εάν ο Παίκτης A είναι 2<sup>ος</sup>:
  - Εάν ο Παίκτης B είναι 1<sup>ος</sup>, ο Παίκτης A προσφέρει ενέργεια μόνο εφόσον ο Παίκτης B δε δύναται να καλύψει τη ζήτηση. Σε αυτή την περίπτωση, προσφέρει το ελάχιστο μεταξύ της ποσότητας που απαιτείται για να καλυφθεί η ζήτηση και του ελαχίστου μεταξύ της ποσότητας που έχει προγραμματιστεί (scheduled) ότι θα παράξει και αυτής που πραγματικά παρήγαγε (real). Ακολουθείται, δηλαδή, η ίδια διαδικασία του προηγούμενου βήματος και έπεται η διαχείριση των πλεονασμάτων, εάν υφίστανται.
  - Εάν ο Παίκτης B είναι 3<sup>ος</sup>, δηλαδή ο Παίκτης Γ είναι 1<sup>ος</sup>, τελείται η προηγούμενη διαδικασία με τον A να καλείται να καλύψει την διαφορά της ζήτησης με την προσφερόμενη ενέργεια του Γ, εάν αυτή υφίσταται. Και για τον Γ ισχύει ο παραπάνω κανόνας για την προσφερόμενη ποσότητα ενέργειας του σταθμού του.
- Εάν ο Παίκτης A είναι 3<sup>ος</sup> και εξακολουθεί να μην καλύπτεται η ζήτηση από τις προσφορές των B και Γ, ο Παίκτης A καλείται να προσφέρει το ελάχιστο μεταξύ της ανάγκης για κάλυψη της ζήτησης από το έλλειμμα που αφήνουν οι Παίκτες B και Γ και μεταξύ του ελαχίστου της ποσότητας που παρήγαγε ο A και αυτό που είχε προγραμματιστεί ότι θα προσφέρει.

Η παραπάνω διαδικασία αφορά τα πραγματικά δεδομένα (real) και τελείται για τους Παίκτες Β και Γ με ακριβώς την ίδια λογική, όσον αφορά την ιεραρχία τους. Ο Παίκτης Δ παρέχει ενέργεια εάν εξακολουθεί να απαιτείται για την κάλυψη της ζήτησης. Παρέχει ομοίως το ελάχιστο της απαιτούμενης ποσότητας, δηλαδή όσης υπολείπεται από τους σταθμούς ΑΠΕ για να καλυφθεί η ζήτηση των καταναλωτών, και αυτής που είχε προγραμματιστεί να παράσχει από την προηγούμενη ημέρα της φυσικής παράδοσης. Τα αποτελέσματα του πρώτου γύρου κατανομής ορίζονται από τον κώδικα με κατάληξη (π.χ. για τον Παίκτη Α) «Ewind\_offered».

Για λόγους ευρύτερης κατανόησης της διαδικασίας του προγραμματισμού του πρώτου γύρου της προσφοράς, ακολουθεί η αναπαράσταση του τμήματος του κώδικα της R (6.2) που αφορά ενδεικτικά τον Παίκτη Α, τον κάτοχο του αιολικού σταθμού.

```
#Player A: Wind Energy
for (i in 1:nts){
  if (Player_A==1){ Ewind_offered[i]<-min(Demand_real[i], min(Ewind_real[i],Ewind_scheduled[i]))}
  else {if(Player_A==2){ if(Player_B==1){
    if(Demand_real[i]>min(Esolar_real[i],Esolar_scheduled[i])){
      Ewind_offered[i]<-min(Demand_real[i]-min(Esolar_real[i],Esolar_scheduled[i]),
        min(Ewind_real[i],Ewind_scheduled[i]))}
    else {Ewind_offered[i]<-0} }
    else {if(Demand_real[i]>min(Eshpp_real[i],Eshpp_scheduled[i])){
      Ewind_offered[i]<-min(Demand_real[i]-min(Eshpp_real[i],Eshpp_scheduled[i]),
        min(Ewind_real[i],Ewind_scheduled[i]))}
    else {Ewind_offered[i]<-0} } }
    else {if(Demand_real[i]>min(Esolar_real[i],Esolar_scheduled[i])+
      min(Eshpp_real[i],Eshpp_scheduled[i])){
      Ewind_offered[i]<-min(Demand_real[i]-min(Esolar_real[i],Esolar_scheduled[i])-
        min(Eshpp_real[i],Eshpp_scheduled[i]),min(Ewind_real[i],Ewind_scheduled[i]))}
    else {Ewind_offered[i]<-0} } } }
```

**Μέρος Κώδικα R 6.2** Πρώτος γύρος πραγματικής προσφοράς Παίκτη Α

Αυτός ήταν ο πρώτος γύρος της προσφοράς, ο οποίος τελείται για όλους τους παίκτες. Στο δεύτερο γύρο ελέγχεται αν μετά και τον πρώτο προγραμματισμό εξακολουθεί να μην καλύπτεται πλήρως η ζήτηση. Την κατάσταση αυτή καλούνται να αντιμετωπίσουν με προτεραιότητα οι παίκτες που διαθέτουν σταθμούς ΑΠΕ. Ακολουθώντας ξανά την ιεραρχία που έχει οριστεί, ο κάθε παίκτης προσφέρει όση ενέργεια του απομένει σαν πλεόνασμα από την πρώτη κατανομή έως ότου καλυφθεί πλήρως η ζήτηση. Στην έσχατη περίπτωση που τα αποθέματα των σταθμών ΑΠΕ εξαντληθούν, ξεκινάει ο ρόλος του σταθμού φυσικού αερίου επιλύοντας οριστικά το πρόβλημα του ελλείμματος. Η λογική που ακολουθείται στο δεύτερο γύρο της προσφοράς είναι η εξής:

- Αθροίζονται οι προγραμματισμένες από τον πρώτο γύρο ποσότητες ενέργειας από όλες τις μονάδες παραγωγής ενέργειας (first\_offered).




- Εάν η ζήτηση (real) δεν καλύπτεται από την παραπάνω ποσότητα, προκύπτει έλλειμμα ενέργειας (deficit\_first), το οποίο θα κληθούν να αντιμετωπίσουν οι παίκτες – παραγωγί του συστήματος. Να επισημανθεί ξανά ότι δεν πραγματοποιούνται εισαγωγές ούτε εξαγωγές ενέργειας εκτός των συνόρων της υπό μελέτη εικονικής χώρας. Επομένως,
  - Εάν ο Παίκτης Α είναι 1<sup>ος</sup> παρέχει το ελάχιστο της ποσότητας του ελλείματος και της ποσότητας ενέργειας που του έχει απομείνει. Η ποσότητα ενέργειας που του έχει απομείνει ορίζεται ως η διαφορά της ποσότητας που πραγματικά παρήγαγε (real) και αυτής που ήδη διοχέτευσε στο σύστημα κατά τον πρώτο γύρο του προγραμματισμού (offered).
    - Και εάν ο Παίκτης Β είναι 2<sup>ος</sup> παρέχει όση ενέργεια υπολείπεται για να καλυφθεί η ζήτηση, εάν φυσικά τη διαθέτει.
    - Ο Παίκτης Γ κατέχοντας την 3<sup>η</sup> θέση παρέχει αντίστοιχα όση ενέργεια υπολείπεται έπειτα από τις πρόσθετες προσφορές των Α και Β, εάν και αυτός τη διαθέτει.
  - Εάν ο Παίκτης Α είναι 2<sup>ος</sup>:
    - Και εάν ο Παίκτης Β είναι 1<sup>ος</sup>, ο Παίκτης Β παρέχει πρώτος όση ενέργεια υπολείπεται για την κάλυψη της ζήτησης. Ακολουθούν με την ίδια λογική ο Α και ο Γ.
    - Αλλιώς εάν ο Παίκτης Β είναι 3<sup>ος</sup>, παρέχει ενέργεια 1<sup>ος</sup> ο Παίκτης Γ, έπειτα ο Α και τέλος ο Β.
  - Εάν ο Παίκτης Α είναι 3<sup>ος</sup>:
    - Και εάν ο Παίκτης Β είναι 1<sup>ος</sup>, ο Παίκτης Β παρέχει πρώτος όση ενέργεια υπολείπεται για την κάλυψη της ζήτησης. Ακολουθούν με την ίδια λογική ο Γ και ο Α.
    - Αλλιώς εάν ο Παίκτης Β είναι 3<sup>ος</sup>, παρέχει ενέργεια 1<sup>ος</sup> ο Παίκτης Γ, έπειτα ο Β και τέλος ο Α.
- Αφού υπολογιστούν οι επιπρόσθετες αυτές ποσότητες ενέργειας (surplus\_offered) εκ μέρους των σταθμών ΑΠΕ, υπολογίζεται η συνολική ποσότητα που προσφέρει ο κάθε σταθμός (total\_offered) σαν το άθροισμα των ποσοτήτων των δύο γύρων της προσφοράς.
- Τέλος, εάν και μετά τη διαχείριση των πλεονασμάτων εξακολουθεί να παρουσιάζεται έλλειμμα στη ζήτηση των καταναλωτών, ο Παίκτης Δ παρέχει αυτή τη διαφορά (naturalgas\_more\_offered), η οποία προστίθεται στην ποσότητα που έχει κληθεί να προσφέρει στον πρώτο γύρο και μαζί αποτελούν τη συνολική προσφορά του Παίκτη Δ (naturalgas\_total\_offered).

Κατ' αυτόν τον τρόπο, συμπληρώνεται το τέταρτο τμήμα του Πίνακα 6.1. Το άθροισμα των αποτελεσμάτων των δύο γύρων κατανομής ορίζεται από τον κώδικα με κατάληξη (π.χ. για τον Παίκτη Α) «Ewind\_total\_offered».

Για λόγους ευρύτερης κατανόησης της διαδικασίας του προγραμματισμού της προσφοράς, ακολουθεί η αναπαράσταση του τμήματος του κώδικα της R (6.3) που αφορά όλους τους παίκτες – παραγωγούς του ΣΗΕ.

Στο, δε, *Διάγραμμα 6.3* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συνολικών ποσοτήτων ενέργειας (total\_offered) που προσφέρει, τελικά, ο κάθε παίκτης την ημέρα της φυσικής παράδοσης (D) για το Βασικό Σενάριο (βλ. *Πίνακα 6.1*). Αφορούν το χρονικό διάστημα 21/08 00:00 έως 28/08 23:00, δηλαδή την εβδομάδα που παρατηρείται η αιχμή της ζήτησης.



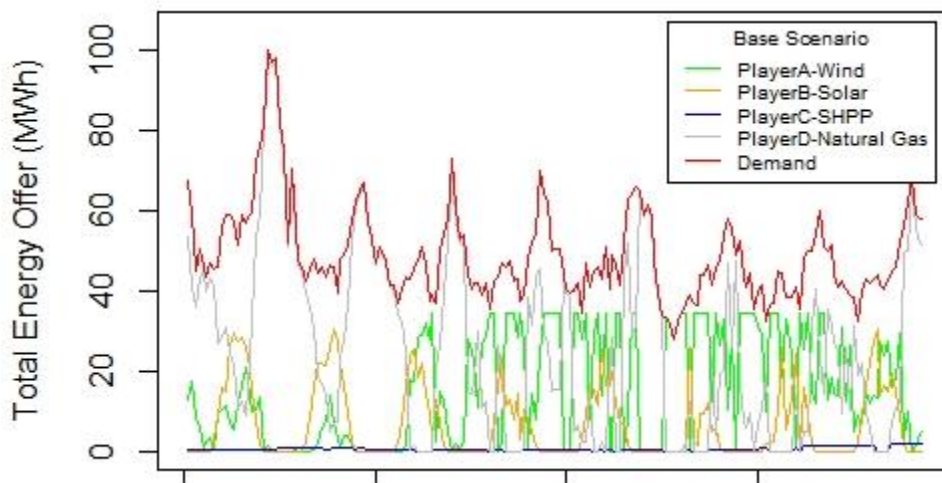
```

for (i in 1:nts){
  if(Demand_real[i]>Efirst_offered[i]){
    Edeficit_first[i]<-Demand_real[i]-Efirst_offered[i]
    if (Player_A==1){ Ewind_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i], max(Ewind_real[i]-Ewind_offered[i],0))
      if (Player_B==2){Esolar_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i]-Ewind_surplus_offered[i], max(Esolar_real[i]-Esolar_offered[i],0))
        Eshpp_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i]-Ewind_surplus_offered[i]-Esolar_surplus_offered[i], max(Eshpp_real[i]-Eshpp_offered[i],0))
        else{ Eshpp_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i]-Ewind_surplus_offered[i], max(Eshpp_real[i]-Eshpp_offered[i],0))
          Esolar_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i]-Ewind_surplus_offered[i]-Eshpp_surplus_offered[i], max(Esolar_real[i]-Esolar_offered[i],0))}}
        else{ if (Player_A==2) { if (Player_B==1){ Esolar_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i], max(Esolar_real[i]-Esolar_offered[i],0))
          Ewind_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i]-Esolar_surplus_offered[i], max(Ewind_real[i]-Ewind_offered[i],0))
          Eshpp_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i]-Ewind_surplus_offered[i]-Esolar_surplus_offered[i], max(Eshpp_real[i]-Eshpp_offered[i],0)) }
          else {Eshpp_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i], max(Eshpp_real[i]-Eshpp_offered[i],0))
            Ewind_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i]-Eshpp_surplus_offered[i], max(Ewind_real[i]-Ewind_offered[i],0))
            Esolar_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i]-Ewind_surplus_offered[i]-Eshpp_surplus_offered[i], max(Esolar_real[i]-Esolar_offered[i],0))}}
          else {if (Player_B==1){Esolar_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i], max(Esolar_real[i]-Esolar_offered[i],0))
            Eshpp_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i]-Esolar_surplus_offered[i], max(Eshpp_real[i]-Eshpp_offered[i],0))
            Ewind_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i]-Eshpp_surplus_offered[i]-Esolar_surplus_offered[i], max(Ewind_real[i]-Ewind_offered[i],0)) }
            else{Eshpp_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i], max(Eshpp_real[i]-Eshpp_offered[i],0))
              Esolar_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i]-Eshpp_surplus_offered[i], max(Esolar_real[i]-Esolar_offered[i],0))
              Ewind_surplus_offered[i]<-min(Edeficit_first[i]-Esolar_surplus_offered[i]-Eshpp_surplus_offered[i], max(Ewind_real[i]-Ewind_offered[i],0)) }}}
          else{Ewind_surplus_offered[i]<-0, Esolar_surplus_offered[i]<-0, Eshpp_surplus_offered[i]<-0}}

```

**Μέρος Κώδικα R 5.3** Δεύτερος γύρος προγραμματισμού προσφοράς παικτών

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης

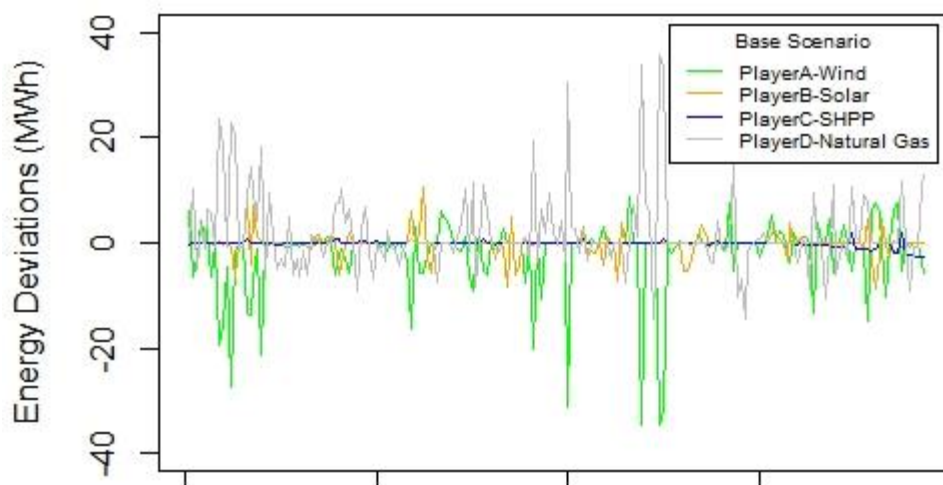


Διάγραμμα 6.3 Πραγματική προσφορά παικτών – παραγωγών για το Βασικό Σενάριο

### 6.5.5 Επόμενη ημέρα από τη φυσική παράδοση (D+1): Υπολογισμός αποκλίσεων

Την επόμενη ημέρα από τη φυσική παράδοση (D+1) τελείται ο υπολογισμός των αποκλίσεων. Η απόκλιση, όπως ορίζεται από την περίπτωση 8 του άρθρου 2 του Κανονισμού (ΕΕ) 2017/2195, είναι η ποσότητα ενέργειας που υπολογίζεται για ένα Συμβαλλόμενο Μέρος με Ευθύνη Εξισορρόπησης και αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ της κατανεμημένης ποσότητας που αποδίδεται στο συγκεκριμένο Συμβαλλόμενο Μέρος και της τελικής θέσης (Πρόγραμμα Αγοράς) του εν λόγω υπόχρεου, συμπεριλαμβανομένης κάθε προσαρμογής αποκλίσεων που εφαρμόζεται εντός δεδομένης Περιόδου Εκκαθάρισης Αποκλίσεων. Είναι, δηλαδή, η διαφορά της προγραμματισμένης (scheduled) από την προηγούμενη ημέρα (D-1) ενέργειας που καλείται να προσφέρει ο κάθε παίκτης με την συνολική πραγματική ποσότητα που προσφέρει (total\_offered). Η τιμή αυτή μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, ανάλογα με το αν προσφέρεται περισσότερη ενέργεια από την προγραμματισμένη, ή λιγότερη, αντίστοιχα.

Έτσι, συμπληρώνεται το πέμπτο και τελευταίο τμήμα του Πίνακα 6.1. Στο Διάγραμμα 6.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αποκλίσεων προσφερόμενης ενέργειας που προκύπτουν για κάθε παίκτη για το Βασικό Σενάριο (βλ. Πίνακα 6.1). Αφορούν το χρονικό διάστημα 21/08 00:00 έως 28/08 23:00, δηλαδή την εβδομάδα που παρατηρείται η αιχμή της ζήτησης.



Διάγραμμα 6.4 Αποκλίσεις προσφοράς παικτών – παραγωγών για το Βασικό Σενάριο

## 6.6 Αποτελέσματα επίλυσης ΗΕΠ Βασικού Σεναρίου και σχολιασμός

Τα αποτελέσματα και ο σχολιασμός που ακολουθούν αφορούν μόνο το χρονικό διάστημα 21/08 00:00 έως 28/08 23:00, δηλαδή την εβδομάδα που παρατηρείται η αιχμή της ζήτησης. Αποτελεί, λοιπόν, μια ιδιαίτερη περίπτωση για την μελέτη της απόκρισης του συστήματος.

Από τα *Διαγράμματα* 6.2 και 6.3 γίνεται αντιληπτό πως στις περιπτώσεις που η παραγωγή ενέργειας εκ μέρους των σταθμών ΑΠΕ είναι χαμηλή, καθοριστική είναι η συμμετοχή του σταθμού φυσικού αερίου (Παίκτης Δ), ο οποίος αποτελεσματικά επιτελεί το ρόλο για τον οποίο σχεδιάστηκε· την αντιμετώπιση των ενεργειακών ελλειμμάτων. Επίσης, είναι προφανής και η έντονη παρουσία του Παίκτη Α, που είναι κάτοχος του αιολικού σταθμού, καθώς σύμφωνα με το Βασικό Σενάριο (Σενάριο ιεραρχίας 1, βλ. *Πίνακα* 6.1) κατέχει την πρώτη θέση στην ιεραρχική προτεραιότητα των παικτών. Οι Παίκτης Β και Γ ως επόμενοι στην ιεραρχία έρχονται να συμπληρώσουν ενέργεια στις περιπτώσεις που δεν δύναται να την αποδώσει ο Παίκτης Α.

Στο *Διάγραμμα* 6.4 φαίνεται πως τις μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ προγραμματισμένης και πραγματικής προσφερόμενης ενέργειας παρουσιάζει ο Παίκτης Α με αρνητικές –κατά κύριο λόγο αποκλίσεις–, ενώ ακολουθεί ο Παίκτης Δ με επίσης αρκετές διακυμάνσεις και συγκεκριμένα θετικές αποκλίσεων. Το γεγονός ότι ο Παίκτης Α παρουσιάζεται (στο συγκεκριμένο δείγμα χρονικού πλαισίου) με τις περισσότερες αρνητικές αποκλίσεις, αποδεικνύει την έντονη στοχαστικότητα που χαρακτηρίζει τις προβλεπόμενες τιμές ταχυτήτων ανέμων, ή ακόμα και την κακή μεθοδολογία πρόβλεψης αυτών. Οι κακές προβλέψεις «χρεώνονται», μια πτυχή που θα αποφέρει αρνητικές συνέπειες στην οικονομική ευημερία του Παίκτη Α. Ο Παίκτης Δ με τις θετικές αποκλίσεις παρουσιάζεται να προσφέρει περισσότερη ενέργεια από ότι είχε προγραμματιστεί, γεγονός που θα του αποφέρει κέρδη. Η κατάσταση αυτή προκύπτει σαν επακόλουθο των αποκλίσεων των σταθμών ΑΠΕ, αφού ο Παίκτης Δ κατέχει πάντα την τελευταία θέση στην ιεραρχία. Όσο για τον Παίκτη Β, κάτοχο του φωτοβολταϊκού σταθμού, παρουσιάζει περιορισμένες αποκλίσεις, γεγονός που δικαιολογείται από την περιορισμένη συγκριτικά αβεβαιότητα που διέπει τις προβλέψεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι αποκλίσεις του Παίκτη Γ είναι αμελητέες. Αυτό, βέβαια, οφείλεται και στη γενικότερα περιορισμένη συμμετοχή του στο εν λόγω χρονικό διάστημα, πιθανώς λόγω περιορισμένης δυνατότητας παραγωγής σε συνδυασμό με την τρίτη θέση στην ιεραρχία.

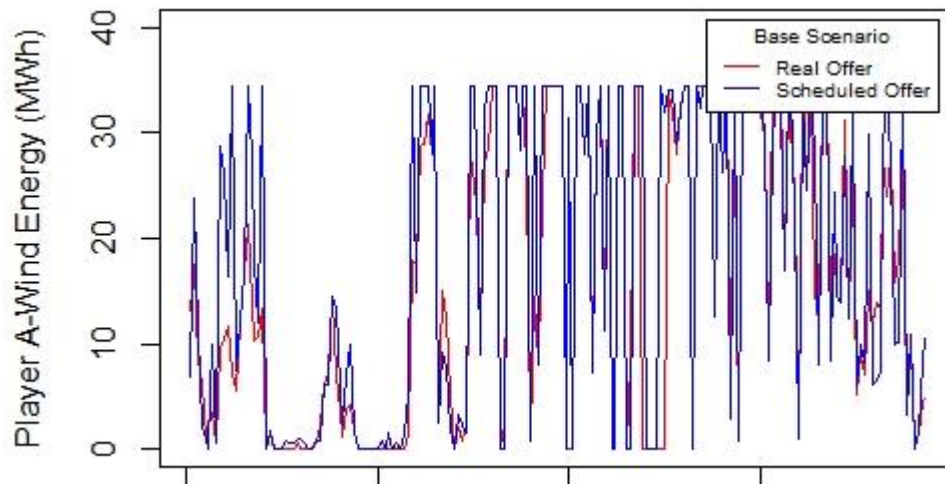
Στα *Διαγράμματα* 6.5 έως 6.8 αναπαρίστανται η προγραμματισμένη σε σύγκριση με την πραγματική ποσότητα προσφερόμενης ενέργειας εκ μέρους του εκάστοτε παραγωγού. Όπως φαίνεται, μεγαλύτερη ταύτιση στις δύο αυτές τιμές παρουσιάζει ο Παίκτης Β με τον φωτοβολταϊκό σταθμό, όπως ειπώθηκε και παραπάνω. Η καλή πρόγνωση των δεδομένων θα αποφέρει κέρδη και περιορισμένες απώλειες στον Παίκτη Β. Η προγραμματισμένη ενέργεια του Παίκτη Α φαίνεται να υπερβαίνει σε μεγάλο ποσοστό του χρόνου την πραγματική προσφορά του, το οποίο επιβεβαιώνεται και για τον Παίκτη Γ. Ο Παίκτης Δ ακολουθεί τον ακριβώς αντίθετο κανόνα, προσφέροντας τελικά περισσότερη ενέργεια αφού οι υπόλοιποι παραγωγοί δεν εκπλήρωσαν τελικά τον προγραμματισμό της λειτουργίας τους.

Στον *Πίνακα* 6.3 παρίστανται τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας ως μια εποπτική αναπαράσταση του ΗΕΠ που τελείται την 21/08, την ημέρα που παρατηρείται η αιχμή της ζήτησης.

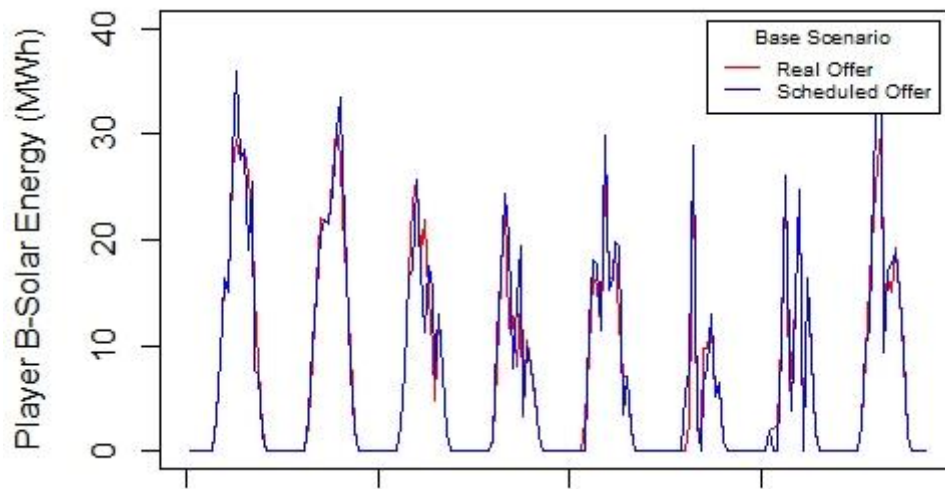
**Πίνακας 6.5** Αποτελέσματα επίλυσης ΗΕΠ για την 21/08

Ημέρα Εντολής	Περίοδοι Κατανομής	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00		
<b>Προηγούμενη ημέρα (D-1)</b> Προβλέψεις και υποβολή προσφορών	Ζήτηση (MW)	61.38	55.61	52.94	43.25	48.14	34.41	48.00	46.64	41.72	53.73		
	Παίκτης Α (MW)	6.92	23.83	11.15	2.13	0.89	0.00	9.88	0.64	28.81	26.16		
	Παίκτης Β (MW)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	3.23	8.87	16.40		
	Παίκτης Γ (MW)	0.88	0.86	0.84	0.83	0.81	0.80	0.79	0.78	0.82	0.82		
	Παίκτης Δ (MW)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
<b>Προηγούμενη ημέρα (D-1)</b> Προγραμματισμός λειτουργίας	Παίκτης Α (MW)	6.92	23.83	11.15	2.13	0.89	0.00	9.88	0.64	28.81	26.16		
	Παίκτης Β (MW)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	3.23	8.87	16.40		
	Παίκτης Γ (MW)	0.88	0.86	0.84	0.83	0.81	0.80	0.79	0.78	0.82	0.82		
	Παίκτης Δ (MW)	53.59	30.91	40.95	40.29	46.43	33.62	37.21	42.00	3.23	10.36		
<b>Ημέρα φυσικής παράδοσης (D)</b> Πραγματική παραγωγή	Παίκτης Α (MW)	15.15	17.52	8.42	6.25	0.97	2.53	3.43	2.93	9.46	10.43		
	Παίκτης Β (MW)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	2.94	9.02	15.91		
	Παίκτης Γ (MW)	0.64	0.64	0.64	0.65	0.65	0.70	0.71	0.71	0.72	0.72		
<b>Ημέρα φυσικής παράδοσης (D)</b> Πραγματική λειτουργία και εντολές κατανομής	Ζήτηση (MW)	67.33	59.35	44.98	50.39	46.71	43.40	47.08	45.53	45.98	55.79		
	Παίκτης Α (MW)	13.10	17.52	8.42	6.25	0.89	2.53	3.43	0.64	9.46	10.43		
	Παίκτης Β (MW)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	2.94	9.02	15.91		
	Παίκτης Γ (MW)	0.64	0.64	0.64	0.65	0.65	0.70	0.71	0.71	0.72	0.72		
	Παίκτης Δ (MW)	53.59	41.19	35.92	43.49	45.17	40.17	42.83	41.24	26.78	28.73		
<b>Επόμενη ημέρα από τη φυσική παράδοση (D+1)</b> Υπολογισμός αποκλίσεων	Ζήτηση (MW)	-5.95	-3.75	7.95	-7.14	1.43	-8.99	0.92	1.11	-4.25	-2.05		
	Παίκτης Α (MW)	6.18	-6.32	-2.72	4.12	0.00	2.53	-6.45	0.00	-19.35	-15.73		
	Παίκτης Β (MW)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.29	0.15	-0.50		
	Παίκτης Γ (MW)	-0.24	-0.22	-0.20	-0.18	-0.16	-0.10	-0.08	-0.07	-0.10	-0.09		
	Παίκτης Δ (MW)	0.00	10.28	-5.03	3.20	-1.26	6.56	5.63	-0.75	23.55	18.37		
<b>10:00</b>	<b>11:00</b>	<b>12:00</b>	<b>13:00</b>	<b>14:00</b>	<b>15:00</b>	<b>16:00</b>	<b>17:00</b>	<b>18:00</b>	<b>19:00</b>	<b>20:00</b>	<b>21:00</b>	<b>22:00</b>	<b>23:00</b>
64.31	64.88	45.45	52.46	59.76	53.57	62.47	50.63	68.88	78.30	88.58	91.06	95.70	102.95
16.30	34.50	7.42	11.95	16.60	34.50	27.68	17.72	12.04	34.50	0.00	1.75	0.00	0.00
15.05	27.61	36.00	27.51	28.62	26.32	25.45	7.66	7.23	1.63	0.05	0.00	0.00	0.00
0.82	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01	1.02	1.04	1.06
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
16.30	34.50	7.42	11.95	16.60	34.50	27.68	17.72	12.04	34.50	0.00	1.75	0.00	0.00
15.05	27.61	36.00	27.51	28.62	19.07	25.45	7.66	7.23	1.63	0.05	0.00	0.00	0.00
0.82	0.82	0.83	0.84	0.85	0.00	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01	1.02	1.04	1.06
32.13	1.94	1.19	12.16	13.69	0.00	8.39	24.30	48.63	41.18	87.52	88.29	94.66	101.89
11.70	7.24	5.52	12.90	18.43	21.23	13.86	10.30	10.67	13.31	2.27	1.35	0.00	0.00
22.04	26.64	29.41	30.61	29.57	26.12	21.20	14.92	8.16	2.14	0.05	0.00	0.00	0.00
0.73	0.74	0.74	0.75	0.76	0.76	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.82
58.73	59.17	57.41	51.30	58.73	57.07	58.69	59.57	72.55	75.74	81.51	<b>100.00</b>	96.73	97.61
11.70	7.24	5.52	11.95	16.60	21.23	13.86	10.30	10.67	13.31	0.00	1.35	0.00	0.00
15.05	26.64	29.41	27.51	28.62	26.12	21.20	14.92	8.16	2.14	0.05	0.00	0.00	0.00
0.73	0.74	0.74	0.75	0.76	0.76	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.82
31.25	24.55	21.73	11.09	12.76	8.97	22.86	33.57	52.93	59.51	80.66	97.84	95.91	96.79
5.58	5.71	-11.96	1.15	1.03	-3.50	3.78	-8.94	-3.67	2.56	7.06	-8.93	-1.03	5.34
-4.61	-27.26	-1.91	0.00	0.00	-13.27	-13.82	-7.41	-1.37	-21.19	0.00	-0.40	0.00	0.00
0.00	-0.97	-6.59	0.00	0.00	7.04	-4.24	7.27	0.93	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00
-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	0.76	-0.18	-0.19	-0.19	-0.20	-0.21	-0.22	-0.22	-0.23
-0.89	22.61	20.54	-1.06	-0.93	8.97	14.46	9.27	4.30	18.33	-6.85	9.55	1.25	-5.10

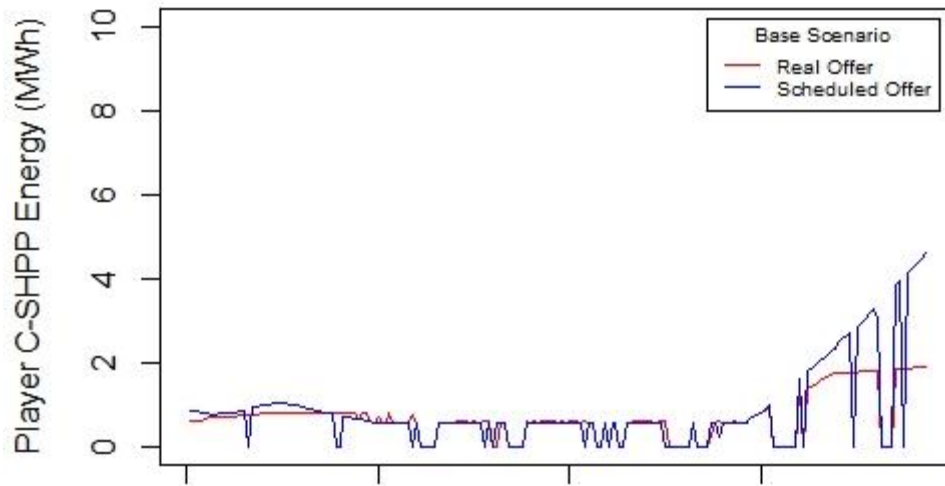
Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης



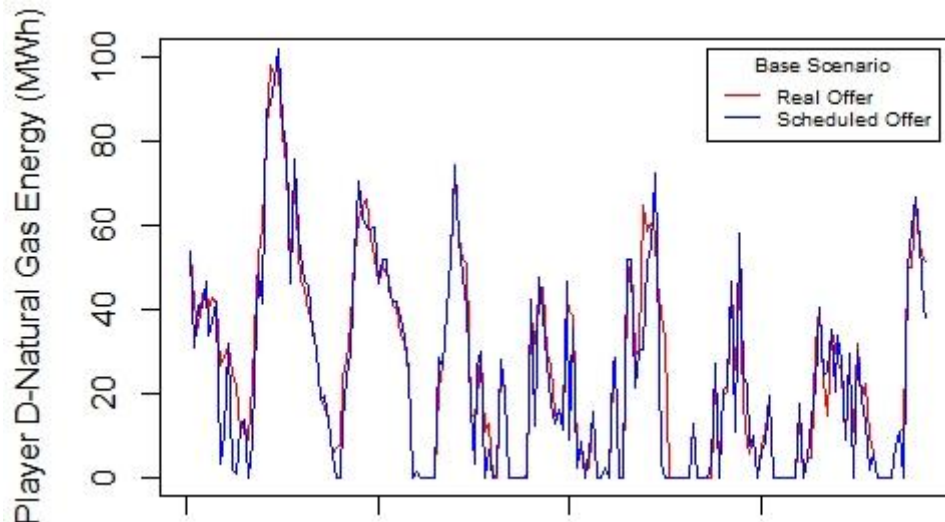
**Διάγραμμα 6.5** Προγραμματισμένη (scheduled) και πραγματική (real) προσφορά ενέργειας **Παίκτη Α**, κάτοχο του αιολικού σταθμού (Βασικό Σενάριο)



**Διάγραμμα 6.6** Προγραμματισμένη (scheduled) και πραγματική (real) προσφορά ενέργειας **Παίκτη Β**, κάτοχο του φωτοβολταϊκού σταθμού (Βασικό Σενάριο)



**Διάγραμμα 6.7** Προγραμματισμένη (scheduled) και πραγματική (real) προσφορά ενέργειας **Παίκτη Γ**, κάτοχο των μικρών υδροηλεκτρικών έργων (Βασικό Σενάριο)



**Διάγραμμα 6.8** Προγραμματισμένη (scheduled) και πραγματική (real) προσφορά ενέργειας **Παίκτη Δ**, κάτοχο του σταθμού φυσικού αερίου (Βασικό Σενάριο)



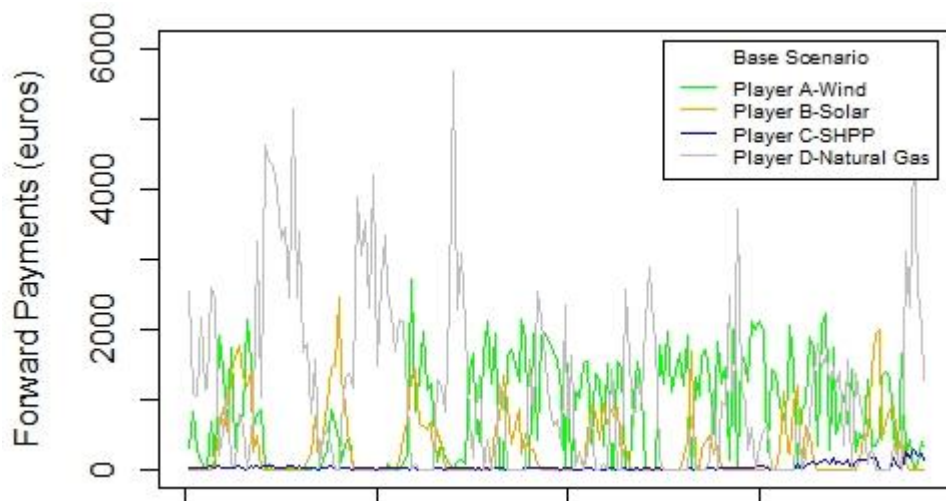
## 6.7 Εκκαθάριση αγοράς με τις οριακές τιμές

Στη συνέχεια, ακολουθεί η εκκαθάριση της αγοράς με τις οριακές τιμές. Οι παίκτες – παραγωγοί πληρώνονται ή χρεώνονται ανάλογα με τις ποσότητες ενέργειας που προσφέρουν τελικά στην αγορά. Έτσι, η συνολική ροή των χρημάτων τους οδηγεί σε κέρδη και πιθανώς απώλειες. Επομένως, ο υπολογισμός των χρηματοροών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα εύρεσης του ευμενέστερου σεναρίου, τόσο για το συνολικό όφελος της αγοράς, όσο και για την οικονομική ευημερία του κάθε επιμέρους παίκτη.

### 6.7.1 Αποζημίωση στο πλαίσιο της DAM με την ΟΤΣ

Η Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ ή Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς) λειτουργεί ως αποζημίωση για τον παραγωγό για το ποσό ενέργειας που του έχει κατανεμηθεί μετά την επίλυση του ΗΕΠ (δηλαδή της Αγοράς Επόμενης Ημέρας – Day Ahead Market, DAM). Ο παραγωγός υποβάλλει, στο πλαίσιο της DAM, την προηγούμενη ημέρα από την φυσική παράδοση (D-1) την προσφορά του για μια αγοραία χρονική μονάδα της ημέρας D. Μετά την επίλυση του αλγορίθμου της DAM, το EXE θα ενημερώσει τον παραγωγό για την θέση του, δηλαδή για το ποσό ενέργειας που τελικά θα του κατανεμηθεί. Αυτό το ποσό το αποζημιώνεται με την ΟΤΣ και αποτελεί το πρόγραμμα αγοράς του παραγωγού (Market Schedule – MS).

Σύμφωνα με τις παραδοχές και την κωδικοποίηση της παρούσας εργασίας, αποζημιώνονται με την ΟΤΣ οι ποσότητες που αντιστοιχούν στο δεύτερο τμήμα του Πίνακα 6.5 και έχουν την κατάληξη (π.χ. για τον Παίκτη Α) «Ewind\_scheduled». Οι τιμές της ΟΤΣ καθορίζονται σύμφωνα με την απλουστευτική μεθοδολογία που περιγράφηκε στην παράγραφο 6.4.3. Στη συνέχεια, παρατίθενται στο Διάγραμμα 6.9 οι αποζημιώσεις των παικτών με την ΟΤΣ. Αφορούν το χρονικό διάστημα 21/08 00:00 έως 28/08 23:00, δηλαδή την εβδομάδα που παρατηρείται η αιχμή της ζήτησης. Όπως είναι αναμενόμενο οι Παίκτες Α και Δ παρουσιάζουν αυξημένες απολαβές, λόγω της κυριαρχικής τους παρουσίας στην κατανομή της ενέργειας στο εν λόγω χρονικό διάστημα. Ωστόσο, οι πληρωμές αυτές αφορούν στον προγραμματισμό και ενδέχεται να αντισταθμιστούν στη φάση εκκαθάρισης των αποκλίσεων από πιθανές χρεώσεις με την ΟΤΑ. Δεν αποτελούν, επομένως, τα πραγματικά έσοδα του παίκτη.



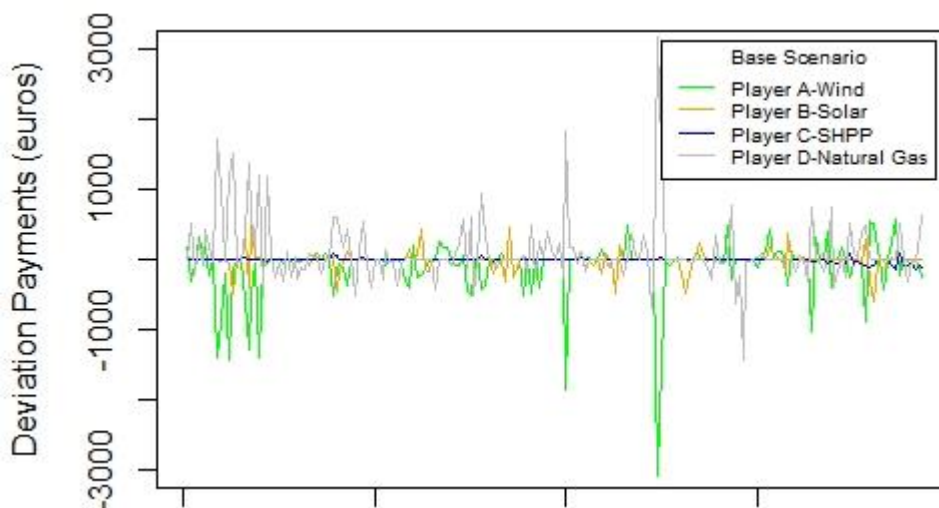
Διάγραμμα 6.9 Αποζημίωση παικτών – παραγωγών με την ΟΤΣ για το Βασικό Σενάριο

### 6.7.2 Χρέωση (ή αποζημίωση) στο πλαίσιο της εκκαθάρισης αποκλίσεων με την ΟΤΑ

Σύμφωνα με την παρ. 9 του άρθρου 84 του Κανονισμού της Αγοράς Εξισορρόπησης (ΚΑΕ), η απόκλιση μιας μονάδας παραγωγής ισούται με τη διαφορά μεταξύ της ποσότητας ενέργειας που προκύπτει με βάση τα πιστοποιημένα δεδομένα μέτρησης της μονάδας και το Πρόγραμμα Αγοράς της εν λόγω μονάδας. Η οικονομική εκκαθάριση των αποκλίσεων τελείται με την Οριακή Τιμή Αποκλίσεων (ΟΤΑ). Οι παραγωγοί, όταν στην τελική προσφορά τους παρέχουν ποσότητα ενέργειας μικρότερη του προγράμματος αγοράς τους, χρεώνονται αυτή τη διαφορά με την ΟΤΑ. Στην αντίθετη περίπτωση που προσφέρουν περισσότερη ενέργεια από την προγραμματισμένη, αποζημιώνονται, αντίστοιχα, με την ΟΤΑ. Ο ρόλος της, δηλαδή, είναι «διττός», μπορεί να αποτελέσει τόσο χρέωση, όσο και αποζημίωση, σε αντίθεση με την ΟΤΣ που πληρώνεται στους παραγωγούς.

Σύμφωνα με τις παραδοχές και την κωδικοποίηση της παρούσας εργασίας, εκκαθαρίζονται με την ΟΤΑ οι ποσότητες που αντιστοιχούν στο πέμπτο και τελευταίο τμήμα του Πίνακα 6.5 και έχουν την κατάληξη (π.χ. για τον Παικτή Α) «Ewind\_dev». Όταν η απόκλιση αυτή είναι θετική, ο παίκτης αποζημιώνεται για την πλεονάζουσα προσφορά του, ενώ όταν είναι αρνητική, χρεώνεται για την μικρότερη ποσότητα που τελικά προσέφερε. Οι χρηματοροές με την ΟΤΑ τελούνται με γνώμονα την ήδη εκτελεσμένη πληρωμή με την ΟΤΣ, γι' αυτό και αποτελούν εκκαθάριση των αποκλίσεων. Εάν, δηλαδή, ένας παίκτης έχει πληρωθεί εκ των προτέρων (με την ΟΤΣ) για μεγαλύτερη ποσότητα από αυτή που τελικά προσφέρει, οφείλει να αντισταθμίσει τη διαφορά πληρώνοντας ο ίδιος την ΟΤΑ. Οι τιμές της ΟΤΑ καθορίζονται σύμφωνα με την απλουστευτική μεθοδολογία που περιγράφηκε στην παράγραφο 6.4.3. Στη συνέχεια, παρατίθενται στο Διάγραμμα 6.10 οι πληρωμές και χρεώσεις των παικτών με την ΟΤΑ για το ενδεικτικό χρονικό διάστημα που αναλύεται και παραπάνω. Παρατηρείται ότι οι χρεώσεις και οι αποζημιώσεις των παικτών με την ΟΤΑ κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα από τις πληρωμές με την ΟΤΣ, γεγονός εύλογο, αφού αφορούν αποκλίσεις (δηλαδή διαφορές) και όχι αυτές καθ' αυτές τις συνολικές προσφορές.

Όπως αποδεικνύεται και στο Διάγραμμα 6.10, επαληθεύεται ο ισχυρισμός που έγινε προηγουμένως (στην παράγραφο 6.7.1). Ναι, μεν, ο Παικτή Α είχε σημαντικά έσοδα από την αποζημίωσή του με την ΟΤΣ, αλλά έπειτα από την διαδικασία εκκαθάρισης αναγκάστηκε να επιστρέψει ένα συγκεκριμένο και σημαντικό ποσό σαν χρέωση της αποτυχημένης πρόβλεψης που κατέθεσε. Τελικά, η διαφορά κερδών και απωλειών είναι αυτή που θα αξιολογήσει την οικονομική αποδοτικότητα του παίκτη και την απόκριση της στρατηγικής του θέσης.



Διάγραμμα 6.10 Πληρωμή και χρέωση παικτών – παραγωγών με την ΟΤΑ για το Βασικό Σενάριο



## 6.8 Μέτρα επίδοσης παικτών – παραγωγών

Οι παραπάνω παράγραφοι περιγράφουν και αναλύουν τρόπο διεξαγωγής του ΗΕΠ στην εικονική χώρα της παρούσας μελέτης. Η προσομοίωση που τελείται στα πλαίσια αυτής της εργασίας, πέραν της ευρύτερης κατανόησης της λειτουργίας της αγοράς ενέργειας και του ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού, αποσκοπεί στην εύρεση εκείνου του σεναρίου που είναι το ευμενέστερο για τη λειτουργία της αγοράς με τους παραπάνω απλουστευτικούς κανόνες. Ο ερευνητικός, δηλαδή, στόχος της προκειμένης εργασίας έγκειται στην διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων, τη σύγκριση μεταξύ τους και τελικά την επιλογή του ευμενέστερου σεναρίου για κάθε περίπτωση. Ως ευμενέστερο κρίνεται το σενάριο που ευνοεί, τόσο συνολικά την αγορά ενέργειας της εικονικής χώρας, όσο και τους επιμέρους παίκτες – παραγωγούς που συμμετέχουν σε αυτήν. Για την εύρεσή του και την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των παικτών προσδιορίζονται τα ακόλουθα μέτρα επίδοσης.

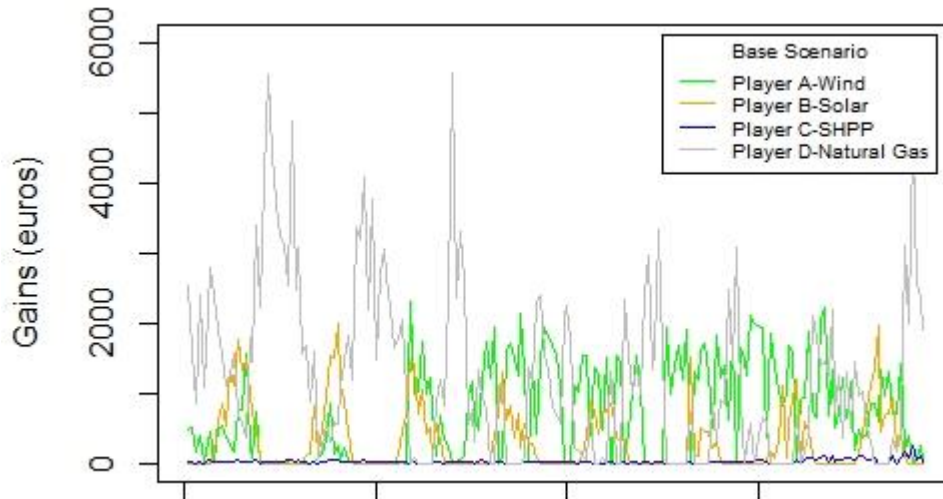
### 6.8.1 Συνολικό οικονομικό όφελος

Το πρώτο μέτρο επίδοσης που εξετάζεται είναι το συνολικό οικονομικό όφελος από τη λειτουργία της αγοράς και την εκτέλεση του ΗΕΠ για ένα ημερολογιακό έτος προσομοίωσης. Αφού υπολογιστούν οι συνολικές χρηματοροές για κάθε ώρα της ημέρας, κατατάσσονται σε κέρδη ή απώλειες ανάλογα με το πρόσημό τους (προφανώς μια θετική τιμή πρόκειται για κέρδος, ενώ μια αρνητική για απώλεια) και τελικά αθροίζονται διαμορφώνοντας το συνολικό όφελος. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 6.6 και η διαγραμματική αναπαράσταση αυτών για το υπό εξέταση χρονικό διάστημα στα Διαγράμματα 6.11 και 6.12.

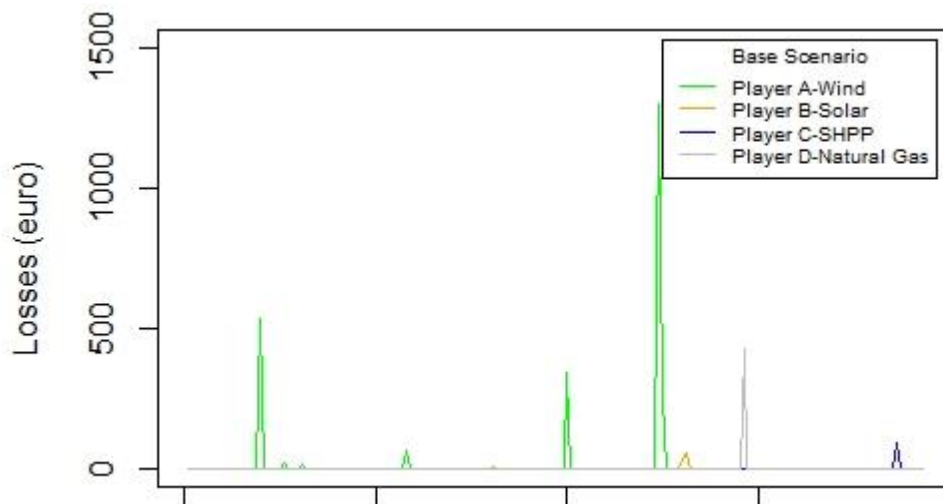
<b>Πίνακας 6.6</b> Όφελος παικτών – παραγωγών και αγοράς ενέργειας			
<b>Παίκτης</b>	<b>Κέρδη (€)</b>	<b>Απώλειες ( €)</b>	<b>Συνολικό Όφελος (€)</b>
Παίκτης Α	2,346,010	32,956	2,313,054
Παίκτης Β	1,674,824	737	1,674,087
Παίκτης Γ	2,102,162	6,703	2,095,459
Παίκτης Δ	4,508,747	2,079	4,506,668
Αγορά Ενέργειας	10,631,743	42,474	10,589,269

Όπως παρατηρείται, το Σενάριο ιεραρχίας 1 ευνοεί τον Παίκτη Α, καθώς έχει τα μεγαλύτερα κέρδη σχετικά με τους υπόλοιπους παραγωγούς με μονάδες ΑΠΕ, όπως και είναι λογικό αφού σύμφωνα με τη σειρά ιεραρχίας κατέχει την πρώτη θέση όταν κληθεί να δώσει ενέργεια. Παρ' όλα αυτά έχει και τις μεγαλύτερες απώλειες, γεγονός που υποδεικνύει την κακή φύση των προβλέψεών του, κάτι που έχει ήδη αποδειχθεί και μέσω των αποκλίσεων σε προηγούμενη φάση. Ο Παίκτης Β με τις μικρότερες απώλειες σε σχέση με όλους τους παίκτες χαρακτηρίζεται για τις καλές του προβλέψεις, παρά τα μικρότερα σχετικά κέρδη. Άλλωστε η ηλιακή ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από μικρότερη αβεβαιότητα από ότι οι άλλες δύο μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, περιορίζοντας σημαντικά τις οικονομικές απώλειες του κατόχου του φωτοβολταϊκού σταθμού.

Το μέτρο επίδοσης του συνολικού οφέλους θα αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα επιλογής του ευμενέστερου σεναρίου σε μετέπειτα στάδιο (στο Κεφάλαιο 7). Είναι γεγονός πως το σενάριο που θα αποδώσει το μεγαλύτερο συνολικό όφελος για την αγορά ενέργειας θα είναι και αυτό που θα επιλεγεί ως το βέλτιστο για τη λειτουργία της. Φυσικά υφίστανται και άλλοι σημαντικοί παράγοντες επιλογής που πρέπει να εξεταστούν και να ληφθούν υπόψη, αλλά σε αυτό το στάδιο η εργασία αποτελεί μια πρώτη επαφή με το αντικείμενο του ΗΕΠ και δεν εμβαθύνει σε σύνθετες παραμέτρους και παραδοχές.



Διάγραμμα 6.11 Κέρδη παικτών – παραγωγών για το Βασικό Σενάριο



Διάγραμμα 6.12 Απώλειες παικτών – παραγωγών για το Βασικό Σενάριο

Κατά την εβδομάδα που μελετάται, τα μεγαλύτερα κέρδη σημειώνει ο Παίκτης Δ, με τους Παίκτες Α και Β να ακολουθούν και τον Παίκτη Γ να έχει ανεπαίσθητα οφέλη, λόγω της ιεραρχίας του και της περιορισμένης παραγωγής εκ μέρους της μονάδας του.

### 6.8.2 Αξιοπιστία (reliability) προβλέψεων παικτών – παραγωγών

Για την αξιολόγηση της παρουσίας και της στρατηγικής των παικτών στο Χρηματιστήριο Ενέργειας, υπολογίζεται η αξιοπιστία (reliability) των προβλέψεων που παραθέτουν την προηγούμενη ημέρα από τη φυσική παράδοση (D-1). Σύμφωνα με την πρόβλεψή τους, καθορίζεται το πρόγραμμα αγοράς τους, κατανέμεται η ποσότητα που υποχρεούνται να προσφέρουν και αμείβονται, αντίστοιχα, για αυτήν με την ΟΤΣ. Όσο πιο αξιόπιστες είναι οι προβλέψεις, τόσο πιο ανταγωνιστικές γίνονται οι προσφορές τους και περιορίζοντας τις αποκλίσεις, τελικά αυξάνουν τα κέρδη και περιορίζουν τις απώλειές τους. Μεγιστοποιούν, δηλαδή, το συνολικό τους οικονομικό όφελος.

Στην παρούσα εργασία οι προβλέψεις για τον αιολικό και το φωτοβολταϊκό σταθμό έχουν παραχθεί με την προσθήκη τυχαίου σφάλματος στις πραγματικές μετρήσεις και την παραδοχή ότι η ταχύτητα του ανέμου είναι περισσότερη αβέβαιη στην πρόβλεψή της (γι' αυτό και το σφάλμα είναι μεγαλύτερο). Για τα ΜΥΗΕ έχουν ληφθεί δεδομένα πρόβλεψης, τα οποία έχουν εξαχθεί από εξειδικευμένα μαθηματικά μοντέλα που ειδικεύονται στην πρόβλεψη εισροών. Παρ' όλα αυτά αξίζει να συγκριθεί η αξιοπιστία των παικτών όσον αφορά τις προβλέψεις τους.

Η «βέλτιστη» πρόβλεψη προφανώς επιτυγχάνεται τις φορές που οι παίκτες προβλέπουν επακριβώς την παραγόμενη ποσότητα ενέργειας των μονάδων τους. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, λόγω του ότι οι προβλέψεις έχουν παραχθεί με την απλουστευτική μεθοδολογία της προσθήκης τυχαίους σφάλματος, δίνεται ένα μικρό περιθώριο απόστασης από την πλήρη ταύτιση. Ως «βέλτιστη», λοιπόν θα θεωρηθεί η πρόβλεψη, της οποίας η απόκλιση δεν υπερβαίνει την 1 MWh.

Για τον καθορισμό μιας πρόβλεψης ως «καλή», προκειμένου να επιτρέπεται ένα μεγαλύτερο περιθώριο αποκλίσεων, προσδιορίζεται το ποσοστό αναλογίας των αποκλίσεων των προβλέψεων της παραγόμενης ενέργειας κάθε μορφής με τις αποκλίσεις των προβλέψεων της ζήτησης (δηλαδή π.χ. για τον Παίκτη Α το ποσοστό είναι:  $\text{devforecast\_wind/dev\_demand}$ ). Όσο το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο (ή ίσο) του 20 %, επιτρέπεται ο χαρακτηρισμός της πρόβλεψης ως «καλή».

Στον Πίνακα 6.7 παρουσιάζεται η αξιοπιστία των προβλέψεων (reliability) των παικτών σύμφωνα με τους προαναφερθέντες χαρακτηρισμούς.

Πίνακας 6.7 Αξιοπιστία προβλέψεων παικτών – παραγωγών		
Παίκτης	«Βέλτιστη» Πρόβλεψη	«Καλή» Πρόβλεψη
Παίκτης Α	37.4 %	51.2 %
Παίκτης Β	60.3 %	70.8 %
Παίκτης Γ	59.9 %	33.1 %

Όπως αποδεικνύεται, τόσο «βέλτιστες», όσο και «καλές» προβλέψεις επιτυγχάνει σε μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου ο Παίκτης Β, κάτοχος του φωτοβολταϊκού σταθμού. Έτσι, επιτυγχάνει την ελαχιστοποίηση των οικονομικών του απωλειών. Σε επίπεδο «βέλτιστης» πρόβλεψης, τη μεγαλύτερη δυσκολία αντιμετωπίζει ο Παίκτης Α με τον αιολικό σταθμό και ποσοστό επιτυχίας 37.4 %. Ωστόσο, σε όρους «καλής» πρόβλεψης, τη μεγαλύτερη δυσκολία αντιμετωπίζει ο Παίκτης Γ με τα ΜΥΗΕ.

Για να επιτύχουν οι παίκτες υψηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας, περιορίζοντας τις επιπτώσεις που αποφέρουν οι αποκλίσεις των προβλέψεών τους, διαφοροποιούν το χαρτοφυλάκιο των μονάδων που έχουν στη διάθεσή τους, εμπλουτίζοντάς το με περισσότερες από μια μορφές ενέργειας. Έτσι, επιτυγχάνουν μικρότερη έκθεση στις καιρικές συνθήκες που αφορούν μόνο ένα έργο και μπορούν να αυξήσουν τις αποκλίσεις. Η τεχνική αυτή περιγράφεται στο Κεφάλαιο 7.

Οι παίκτες – παραγωγοί με βάση την εμπειρία τους, και τις γενικότερες γνώσεις τους για την αγορά, πρέπει να επιτελούν αναλυτικό σχεδιασμό του προγραμματισμού τους, να βελτιστοποιούν τα μοντέλα πρόβλεψής στα οποία βασίζουν τη λειτουργία τους, αλλά και να μελετούν ενδελεχώς τη συμπεριφορά και τις αποκρίσεις των «αντιπάλων» τους, προκειμένου να κατακτούν μια ισχυρή στρατηγική θέση στην αγορά.

### 6.8.3 Ευαισθησία (vulnerability) προβλέψεων παικτών – παραγωγών

Για την περαιτέρω αξιολόγηση της παρουσίας παικτών στο Χρηματιστήριο Ενέργειας, υπολογίζεται η ευαισθησία των προβλέψεων που παραθέτουν την προηγούμενη ημέρα από τη φυσική παράδοση (D-1). Το μέτρο επίδοσης της ευαισθησίας (vulnerability) υπολογίζει πόσο μεγάλες είναι οι επιπτώσεις από μία αστοχία. Στην προκειμένη περίπτωση, αντικατοπτρίζει ποιες είναι οι συνέπειες των αποκλίσεων στις προβλέψεις των παραγωγών, στην απόκριση τους στο Χρηματιστήριο Ενέργειας. Στο αριθμητή του λόγου που υπολογίζεται τίθεται η απόλυτη τιμή του αθροίσματος των αρνητικών αποκλίσεων που προκύπτουν από την προσφορά των παικτών (δηλαδή π.χ. για τον Παίκτη Α είναι:  $\text{sum}(\text{abs}(\text{Ewind\_dev}))$ ). Στον παρονομαστή του λόγου τίθεται το ποσοστό του χρόνου που ο παίκτης δεν επιτυγχάνει μια «βέλτιστη», ή μια «καλή» πρόβλεψη, όπως αυτές ορίζονται παραπάνω.

Η διαδικασία αυτή αποτελεί μια ποσοτικοποίηση της παραπάνω λογικής, του μέτρου επίδοσης της αξιοπιστίας. Δεν αρκεί το ποσοστό του χρόνου που ο παίκτης αποτυγχάνει να κάνει μια καλή πρόβλεψη να είναι μικρό. Είναι εξίσου σημαντικό το μέγεθος της απόκλισης αυτής, το οποίο θα επιφέρει και ουσιαστικές συνέπειες στην κερδοφορία του, να είναι περιορισμένο. Στον Πίνακα 6.8 παρουσιάζεται η ευαισθησία των προβλέψεων των παικτών σύμφωνα με την παραπάνω λογική.

Πίνακας 6.8 Ευαισθησία προβλέψεων παικτών – παραγωγών (MWh)					
Παίκτης	Αποκλίσεις	«Βέλτιστη» πρόβλεψη		«Καλή» πρόβλεψη	
		Αστοχίες (N)	Ευαισθησία	Αστοχίες (N)	Ευαισθησία
Παίκτης Α	11409.9	4265	<b>2.68</b>	5471	<b>2.08</b>
Παίκτης Β	2007.0	2552	<b>0.79</b>	3467	<b>0.57</b>
Παίκτης Γ	3944.4	3508	<b>1.12</b>	5845	<b>0.67</b>

Παρατηρείται ότι μεγαλύτερες είναι επιπτώσεις από τις κακές προβλέψεις του Παίκτη Α στην απόκρισή του. Οι κακές του προβλέψεις επιφέρουν μεγαλύτερες αποκλίσεις και στην προσφορά του, γεγονός που του κοστίζει μεγάλα ποσά που χρεώνονται με την ΟΤΑ και αφαιρούνται από το συνολικό του όφελος. Επομένως, δεν έχει μόνο σημασία το ποσοστό των επιτυχημένων προβλέψεων, αλλά και το μέγεθος των απωλειών που επιφέρουν οι αποτυχημένες προβλέψεις του κάθε παίκτη.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Εναλλακτικά σενάρια επίλυσης του ΗΕΠ: Σύγκριση αποτελεσμάτων και σχολιασμός**

### **7.1 Εισαγωγή**

Το Βασικό Σενάριο, που αναλύθηκε και παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 6, αποτελεί μια πρώτη επαφή με το αντικείμενο της επίλυσης του ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού (ΗΕΠ). Με απλουστευτικούς κανόνες και βασικές παραδοχές τελείται η προσομοίωση της επίλυσής του, με σκοπό την κατανόηση της λειτουργίας του όσον αφορά το θέμα της διαχείρισης της ενέργειας. Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται εναλλακτικά σενάρια που αφορούν την ιεραρχία των παικτών – παραγωγών και τον τρόπο διαμόρφωσης του ενεργειακού μίγματος που έχουν στην κατοχή τους. Αφού εκπονηθεί η επίλυση του ΗΕΠ με τη μεθοδολογία που αναλύθηκε παραπάνω, παρατίθενται τα αποτελέσματα, τα οποία αξιοποιούνται για τη σύγκριση των σεναρίων μέσω μέτρων επίδοσης των παικτών και την εξαγωγή συμπερασμάτων γενικότερων για την λειτουργία της αγοράς, αλλά και για την εύρεση του ευμενέστερου για όλους τους συμμετέχοντες σεναρίου.

### **7.2 Εναλλακτικό Σενάριο Α: Μεταβολή ιεραρχίας παικτών – παραγωγών**

Για την διαμόρφωση του πρώτου εναλλακτικού σεναρίου μεταβάλλεται ο κανόνας λειτουργίας που αφορά την ιεραρχία των παικτών στην κατανομή της ενέργειας. Στην πραγματικότητα, η ιεραρχία με την οποία οι παίκτες προσφέρουν ενέργεια στο σύστημα καθορίζεται από το Διαχειριστή του Συστήματος. Αξιολογείται πρωτίστως η τιμή στην οποία ο κάθε παραγωγός προσφέρει ενέργεια, δηλαδή η καμπύλη προσφοράς του, αλλά και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας του. Προτεραιότητα δίνεται στον παραγωγό που προσφέρει ενέργεια στη χαμηλότερη τιμή.

Στην παρούσα εργασία, η ιεραρχία καθορίζεται με τις εξής απλουστευτικές παραδοχές:

- I. Της απλής εναλλαγής των παικτών στα έξι (6) διαφορετικά σενάρια ιεραρχίας του Πίνακα 6.3, με την ιεραρχία να παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του ενός έτους της προσομοίωσης. Μια τέτοια παραδοχή δεν είναι απολύτως ρεαλιστική, καθότι η ιεραρχία μεταβάλλεται και πρέπει να μεταβάλλεται σε κάθε χρονικό βήμα, με τους παίκτες να κάνουν πιο ανταγωνιστικές τις προσφορές τους για να κατέχουν τις πρώτες θέσεις και τα αντίστοιχα κέρδη – προνόμια.
- II. Της εναλλαγής της ιεραρχίας των παικτών – παραγωγών σε κάθε χρονικό βήμα, όπως αρμόζει και στην πραγματικότητα. Για απλούστευση της διαδικασίας, η ιεραρχία τους είναι τυχαία και καθορίζεται μέσω του κώδικα είτε με ίση πιθανότητα ιεράρχησης των παικτών (δηλαδή 33,3% πιθανότητα), είτε με άνισες πιθανότητες, ώστε μεγαλύτερη προτεραιότητα να δίνεται σε διαφορετικό κάθε φορά παίκτη. Η λογική πίσω από την επιλογή έκθεσης αυτού του σεναρίου έγκειται στο ενδιαφέρον να μελετηθεί η κατάσταση, κατά την οποία ένας παίκτης δίνει πιο ανταγωνιστικές προσφορές σε μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου, και άρα «κερδίζει» συχνότερα την πρώτη θέση στην ιεραρχία.

### 7.2.1 Εναλλαγή ιεραρχίας παικτών Βασικού Σεναρίου

Αυτό το σενάριο αποτελεί παραλλαγή του «Βασικού Σεναρίου», όσον αφορά την ιεραρχία των παικτών. Στο Κεφάλαιο 6 εκτελείται το Σενάριο Ιεραρχίας 1 (όπως αυτό ορίζεται στον Πίνακα 6.3), ενώ στην παρούσα φάση επιλύεται ο ΗΕΠ για τα υπόλοιπα σενάρια ιεραρχίας. Να σημειωθεί ότι οι παίκτες διατηρούν την θέση που τους έχει αποδοθεί καθ' όλο το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης, το οποίο ισοδυναμεί με ένα ημερολογιακό έτος.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παρακάτω Πίνακα 7.2, τα πιο οικονομικώς συμφέροντα σενάρια για το σύνολο της αγοράς ενέργειας είναι τα **Σενάρια Ιεραρχίας 2 και 5**, τα οποία παρουσιάζουν το μεγαλύτερο συνολικό όφελος των **10.63 εκ. €**. Ως όφελος ορίζεται το άθροισμα των χρηματορροών του κάθε παίκτη, που περιλαμβάνουν τα κέρδη των αποζημιώσεων (είτε με την ΟΤΣ, ή με την ΟΤΑ) και τις απώλειες των χρεώσεων (με την ΟΤΑ). Εξετάζοντας περισσότερα δεκαδικά ψηφία, το **Σενάριο 5** φαίνεται να είναι το βέλτιστο με μια ελάχιστη απόκλιση από το Σενάριο 2. Ακολουθεί το Σενάριο 3 και τα υπόλοιπα σενάρια έρχονται τελευταία.

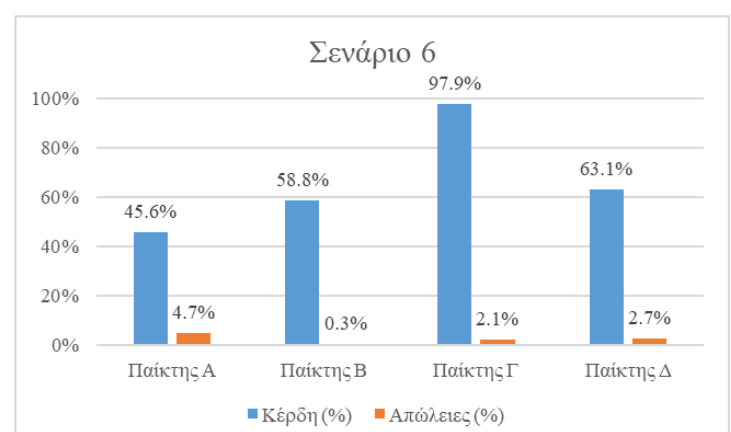
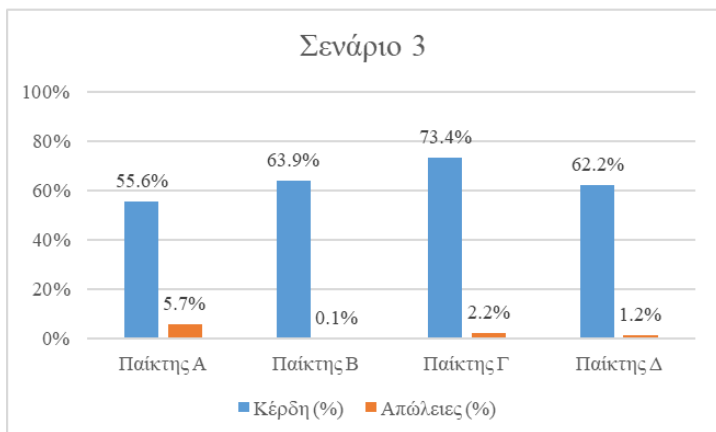
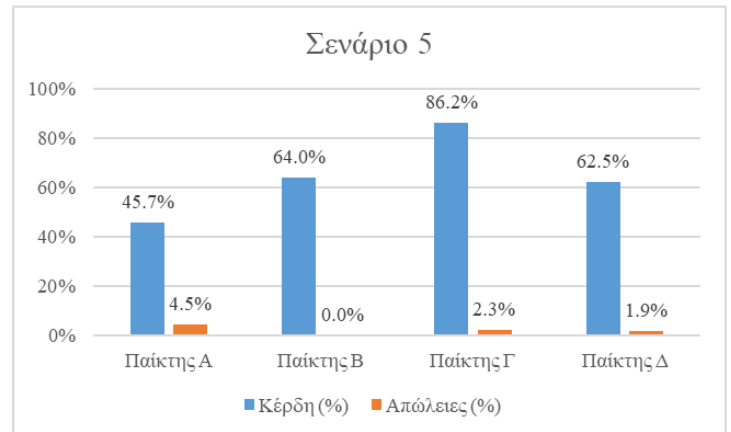
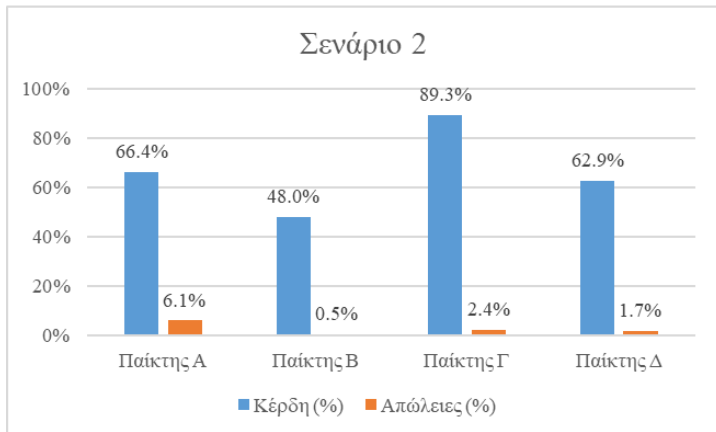
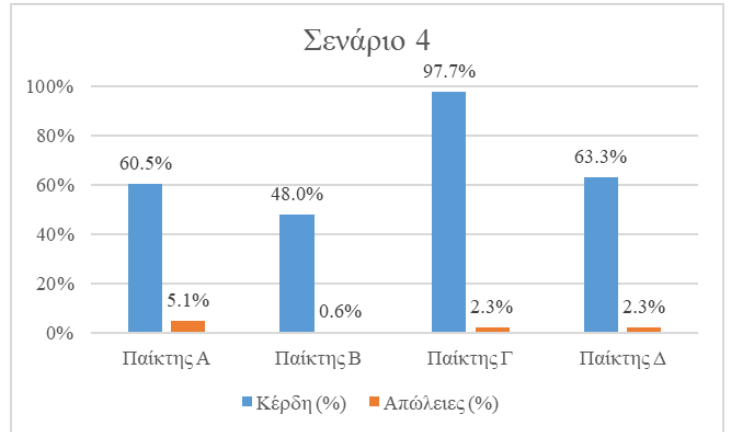
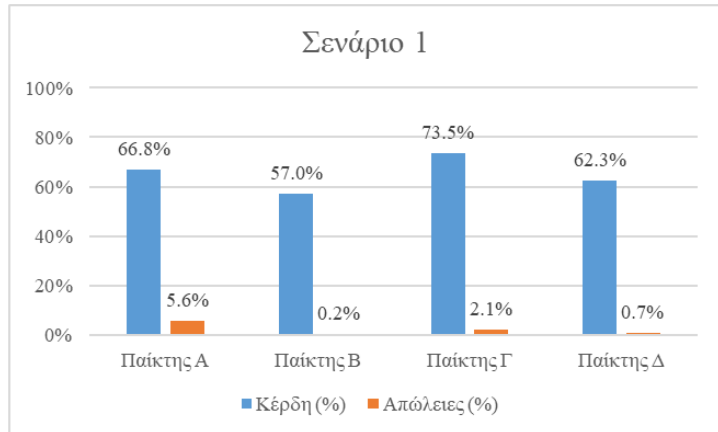
Τα Διαγράμματα 7.1 έως 7.6 προσφέρουν μια ευρύτερη εποπτεία των σεναρίων και της απόκρισης των παικτών σε αυτά. Αναπαριστούν το ποσοστό του χρόνου που ο κάθε παίκτης – παραγωγός σημειώνει κέρδη και απώλειες για κάθε πιθανό σενάριο. Βέλτιστο σενάριο ορίζεται εκείνο που για κάθε παίκτη μεγιστοποιεί τα κέρδη και περιορίζει τις απώλειες. Όπως γίνεται αντιληπτό, το βέλτιστο σενάριο για κάθε παίκτη είναι το εξής:

Πίνακας 7.1 Επιλογή βέλτιστου σεναρίου για κάθε παίκτη	
Παίκτης	Βέλτιστο Σενάριο
Παίκτης Α	1
Παίκτης Β	5
Παίκτης Γ	6
Παίκτης Δ	4

Σύμφωνα με την παραδοχή του υπό εξέταση σεναρίου, είναι λογικό επακόλουθο ο παίκτης που κατέχει την πρώτη θέση στην ιεραρχία να έχει αυξημένα κέρδη αναλογικά με τους υπόλοιπους. Τα οφέλη, δε, των παικτών όταν μεταβιβάζονται από την 1<sup>η</sup> στην 3<sup>η</sup> θέση μειώνονται έως και 48 % για τον Παίκτη Α, 52 % για τον Παίκτη Β και 30 % για τον Παίκτη Γ. Είναι, λοιπόν, καίριας σημασίας για την οικονομική ευημερία του κάθε παίκτη η θέση που θα του κατανεμηθεί. Ο κανόνας αυτός δημιουργεί σημαντικές αποκλίσεις στην κερδοφορία των παικτών και, μάλιστα, καθιστά τον Παίκτη Δ, τον κάτοχο του σταθμού φυσικού αερίου, τον κύριο συμμετέχοντα στην αγορά με περισσότερο από διπλάσια κέρδη από τους υπόλοιπους. Μια τέτοια απόκριση του συστήματος δεν είναι αποδεκτή και δε συνάδει με τις επιταγές του Target Model, το οποίο προωθεί την ίση και δίκαιη συμμετοχή όλων των παικτών στην αγορά. Οι συνθήκες αυτές δεν ευνοούν τις επενδύσεις και στρέφουν το ενδιαφέρον σε άλλες αγορές με περισσότερο εύρυθμη λειτουργία.

Να σημειωθεί πως οι απώλειες του Παίκτη Β είναι μηδαμινές για όλα τα σενάρια ιεραρχίας, γεγονός που αποδεικνύει για ακόμα μία φορά την καλή πρόβλεψη που επιτυγχάνεται στα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και την καλή στρατηγική που διαμορφώνει με βάση την προσφορά του. Επίσης, τα κέρδη του Παίκτη Γ είναι αυξημένα σε όλα τα σενάρια ιεραρχίας.

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης



Διαγράμματα 7.1 έως 7.6 Κέρδη και απώλειες παικτών στα έξι (6) εναλλακτικά σενάρια ιεραρχίας

<b>Πίνακας 7.2: Οικονομικά αποτελέσματα εναλλακτικών σεναρίων ιεραρχίας παικτών</b>				
<b>Παίκτες - Παραγωγοί</b>	<b>Παίκτης Α</b>	<b>Παίκτης Β</b>	<b>Παίκτης Γ</b>	<b>Παίκτης Δ</b>
<b>Σενάριο ιεραρχίας 1</b>				
<i>Ιεραρχία</i>	1	2	3	4
Όφελος (€)	2,313,054	1,674,087	2,095,460	4,506,668
Κέρδη (€)	2,346,010	1,674,824	2,102,162	4,508,747
Απώλειες (€)	32,956	737	6,703	2,079
<i>Όφελος Αγοράς (εκ. €)</i>	<i>10.59</i>			
<b>Σενάριο ιεραρχίας 2</b>				
<i>Ιεραρχία</i>	1	3	2	4
Όφελος (€)	2,312,456	1,204,552	2,571,822	4,544,133
Κέρδη (€)	2,355,384	1,205,976	2,579,115	4,545,966
Απώλειες (€)	42,927	1,423	7,294	1,833
<i>Όφελος Αγοράς (εκ. €)</i>	<i>10.63</i>			
<b>Σενάριο ιεραρχίας 3</b>				
<i>Ιεραρχία</i>	2	1	3	4
Όφελος (€)	1,532,030	2,476,206	2,095,236	4,508,376
Κέρδη (€)	1,563,984	2,476,529	2,101,055	4,545,966
Απώλειες (€)	31,954	322	5,819	1,652
<i>Όφελος Αγοράς (εκ. €)</i>	<i>10.61</i>			
<b>Σενάριο ιεραρχίας 4</b>				
<i>Ιεραρχία</i>	2	3	1	4
Όφελος (€)	1,925,271	1,204,552	2,985,505	4,467,619
Κέρδη (€)	1,955,710	1,220,362	2,991,946	4,469,097
Απώλειες (€)	30,439	993	6,441	1,478
<i>Όφελος Αγοράς (εκ. €)</i>	<i>10.58</i>			
<b>Σενάριο ιεραρχίας 5</b>				
<i>Ιεραρχία</i>	3	1	2	4
Όφελος (€)	1,200,971	2,484,098	2,450,861	4,497,984
Κέρδη (€)	1,220,595	2,484,415	2,457,937	4,500,424
Απώλειες (€)	19,624	317	7,076	2,440
<i>Όφελος Αγοράς (εκ. €)</i>	<i>10.63</i>			
<b>Σενάριο ιεραρχίας 6</b>				
<i>Ιεραρχία</i>	3	2	1	4
Όφελος (€)	1,195,656	1,947,116	2,980,089	4,456,853
Κέρδη (€)	1,219,473	1,947,745	2,986,269	4,458,569
Απώλειες (€)	23,817	629	6,180	1,715
<i>Όφελος Αγοράς (εκ. €)</i>	<i>10.58</i>			



## 7.2.2 Τυχαία ιεραρχία παικτών

### 7.2.2.1 Με ίση πιθανότητα ιεράρχησης

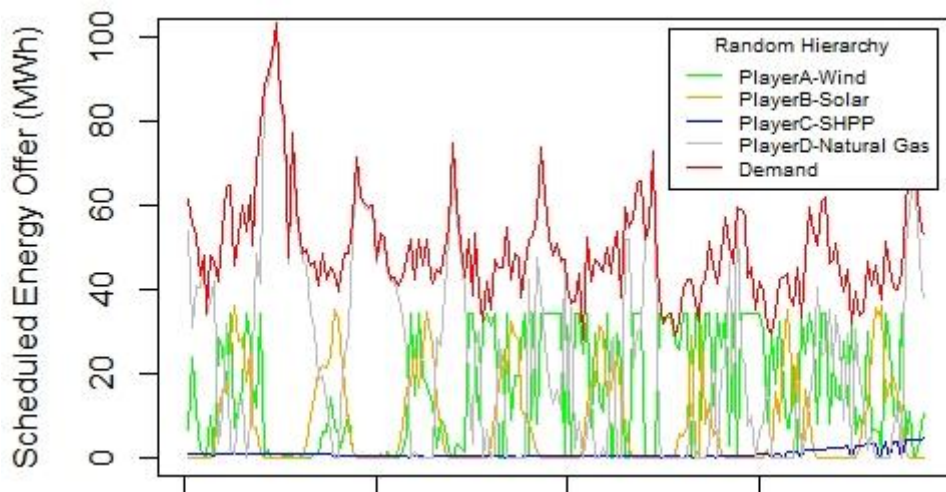
Στο σενάριο αυτό η ιεραρχία των κατόχων μονάδων ΑΠΕ καθορίζεται τυχαία και μεταβάλλεται σε κάθε χρονικό βήμα, αλλά με ίση πιθανότητα ιεράρχησης των παικτών (δηλαδή 33,3% πιθανότητα). Η θεώρηση αυτή είναι περισσότερο συναφής με την πραγματικότητα, όπου πραγματοποιείται εναλλαγή της ιεραρχίας σε κάθε χρονικό βήμα με την κατάταξη να καθορίζεται από την προσφορά. Η θέση του Παίκτη Δ εξακολουθεί να είναι η 4<sup>η</sup> και τελευταία στην ιεραρχία, διότι σκοπός του συστήματος είναι η κατά τον μέγιστο βαθμό αξιοποίηση των ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα παρακάτω Διαγράμματα 7.7 – 7.9 και στους Πίνακες 7.3 – 7.4 και έχουν προκύψει σαν μέσοι όροι 10 επαναλήψεων του κώδικα, καθώς σε κάθε τρέξιμο (run) η τυχαιότητα που δίνεται στην ιεραρχία με την εντολή rand(), μεταβάλλει τα αποτελέσματα.

<b>Πίνακας 7.3</b> Τυχαία ιεραρχία παικτών με ίση πιθανότητα ιεράρχησης			
	<b>Παίκτης Α</b>	<b>Παίκτης Β</b>	<b>Παίκτης Γ</b>
% χρόνου που είναι 1 <sup>ος</sup>	32.9 %	33.5 %	33.6 %
% χρόνου που είναι 2 <sup>ος</sup>	33.5 %	41.1 %	25.5 %
% χρόνου που είναι 3 <sup>ος</sup>	33.6 %	25.5 %	40.9 %

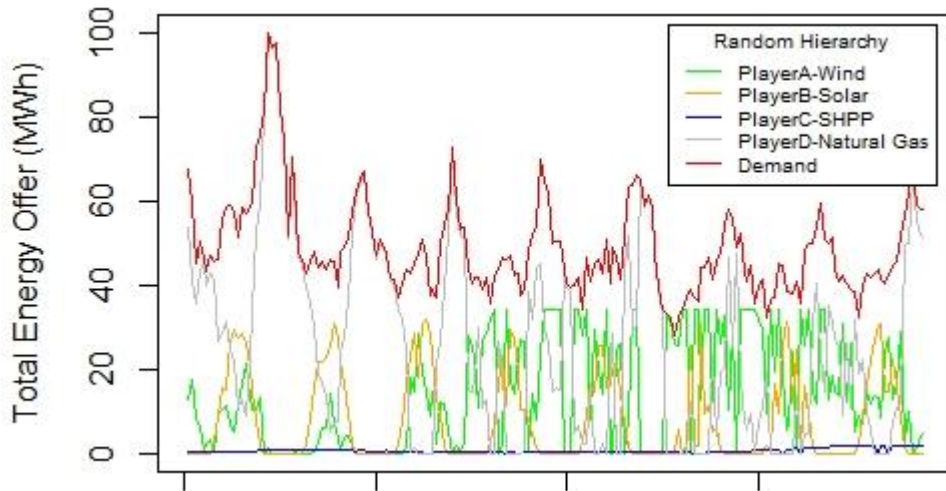
Όπως φαίνεται, η ιεραρχία στην πρώτη θέση είναι κατανομημένη ισόποσα μεταξύ των παικτών, ενώ ο Παίκτης Β έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να είναι 2<sup>ος</sup> και ο Παίκτης Γ μεγαλύτερη πιθανότητα να είναι 3<sup>ος</sup>. Υπενθυμίζεται πως η κατανομή προέκυψε τυχαία μέσω κώδικα R. Η διαδικασία περιλαμβάνει την απόδοση μιας τυχαίας θέσης στον Παίκτη Α και στη συνέχεια την παραγωγή ενός τυχαίου, μη αρνητικού αριθμού από την κανονική κατανομή και τον έλεγχο του εάν υπερβαίνει το 50 %, οπότε και καθορίζεται η θέση του Παίκτη Β, ή όχι, οπότε καθορίζεται η θέση του Παίκτη Γ.

Στα παρακάτω Διαγράμματα 7.7 έως 7.9 (που αφορούν το χρονικό διάστημα 21/08 00:00 έως 28/08 23:00, δηλαδή την εβδομάδα που παρατηρείται η αιχμή της ζήτησης) φαίνεται έντονη η παρουσία των Παικτών Α και Β, ενώ η προσφορά του Παίκτη Γ είναι περιορισμένη, πιθανώς λόγω χαμηλής παραγωγής. Στον Πίνακα 7.4 παρουσιάζονται τα οικονομικά αποτελέσματα για τους παίκτες – παραγωγούς. Τα μεγαλύτερα κέρδη επιτυγχάνει ο Παίκτης Δ, κάτοχος του σταθμού φυσικού αερίου, όπως και σε όλα τα υπό μελέτη σενάρια. Αν και την εβδομάδα αιχμής η παρουσία του Παίκτη Γ δεν είναι αισθητή, στο χρονικό πλαίσιο της προσομοίωσης έχει τα μεγαλύτερα οφέλη από τους κατόχους μονάδων ΑΠΕ. Το συνολικό όφελος της αγοράς κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με τα σενάρια της προηγούμενης παραγράφου.

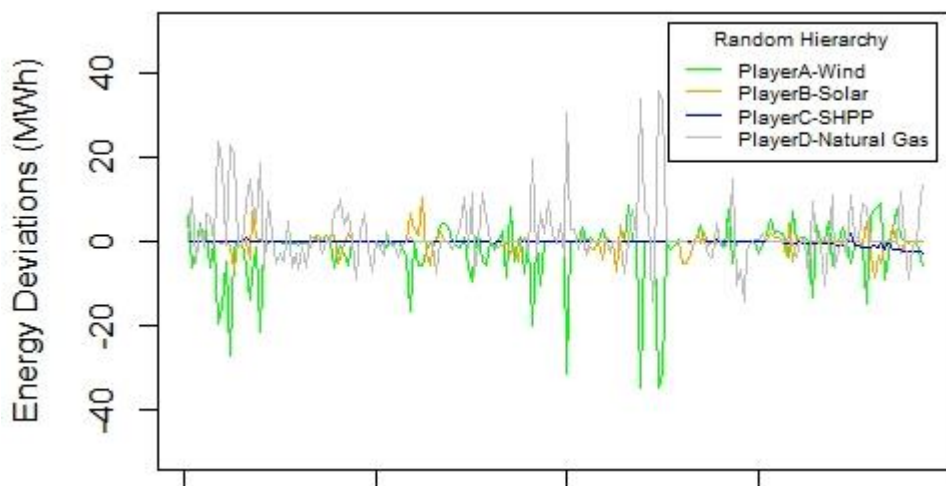
<b>Πίνακας 7.4</b> Όφελος παικτών – παραγωγών και αγοράς ενέργειας			
<b>Παίκτης</b>	<b>Κέρδη (€)</b>	<b>Απώλειες (€)</b>	<b>Συνολικό Όφελος (€)</b>
Παίκτης Α	1,763,089	32,527	1,727,562
Παίκτης Β	1,888,462	1,714	1,886,748
Παίκτης Γ	2,503,200	8,516	2,494,684
Παίκτης Δ	4,504,432	2,142	4,502,290
Αγορά Ενέργειας	10,659,285	47,889	10,611,285



Διάγραμμα 7.7 Προγραμματισμένη προσφορά ενέργειας



Διάγραμμα 7.8 Πραγματική προσφορά ενέργειας



Διάγραμμα 7.9 Απόκλιση πραγματικής από την προγραμματισμένη προσφορά ενέργειας

### 7.2.2.2 Με άνιση πιθανότητα ιεράρχησης

Στο σενάριο αυτό η ιεραρχία των παικτών εναλλάσσεται σε κάθε ωριαίο χρονικό βήμα. Ενώ καθορίζεται τυχαία από τον κώδικα, δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα βάσει πιθανοτήτων σε έναν κάθε φορά παίκτη. Ο παίκτης αυτός κερδίζει την πρώτη θέση σε μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου από τους υπόλοιπους, λόγω των καλύτερων και πιο ανταγωνιστικών προσφορών που σχεδιάζει. Η κατάσταση αυτή προσεγγίζει περισσότερο την πραγματική λειτουργία της αγοράς ενέργειας συγκριτικά με την περίπτωση της ίσης πιθανότητας ιεράρχησης (παράγραφος 7.2.2.1).

Το σενάριο που μεγιστοποιεί τα κέρδη των επιμέρους παικτών και το συνολικό όφελος της αγοράς υπογορεύει η πιθανότητα ιεράρχησης στην 1<sup>η</sup> θέση του Παίκτη Α να είναι ίση με 70 %, του Β 20 % και του Γ 10 %. Δηλαδή, ο Παίκτης Α να διαμορφώνει τις καλύτερες προσφορές και οι άλλοι δύο να ακολουθούν. Σύμφωνα με αυτή τη λογική, τα ποσοστά του χρόνου που εμφανίζεται ο κάθε παίκτης στην κάθε θέση δίνονται στον Πίνακα 7.5 και έχουν προκύψει σαν μέσοι όροι 10 επαναλήψεων του κώδικα, καθώς σε κάθε τρέξιμο (run) η τυχαιότητα που δίνεται στην ιεραρχία με την εντολή rand(), μεταβάλλει τα αποτελέσματα.

<b>Πίνακας 7.5</b> Τυχαία ιεραρχία παικτών με άνιση πιθανότητα ιεράρχησης			
	<b>Παίκτης Α</b>	<b>Παίκτης Β</b>	<b>Παίκτης Γ</b>
% χρόνου που είναι 1 <sup>ος</sup>	51.4 %	30.6 %	18.0 %
% χρόνου που είναι 2 <sup>ος</sup>	18.0 %	51.4 %	30.6 %
% χρόνου που είναι 3 <sup>ος</sup>	30.6 %	18.0 %	51.4 %

Από την οικονομική ανάλυση των χρηματοροών προκύπτει ότι τα μεγαλύτερα οφέλη έχει ο Παίκτης Δ, όπως και στις υπόλοιπες περιπτώσεις ιεραρχίας, ακολουθεί Παίκτης Γ (παρόλο που συνήθως κατέχει την 3<sup>η</sup> θέση) και τελευταίοι είναι οι Παίκτες Α και Β. Το συνολικό όφελος της αγοράς κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με τα σενάρια της προηγούμενης παραγράφου.

<b>Πίνακας 7.6</b> Όφελος παικτών – παραγωγών και αγοράς ενέργειας			
<b>Παίκτης</b>	<b>Κέρδη (€)</b>	<b>Απώλειες (€)</b>	<b>Συνολικό Όφελος (€)</b>
Παίκτης Α	1,936,672	32,834	1,903,829
Παίκτης Β	1,845,338	614	1,844,775
Παίκτης Γ	2,368,196	5,923	2,362,273
Παίκτης Δ	4,508,126	1,915	4,506,211
Αγορά Ενέργειας	10,658,382	41,295	10,617,088

Προκύπτει, επομένως για το Σενάριο Α, το ζήτημα του κατά πόσον η ιεραρχία είναι καθοριστική για την απόκριση και την κερδοφορία των παικτών. Όπως παρατηρείται, τα κέρδη του Παίκτη Γ είναι συνεχώς μεγαλύτερα από τους υπόλοιπους παίκτες. Παρά την μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ του και το μικρότερο μερίδιο που κατέχει στο ενεργειακό μίγμα της περιοχής μελέτης, οι «εισροές ενέργειας» που αξιοποιούν οι μονάδες των ΜΥΗΕ είναι μάλλον περισσότερες από τους άλλους δύο σταθμούς: των Α/Γ και των Φ/Β. Αυτό το γεγονός δίνει και το συγκριτικό πλεονέκτημα στον Παίκτη Γ, ο οποίος επωφελείται από την αυξημένη παραγωγή ενέργειας που επιτυγχάνει.

### **7.3 Εναλλακτικό Σενάριο Β: Αλλαγή διαμόρφωσης ενεργειακού μίγματος παικτών – παραγωγών**

Το Σενάριο Β διαφέρει από το Βασικό Σενάριο στην κατανομή των μονάδων παραγωγής στους παίκτες της υπό μελέτης αγοράς ενέργειας. Ενώ στο Βασικό Σενάριο κάθε παίκτης ήταν ιδιοκτήτης του κάθε σταθμού παραγωγής (ο Παίκτης Α του αιολικού, ο Παίκτης Β του φωτοβολταϊκού, κ.ο.κ.), στο Σενάριο Β ο κάθε παίκτης διαθέτει παραπάνω από μια μορφή ενέργειας. Να σημειωθεί ότι σύμφωνα και με αυτή την εναλλακτική κατανομή, οι παίκτες έχουν περίπου ίδιο μερίδιο συμμετοχής στην αγορά (αναλύεται στη συνέχεια). Ο Παίκτης Δ εξακολουθεί να έχει αποκλειστικότητα στην κατοχή του σταθμού φυσικού αερίου.

Μια τέτοια κατάσταση, με τους συμμετέχοντες στην αγορά ενέργειας να διαθέτουν ένα διαφοροποιημένο χαρτοφυλάκιο έργων, είναι περισσότερο ρεαλιστική και συμβατή με τις πραγματικές συνθήκες της αγοράς. Αποτελεί, μάλιστα, τακτική για τη διαχείριση του κινδύνου που διέπει τις επενδύσεις και γενικότερα τη λειτουργία του Χρηματιστηρίου Ενέργειας, όπως αυτό διαμορφώνεται με τις επιταγές του Μοντέλου – Στόχου.

#### **7.3.1 Διαχείριση κινδύνου - Διαφοροποίηση χαρτοφυλακίου (portfolio diversification)**

Ως κίνδυνος (risk) στα οικονομικά, ορίζεται η μεταβλητότητα των δυνητικών αποτελεσμάτων μιας επένδυσης γύρω από την αναμενόμενη τιμή της. Αναφέρεται στην αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει την απόδοσή της, ενώ γίνεται αντιληπτός από τις διακυμάνσεις της αναμενόμενης αυτής απόδοσης. Συγκεκριμένα, ο επιχειρηματικός κίνδυνος (business risk), που κυρίως αφορά τους παίκτες του Χρηματιστηρίου Ενέργειας, αναφέρεται στον κίνδυνο μείωσης της αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας μιας επιχείρησης λόγω λανθασμένων στρατηγικών αποφάσεων για τη λειτουργία της εκ μέρους της διοίκησης. Οι αποφάσεις αυτές συνεπάγονται, τελικά, την εμφάνιση ζημιών. Ο επιχειρηματικός κίνδυνος ανήκει στην κατηγορία των μη συστηματικών κινδύνων (non-systematic risk). Οφείλεται, δηλαδή, σε λόγους που αφορούν την κάθε επένδυση ξεχωριστά και κατ' επέκταση μπορούν να εξαλειφθούν με την τεχνική της διαφοροποίησης του χαρτοφυλακίου (portfolio diversification).

Η αγορά ενέργειας, λειτουργώντας με γνώμονα τους κανονισμούς του Target Model, στοχεύει στην προώθηση του ανταγωνισμού και τη δημιουργία ρευστότητας, προκειμένου να καθίσταται ευκολότερη η διαχείριση του ρίσκου. Το Target Model, ενώ μακροπρόθεσμα έχει σχεδιαστεί προς όφελος των συμμετεχόντων της αγοράς και των καταναλωτών, στα πρώτα στάδια της εφαρμογής του αναμένεται να εγείρει σημαντικές προκλήσεις. Οι προκλήσεις αυτές συνοψίζονται στην ανάγκη κατανόησης και προσαρμογής σε μία νέα, περισσότερο σύνθετη μορφή αγοράς με αυξημένες απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις αφορούν τη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη πρόβλεψη της παραγωγής και της ζήτησης, καθώς και άλλων καθοριστικών παραμέτρων, όπως οι τιμές εκπομπών ρύπων, οι τιμές καυσίμων, τα αυξημένα ποσοστά διείσδυσης των ΑΠΕ, η σύζευξη με τις γειτονικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ. Στις σύγχρονες αγορές ενέργειας, βασική προϋπόθεση για την αποτελεσματική διαχείριση του κινδύνου αποτελεί η ικανότητα πρόβλεψης σε συνδυασμό με τη βαθιά γνώση της αγοράς. Η, δε, ανάπτυξη υπολογιστικών εργαλείων προσομοίωσης (όπως το PLEXOS) αποτελεί θεμέλιο για την λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων βασισμένων σε μια επιτυχή επενδυτική στρατηγική, η οποία έχει προέλθει από την ποσοτική ανάλυση δεδομένων και την κατοχή ακριβών στοιχείων για την αποτελεσματική διαχείριση του κινδύνου σε μακροπρόθεσμη βάση.

Η σημασία και η βαρύτητα της καλής πρόβλεψης βρίσκεται σε συνάρτηση με την έντονη αβεβαιότητα που διέπει τα καιρικά φαινόμενα και κατ' επέκταση τη δυνατότητα πρόβλεψης των «εισροών ενέργειας» στις μονάδες παραγωγής. Όσο πιο ακριβής και πιστή η πρόβλεψη, τόσο καλύτερος ο προγραμματισμός της λειτουργίας και τόσο πιο ανταγωνιστική η προσφορά. Για τους παίκτες που έχουν στη διάθεσή τους μία μόνο μορφή ενέργειας η πρόβλεψη είναι μονοσήμαντη και το αποτέλεσμα της μονόπλευρο και καθοριστικό. Μια μορφή ενέργειας στο χαρτοφυλάκιο συνεπάγεται μεγαλύτερη επιρροή της πρόβλεψης στις στρατηγικές αποφάσεις της διοίκησης, και άρα μεγαλύτερο κίνδυνο λόγω ενδεχόμενων απρόβλεπτων διακυμάνσεων. Αντιθέτως, σε ένα διαφοροποιημένο χαρτοφυλάκιο, εμπλουτισμένο με περισσότερες μορφές ενέργειας, η πιθανότητα αστοχίας συνήθως περιορίζεται, συρρικνώνοντας, έτσι, και τον επιχειρηματικό κίνδυνο.

Τα χαρτοφυλάκια των συμμετεχόντων στο Χρηματιστήριο Ενέργειας υπόκεινται και στον χρηματοπιστωτικό κίνδυνο, μια μορφή συστηματικού κινδύνου (systematic risk). Ο συστηματικός κίνδυνος είναι συνδεδεμένος με τις κινήσεις της συνολικής αγοράς και δεν μπορεί να εξαιρεθεί με διαφοροποίηση του χαρτοφυλακίου. Την διαχείριση του χρηματοπιστωτικού κινδύνου εκπληρώνει επί της ουσίας η Ενεργειακή Χρηματοπιστωτική Αγορά, η οποία ιδρύθηκε στην Ελλάδα το 2020 με την έγκριση της Ελληνικής Επιτροπής Κεφαλαιαγοράς. Η προθεσμιακή αυτή αγορά παρέχει στα μέρη της την δυνατότητα αντιστάθμισης των κινδύνων των τιμών τους. Αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για τον περιορισμό της έκθεσης των συμμετεχόντων στη μεταβλητότητα των τιμών στις αγορές με υποχρέωση φυσικής παράδοσης. Η συνήθως πιο ευμετάβλητη αγορά είναι η ενδοημερήσια αγορά. Η λειτουργία, επομένως, της Χρηματοπιστωτικής Αγοράς επιτρέπει την ανάπτυξη μακροπρόθεσμων στρατηγικών, όπως ο σχεδιασμός συστημάτων για παραγωγή, μεταφορά και διανομή, και η επέκταση των δραστηριοτήτων της επιχείρησης σε επενδύσεις με σκοπό την αποτελεσματικότερη απόκριση στη ζήτηση. Τελικά, επωφελημένος είναι και ο καταναλωτής, ο οποίος λαμβάνει φθηνότερες και καλύτερες υπηρεσίες.

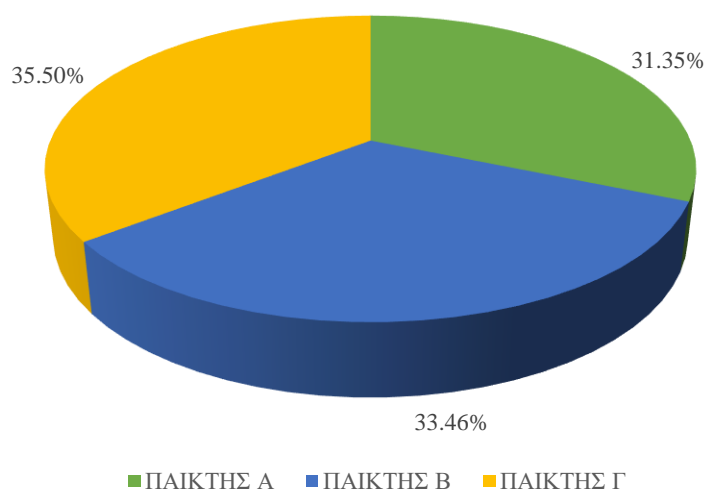
### **7.3.2 Διαμόρφωση και επίλυση Εναλλακτικού Σεναρίου Β**

#### **7.3.2.1 Σύμφωνα με το Σενάριο Ιεραρχίας 1**

Όπως έχει προαναφερθεί, στο Σενάριο Β, η κατανομή καθεμίας από τις ανεξάρτητες μονάδες ΑΠΕ του συστήματος δεν συνδέεται μονοσήμαντα με έναν παραγωγό, αλλά καθένας παίκτης κατέχει μερίδιο από όλες τις μονάδες ΑΠΕ, πλην του Παίκτη Δ που εξακολουθεί να είναι ο αποκλειστικός κάτοχος του σταθμού φυσικού αερίου. Να σημειωθεί, παρ' όλα αυτά, πως η κάθε μονάδα ΑΠΕ βρίσκεται εντός των ιδίων ορίων, δηλαδή αξιοποιούνται δεδομένα μετρήσεων από την ίδια θέση. Απλώς σε αυτό το σενάριο επιμερίζονται τα ΜΥΗΕ (ένα σε κάθε παραγωγό), οι ανεμογεννήτριες και τα πάνελ του κάθε πάρκου. Η επίλυση του Σεναρίου Β γίνεται, αρχικά, για την παρακάτω ενδεικτική κατανομή (Πίνακας 7.7), την οποία δεν διέπει κάποιος συγκεκριμένος κανόνας όσον αφορά τον καταμερισμό των μονάδων.

<b>Πίνακας 7.7 Καταμερισμός μονάδων παικτών – παραγωγών</b>			
<b>Παίκτης Α</b>			
Έργο	ΜΥΗΕ ΙΙΙ	Φ/Β Πάνελ	Ανεμογεννήτριες
Πλήθος	1	0	12
Συνολική Ισχύς (MW)	13.35	0.00	18.00
<b>Μερίδιο Συμμετοχής</b>	<b>31.35 %</b>		
<b>Παίκτης Β</b>			
Έργο	ΜΥΗΕ ΙΙ	Φ/Β Πάνελ	Ανεμογεννήτριες
Πλήθος	1	50000	6
Συνολική Ισχύς (MW)	6.46	18.00	9.00
<b>Μερίδιο Συμμετοχής</b>	<b>33.46 %</b>		
<b>Παίκτης Γ</b>			
Έργο	ΜΥΗΕ Ι	Φ/Β Πάνελ	Ανεμογεννήτριες
Πλήθος	1	50000	5
Συνολική Ισχύς (MW)	10.00	18.00	7.50
<b>Μερίδιο Συμμετοχής</b>	<b>35.50 %</b>		
<b>Παίκτης Δ</b>			
Έργο	Σταθμός φυσικού αερίου		
Συνολική Ισχύς (MW)	100.00		

Αξίζει να σημειωθεί πως εξακολουθεί να ισχύει η παραδοχή της κατά το δυνατόν ισόποσης κατανομής της εγκατεστημένης ισχύος των μονάδων στους επιμέρους παραγωγούς. Με αυτό τον τρόπο, οι παίκτες έχουν ίσες ευκαιρίες και προοπτικές συμμετοχής στην αγορά ενέργειας και διαμόρφωση μιας ανταγωνιστικής προσφοράς. Φυσικά αυτό θα ισχύσει εφόσον και οι καιρικές συνθήκες (και άρα οι προβλέψεις) τεθούν «με το μέρος τους». Έτσι, το ενεργειακό μίγμα ηλεκτροδότησης των παραγωγών που διαθέτουν μονάδες ΑΠΕ διαμορφώνεται για το Σενάριο Β ως εξής:



**Διάγραμμα 7.10** Εναλλακτικό Σενάριο Β: Κατανομή μονάδων παραγωγής ενέργειας στους παίκτες

Η διαδικασία που ακολουθείται για την επίλυση του ΗΕΠ είναι ακριβώς η ίδια με αυτή που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 6 για όλα τα στάδια του ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού. Η διαφοροποίηση έγκειται μόνο στην διαθέσιμη ποσότητα ενέργειας του κάθε παραγωγού, η οποία προκύπτει ως το άθροισμα των ενεργειών των επιμέρους μονάδων του.

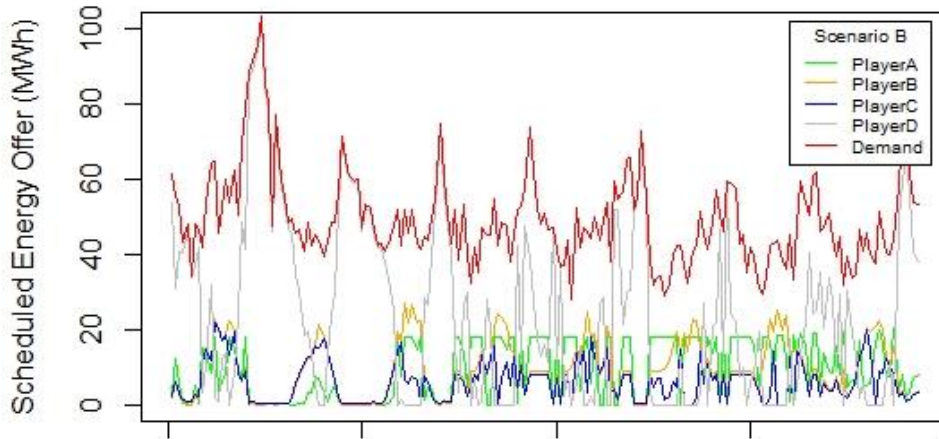
Το Σενάριο Β επιλύεται και παρουσιάζεται στην παρούσα φάση σύμφωνα με το Σενάριο ιεραρχίας 1 (βλ. Πίνακα 6.3). Ο Παίκτης Δ εξακολουθεί να κατέχει αποκλειστικά την 4<sup>η</sup> θέση και το ρόλο της κάλυψης των ενεργειακών ελλειμμάτων. Τα Διαγράμματα 7.11 – 7.17 αφορούν το χρονικό διάστημα 21/08 00:00 έως 28/08 23:00, δηλαδή την εβδομάδα που παρατηρείται η αιχμή της ζήτησης.

Αναλύοντας τα διαγράμματα γίνεται αντιληπτό πως ενώ το σενάριο ιεραρχίας 1 προβλέπει η ιεραρχία να δίνεται με τη σειρά στους τέσσερις παίκτες, ο Παίκτης Α (που κατέχει την 1<sup>η</sup> θέση) συμμετέχει, μεν, καθοριστικά στην αγορά ενέργειας, ωστόσο αυξημένη είναι η συμμετοχή και των υπόλοιπων παικτών. Εδώ γίνεται και αντιληπτή μία διαφοροποίηση με το Βασικό Σενάριο. Στο Βασικό Σενάριο (για το ίδιο σενάριο ιεραρχίας) ο Παίκτης Α συμμετείχε παράλληλα με τον Παίκτη Β στην κατανομή ενέργειας σε αντίθεση με τον Παίκτη Γ, του οποίου η συμμετοχή περιοριζόταν στο υπό μελέτη χρονικό διάστημα λόγω της αδυναμίας του να παράξει ενέργεια. Χάριν διευκρίνισης, ο Παίκτης Γ κατέχει τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, επομένως είναι αναμενόμενο να έχει περιορισμένες εισροές την εβδομάδα που μελετάται, η οποία αφορά καλοκαιρινή περίοδο και συγκεκριμένα το μήνα Αύγουστο. Αποδεικνύεται, λοιπόν, ότι η διαφοροποίηση στο χαρτοφυλάκιο του Παίκτη Γ λειτούργησε τελικά προς όφελός του.

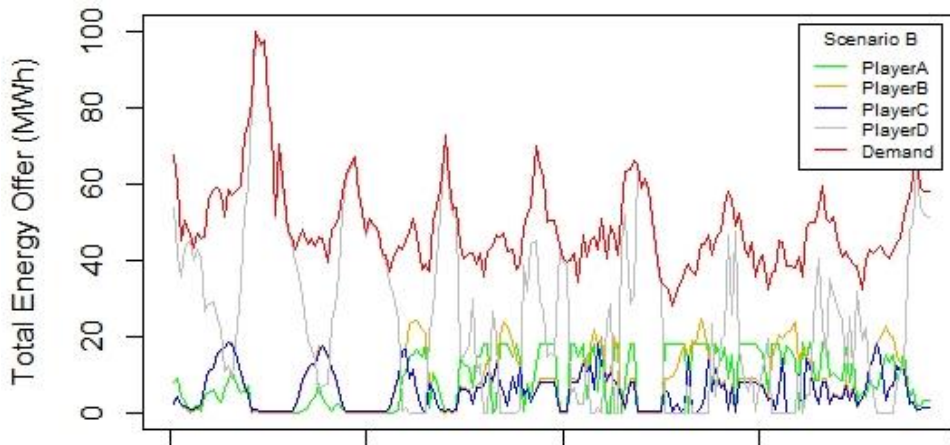
Μια άλλη διαφοροποίηση στα αποτελέσματα της επίλυσης αυτού του σεναρίου συγκριτικά με το Βασικό Σενάριο, έγκειται στον υπολογισμό των αποκλίσεων. Συγκρίνοντας τα Διαγράμματα 7.9 και 7.13 είναι χαρακτηριστική η έντονη απομείωση των αποκλίσεων των παικτών. Ο Παίκτης Α παρουσιάζεται στο Βασικό Σενάριο (ως ο αποκλειστικός κάτοχος του αιολικού σταθμού) με υψηλές αρνητικές αποκλίσεις, γεγονός που επιφέρει αρνητικές συνέπειες στην κερδοφορία του. Αντιθέτως, στο εναλλακτικό Σενάριο Β είναι χαρακτηριστική η έντονη απομείωση των αποκλίσεων στην απόκρισή του, το οποίο αποδίδεται στην ενσωμάτωση περισσότερων μορφών ενέργειας στο χαρτοφυλάκιο του. Η έντονη αβεβαιότητα των δεδομένων ταχυτήτων ανέμου εξομαλύνεται με την προσθήκη νέων μορφών ενέργειας στο μίγμα του. Με την τεχνική, λοιπόν, αυτή τελείται ο καλύτερος έλεγχος των αποκλίσεων των προβλέψεων και άρα βελτιστοποιείται η οικονομική ευημερία του παίκτη.

Αναφορικά με τον κάτοχο του σταθμού φυσικού αερίου (Παίκτη Δ), αξίζει να σημειωθεί η καθοριστική του συμμετοχή στην κατανομή ενέργειας, καθώς είναι αρκετές οι φορές που οι μονάδες ΑΠΕ αδυνατούν να καλύψουν τη ζήτηση, λόγω περιορισμένων καιρικών φαινομένων. Αυτό αποδεικνύεται και από το Διάγραμμα 7.13, όπου παρατηρείται η αυξημένη συχνότητα που ο παίκτης παρουσιάζει θετικές αποκλίσεις. Καλείται, λοιπόν, συχνά να προσφέρει περισσότερη ενέργεια στο σύστημα από το πρόγραμμα αγοράς του, γεγονός που αναδεικνύει την αποτυχία που διέπει τις προβλέψεις των σταθμών ΑΠΕ.

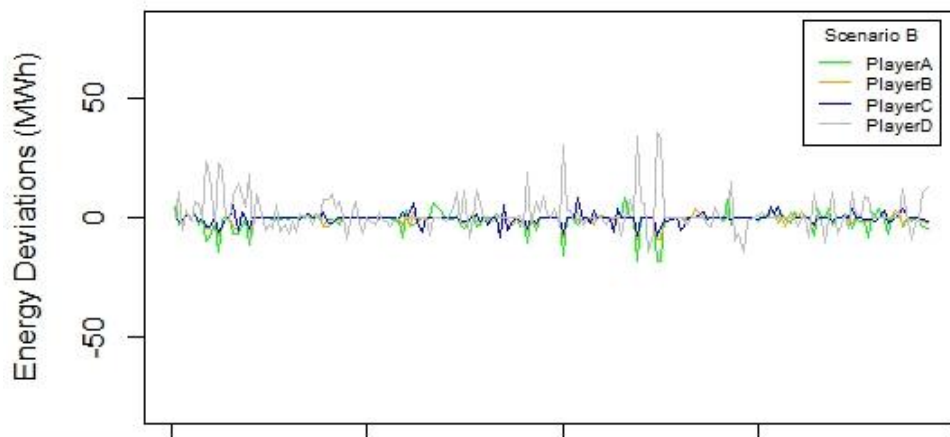
Σε δεύτερη φάση, μελετώντας τα οικονομικά αποτελέσματα που αφορούν τους παίκτες – παραγωγούς (Πίνακας 7.8), ο Παίκτης Α παρουσιάζεται με ελαφρώς υψηλότερο συνολικό όφελος σε σχέση με τους υπόλοιπους συμμετέχοντες. Η ευχέρεια που του προσφέρεται να κατέχει παραπάνω από μία μονάδα παραγωγής ΑΠΕ, σε συνδυασμό με την πρώτη θέση στη ιεραρχία, τον καθιστά ανταγωνιστικό παίκτη και άξιο αντίπαλο στην αγορά ενέργειας. Μια τέτοια απόκριση του συστήματος ανταποκρίνεται εν μέρει στις επιταγές του Target Model που αφορούν την ανάπτυξη του δίκαιου και υγιούς ανταγωνισμού και την καλλιέργεια των συνθηκών για την είσοδο και ενεργό συμμετοχή νέων και περισσότερων παραγωγών στην αγορά. Παρόλα αυτά, η επιλογή της διατήρησης μιας σταθερής σειράς ιεραρχίας δεν είναι ρεαλιστική και γι' αυτό στη συνέχεια μελετάται η περίπτωση της εναλλαγής της.



Διάγραμμα 7.11 Προγραμματισμένη προσφορά ενέργειας

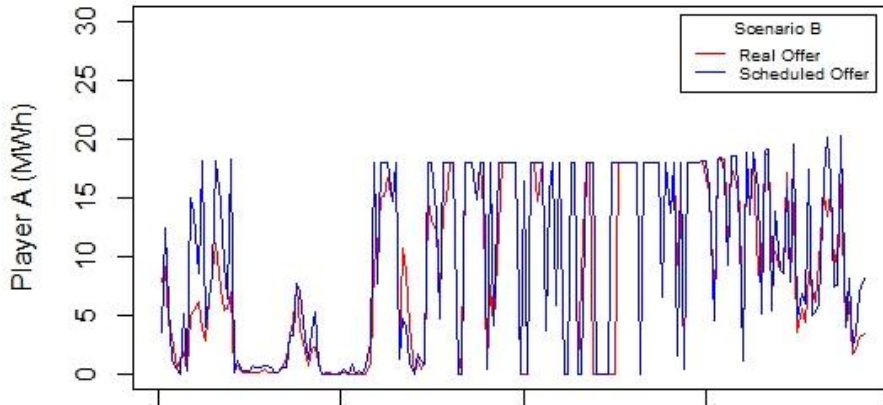


Διάγραμμα 7.12 Πραγματική προσφορά ενέργειας

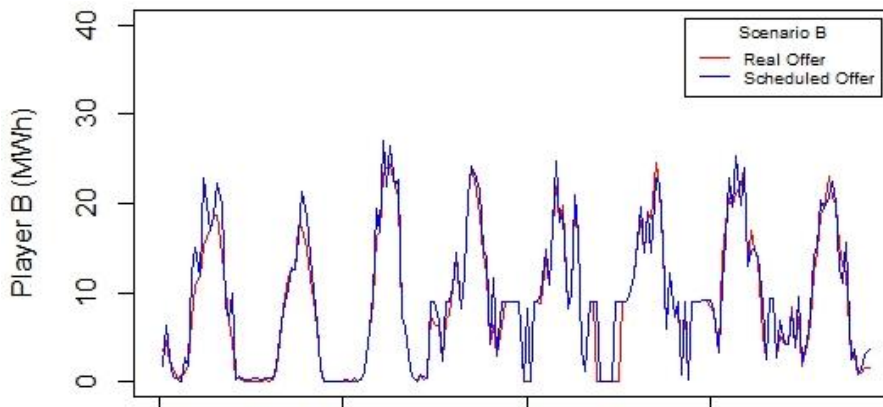


Διάγραμμα 7.13 Απόκλιση πραγματικής από την προγραμματισμένη προσφορά ενέργειας

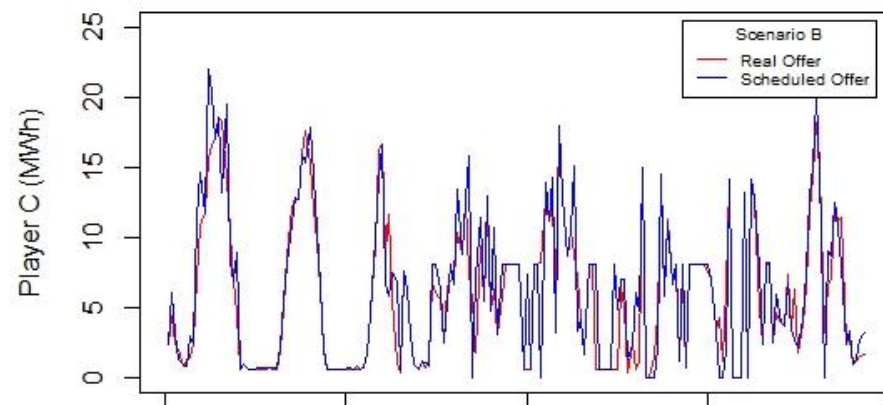




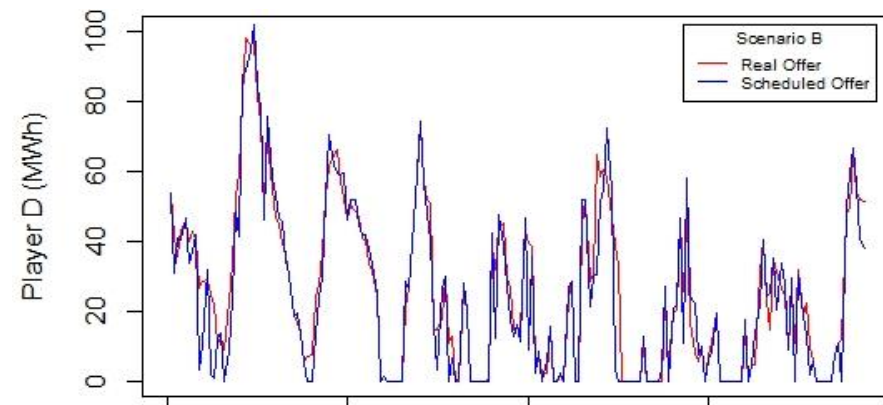
**Διάγραμμα 7.14** Προγραμματισμένη (scheduled) και πραγματική (real) προσφορά ενέργειας **Παίκτη Α** (Σενάριο ιεραρχίας 1)



**Διάγραμμα 7.15** Προγραμματισμένη (scheduled) και πραγματική (real) προσφορά ενέργειας **Παίκτη Β** (Σενάριο ιεραρχίας 1)

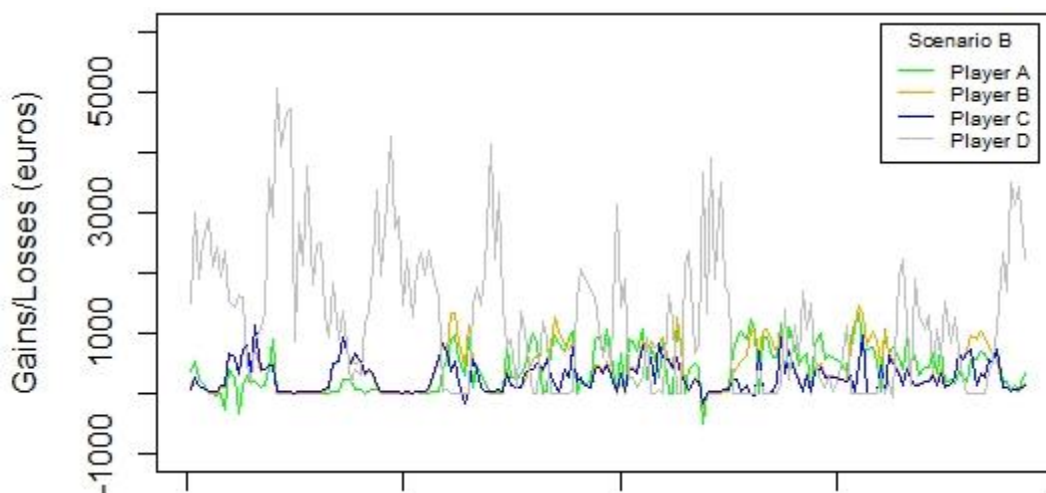


**Διάγραμμα 7.16** Προγραμματισμένη (scheduled) και πραγματική (real) προσφορά ενέργειας **Παίκτη Γ** (Σενάριο ιεραρχίας 1)



**Διάγραμμα 7.17** Προγραμματισμένη (scheduled) και πραγματική (real) προσφορά ενέργειας **Παίκτη Δ** (Σενάριο ιεραρχίας 1)

<b>Πίνακας 7.8</b> Όφελος παικτών – παραγωγών και αγοράς ενέργειας			
<b>Παίκτης</b>	<b>Κέρδη (€)</b>	<b>Απώλειες (€)</b>	<b>Συνολικό Όφελος (€)</b>
Παίκτης Α	2,917,514	14,246	2,903,268
Παίκτης Β	1,994,526	3,782	1,990,744
Παίκτης Γ	1,252,392	6,995	1,245,397
Παίκτης Δ	4,500,199	1,926	4,498,273
Αγορά Ενέργειας	10,664,632	26,949	10,637,683



Διάγραμμα 7.18 Κέρδη και απώλειες παικτών – Σενάριο Β

<b>Πίνακας 7.9</b> Αξιοπιστία προβλέψεων παικτών – παραγωγών		
<b>Παίκτης</b>	<b>«Βέλτιστη» Πρόβλεψη</b>	<b>«Καλή» Πρόβλεψη</b>
Παίκτης Α	73.0 %	64.2 %
Παίκτης Β	77.3 %	65.4 %
Παίκτης Γ	80.4 %	69.8 %

Η αξιοπιστία της πρόβλεψης αυξάνεται για όλους τους συμμετέχοντες. Άλλωστε αυτός ήταν και ο σκοπός της παρούσας εναλλακτικής· η μελέτη, δηλαδή της επιρροής της πρόγνωσης στην απόκριση των παικτών. Η βελτίωση ήταν αναμενόμενη, διότι οι παίκτες διαμορφώνουν ένα μίγμα με πολλαπλές μορφές ενέργειας, ώστε να μην επηρεάζονται έντονα και μονοσήμαντα από τις διακυμάνσεις μόνο της μιας μορφής.

Μελετώντας σε μεγαλύτερο βάθος τα αποτελέσματα, ο Παίκτης Α αυξάνει κατά 50 % την αξιοπιστία του στην «βέλτιστη» πρόβλεψη. Ο διπλασιασμός της αξιοπιστίας είναι απόρροια της κατοχής ενός διαφοροποιημένου χαρτοφυλακίου, δεδομένης της αποκλειστικής κατοχής των Α/Γ, των οποίων τα δεδομένα εισόδου διέπει η μεγαλύτερη αβεβαιότητα. Η αξιοπιστία της «καλής» πρόβλεψης του Παίκτη Β μειώνεται κατά 8 % λόγω της ενσωμάτωσης στο χαρτοφυλάκιο του περισσότερων μορφών ενέργειας. Έχοντας στην κατοχή του αποκλειστικά τον φ/β σταθμό, πετύχαινε τη μεγαλύτερη αξιοπιστία, καθώς τα δεδομένα εισόδου ήταν περισσότερο προβλέψιμα. Τέλος, ο Παίκτης Γ διπλασιάζει, επίσης, την αξιοπιστία στην «καλή» πρόβλεψη μετά την προσθήκη φ/β στο μίγμα του. Επομένως, οι αποκρίσεις αυτές είναι αναμενόμενες.

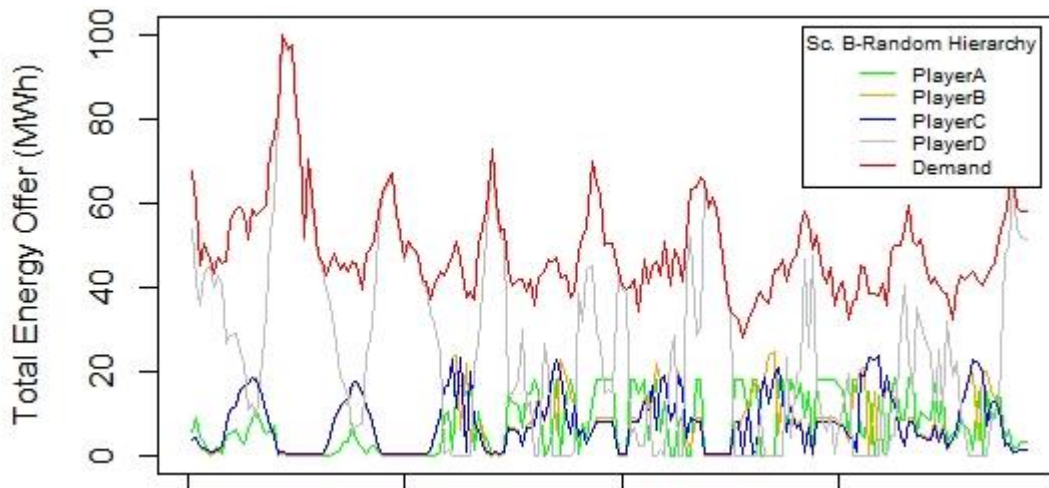
Σε όρους ευαισθησίας (Πίνακας 7.10), τη μεγαλύτερη επιρροή σε μια κακή πρόβλεψη παρουσιάζεται να έχει ο Παίκτης Α. Σε σχέση με το Βασικό Σενάριο είναι και ιδιαίτερα, σχεδόν διπλάσια, αυξημένη. Τα ελλείμματα που προκαλεί η πραγματική προσφορά του Παίκτη Α σε σχέση με την προγραμματισμένη έχουν μεγαλύτερη ποσοτική επίδραση στην απόκρισή του κατά την εκκαθάριση των αποκλίσεων. Αυτό αποδεικνύεται και από τις αυξημένες αρνητικές αποκλίσεις που παρουσιάζει, και τις αντίστοιχες οικονομικές απώλειες. Αν και η επιδίωξη στην προκειμένη περίπτωση είναι ο περιορισμός της ευαισθησίας των προβλέψεων, παρατηρείται ότι ο στόχος αυτός δεν εκπληρώνεται.

Πίνακας 7.10 Ευαισθησία προβλέψεων παικτών – παραγωγών (MWh)					
Παίκτης	Αποκλίσεις	«Βέλτιστη» πρόβλεψη		«Καλή» πρόβλεψη	
		Αστοχίες (N)	Ευαισθησία	Αστοχίες (N)	Ευαισθησία
Παίκτης Α	8925.5	2363	<b>3.78</b>	3127	<b>2.85</b>
Παίκτης Β	3550.0	1983	<b>1.79</b>	3027	<b>1.17</b>
Παίκτης Γ	2687.5	1712	<b>1.36</b>	2640	<b>1.02</b>

### 7.3.2.2 Με τυχαία εναλλαγή της ιεραρχίας

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα αποτελέσματα του Σεναρίου Β για συνεχή και τυχαία εναλλαγή της ιεραρχίας με ίση πιθανότητα ιεράρχησης (όπως και στην παράγραφο 7.2.2.1). Τα Διαγράμματα αφορούν ένα τυχαίο τρέξιμο του κώδικα, ενώ σε άλλο τρέξιμο θα διαφοροποιηθούν λόγω μεταβολής της ιεραρχίας. Παρουσιάζονται, παρ' όλα αυτά, προκειμένου να αναλυθεί η συμπεριφορά των παικτών υπό τους νέους κανόνες λειτουργίας.

Ξανά, συγκριτικά με το Βασικό Σενάριο, η απόκριση των παικτών είναι πολύ πιο ρεαλιστική και επιθυμητή, καθώς η αγορά ενέργειας λειτουργεί με την ενεργό συμμετοχή όλων των παραγωγών. Ειδικά την εβδομάδα αιχμής (21/08 00:00 έως 28/08 23:00) η απόκριση των παικτών στην κάλυψη της ζήτησης είναι εξίσου σημαντική. Στο Σενάριο Α τύχαινε η παραγωγή του Παίκτη Γ με τα ΜΥΗΕ να είναι περιορισμένη, με αποτέλεσμα η συνεισφορά του σε ενέργεια να είναι εξίσου περιορισμένη.



Διάγραμμα 7.19 Πραγματική προσφορά ενέργειας

<b>Πίνακας 7.11</b> Όφελος παικτών – παραγωγών και αγοράς ενέργειας			
<b>Παίκτης</b>	<b>Κέρδη (€)</b>	<b>Απώλειες (€)</b>	<b>Συνολικό Όφελος (€)</b>
Παίκτης Α	2,180,410	12,121	2,168,289
Παίκτης Β	1,948,206	4,580	1,943,626
Παίκτης Γ	2,008,157	5,243	2,002,914
Παίκτης Δ	4,456,919	2,435	4,454,484
Αγορά Ενέργειας	10,593,692	24,379	10,569,313

Από την παραπάνω έκθεση των οικονομικών αποτελεσμάτων, αποδεικνύεται πως τα οφέλη κατανέμονται ομαλά και δίκαια, στους επιμέρους παίκτες του συστήματος. Καθίσταται, έτσι, πιο έντονη η παρουσία και συμμετοχή όλων των παικτών στην αγορά ενέργειας, γεγονός που δημιουργεί κίνητρα για τον συστηματικό σχεδιασμό νέων, εξελιγμένων στρατηγικών, ώστε να διατηρούν την δυναμική τους παρουσία στην αγορά και να αυξάνουν τα κέρδη τους.

Ο Παίκτης Α έχει, μεν, τα μεγαλύτερα οφέλη, αλλά παράλληλα παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απώλειες από τους υπόλοιπους παίκτες. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην κακή πρόγνωση της δυνατότητας παραγωγής του, λόγω της κατοχής των περισσότερων Α/Γ. Ο Παίκτης Γ, σε σύγκριση με το Σενάριο Β με σταθερή ιεραρχία, αυξάνει την κερδοφορία του, καθώς του προσφέρεται η δυνατότητα να συμμετέχει πιο συχνά στην αγορά, ενώ προηγουμένως κατείχε σταθερά την 3<sup>η</sup> θέση και άρα η συμμετοχή του περιοριζόταν στις φορές που οι δύο πρώτοι παραγωγοί αδυνατούσαν να καλύψουν τη ζήτηση. Τέλος, ο Παίκτης Δ εξακολουθεί να συμμετέχει καθοριστικά στην κατανομή της ενέργειας.

### 7.3.2.3 Βέλτιστη επίλυση Σεναρίου Β

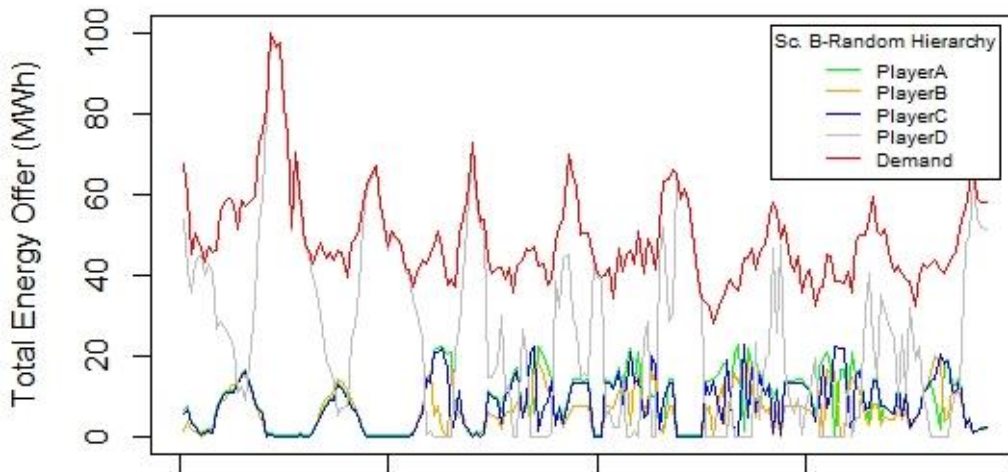
Σε αυτό το σημείο πραγματοποιείται η βελτιστοποίηση της διαμόρφωσης του Σεναρίου Β. Όπως αποδείχτηκε παραπάνω, ο ιδανικός κανόνας λειτουργίας που πρέπει να διέπει την αγορά σε αυτή την περίπτωση είναι η εναλλαγή των παικτών σε κάθε χρονικό βήμα. Έτσι, καθίσταται ενεργή η συμμετοχή όλων των παικτών στην αγορά ενέργειας. Στη συνέχεια (Πίνακας 7.12), διαμορφώνεται το μίγμα που βελτιστοποιεί το συνολικό όφελος της αγοράς και των επιμέρους παικτών. Οι μονάδες έχουν κατανομηθεί έτσι ώστε να ισχύει ο κανόνας του κατά το δυνατόν ισόποσου καταμερισμού της ισχύος. Όλοι οι παίκτες διαθέτουν μονάδες από κάθε μορφή ΑΠΕ με τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες να κατανέμονται σχεδόν ισόποσα, προκειμένου οι απώλειες που προκαλούν οι κακές προγνώσεις των δεδομένων ανέμου να αντισταθμίζονται από τις πολύ καλές προβλέψεις που χαρακτηρίζουν τα φωτοβολταϊκά. Οι Παίκτης Α και Γ κατέχουν περισσότερες Α/Γ από τον Παίκτη Β, προκειμένου να εξισορροπείται η κατοχή των παικτών σε όρους διαθέσιμης ισχύος. Οι Παίκτης Β και Γ, που κατέχουν τις υδροηλεκτρικές μονάδες παραγωγής στις δύο θέσεις (ανάντη και κατάντη) του ίδιου ρέματος (ΜΥΗΕ ΙΙ και ΙΙΙ), υπόκεινται σε ανάλογες συνέπειες στις περιπτώσεις αποκλίσεων των προβλέψεων εισροών και συγκεκριμένα σε ενδεχόμενες κακές προβλέψεις.

<b>Πίνακας 7.12 Κατοχή μονάδων παικτών – παραγωγών</b>			
<b>Παίκτης Α</b>			
Έργο	ΜΥΗΕ Ι	Φ/Β Πάνελ	Ανεμογεννήτριες
Πλήθος	1	30000	9
Συνολική Ισχύς (MW)	10.00	10.80	13.50
<b>Μερίδιο Συμμετοχής</b>	<b>34.30 %</b>		
<b>Παίκτης Β</b>			
Έργο	ΜΥΗΕ ΙΙΙ	Φ/Β Πάνελ	Ανεμογεννήτριες
Πλήθος	1	30000	5
Συνολική Ισχύς (MW)	13.35	10.80	7.50
<b>Μερίδιο Συμμετοχής</b>	<b>31.65 %</b>		
<b>Παίκτης Γ</b>			
Έργο	ΜΥΗΕ ΙΙ	Φ/Β Πάνελ	Ανεμογεννήτριες
Πλήθος	1	40000	9
Συνολική Ισχύς (MW)	6.46	14.40	13.50
<b>Μερίδιο Συμμετοχής</b>	<b>34.35 %</b>		
<b>Παίκτης Δ</b>			
Έργο	Σταθμός φυσικού αερίου		
Συνολική Ισχύς (MW)	100.00		

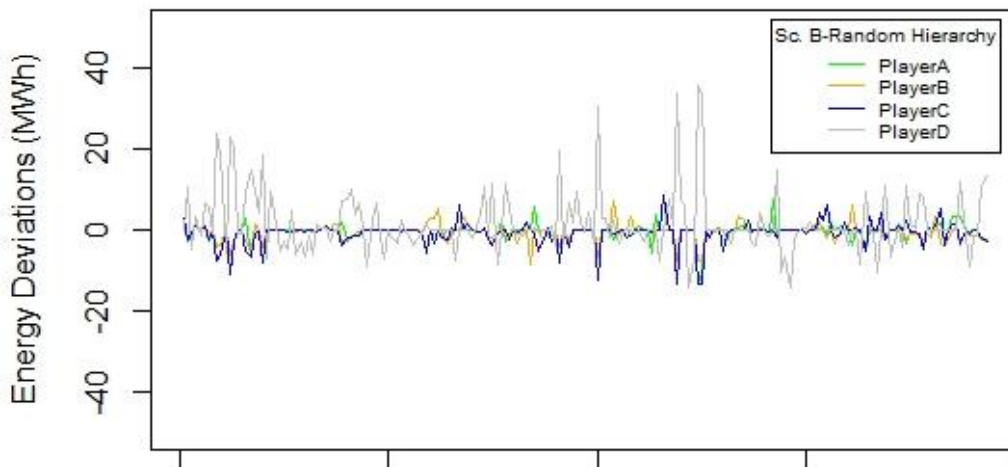
Όπως αποδεικνύεται και στον παρακάτω Πίνακα 7.13, αυξημένα είναι τα οφέλη των Παικτών Α και Β συγκριτικά με τον Παίκτη Γ. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα αποτελέσματα έχουν προκύψει μέσω τέλεσης μικρού μεγέθους προσομοιώσεων (10 τρεξίματα του κώδικα) και άρα αφορούν περιορισμένο δείγμα πειραμάτων. Στόχος και αναμενόμενη απόκριση αυτού του σεναρίου είναι η κατά το δυνατόν ισόποση κατανομή των εσόδων μεταξύ των παικτών. Παρ' όλα αυτά μια τέτοια απόκριση του συστήματος δικαιολογείται στην περίπτωση που ο Παίκτης Γ διαμορφώνει τις λιγότερο ανταγωνιστικές προσφορές και άρα κερδίζει πιο σπάνια τις πρώτες θέσεις στην ιεραρχία. Τέλος, παρατηρείται πως ο Παίκτης Β, που έχει στην κατοχή του τις λιγότερες Α/Γ, έχει και τις μικρότερες οικονομικές απώλειες από τους κατόχους μονάδων ΑΠΕ, το οποίο αποτελούσε και ζητούμενο στην διαμόρφωση του μίγματος.

Στα Διαγράμματα 7.20 – 7.22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης, τα οποία αφορούν το χρονικό διάστημα 21/08 00:00 έως 28/08 23:00, δηλαδή την εβδομάδα που παρατηρείται η αιχμή της ζήτησης. Τα διαγράμματα αφορούν ένα τυχαίο τρέξιμο του κώδικα, ενώ σε άλλο τρέξιμο θα διαφοροποιηθούν λόγω αλλαγής και της ιεραρχίας. Παρουσιάζονται, παρ' όλα αυτά, προκειμένου να αναλυθεί η συμπεριφορά των παικτών υπό τους νέους κανόνες λειτουργίας.

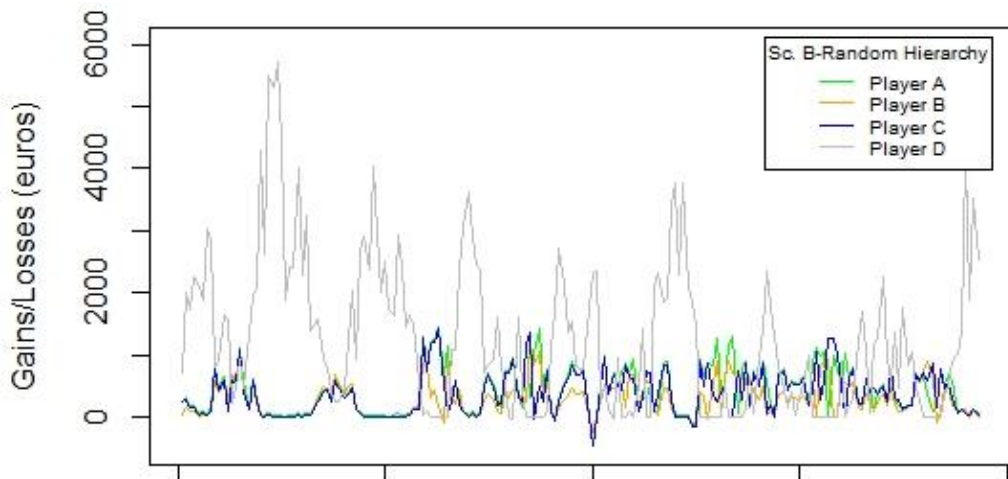
<b>Πίνακας 7.13 Όφελος παικτών – παραγωγών και αγοράς ενέργειας</b>			
<b>Παίκτης</b>	<b>Κέρδη (€)</b>	<b>Απώλειες (€)</b>	<b>Συνολικό Όφελος (€)</b>
Παίκτης Α	2,040,218	7,765	2,032,453
Παίκτης Β	2,446,051	5,696	2,440,356
Παίκτης Γ	1,627,225	6,765	1,620,460
Παίκτης Δ	4,471,641	1,918	4,469,724
Αγορά Ενέργειας	10,587,136	22,143	10,562,993



Διάγραμμα 7.20 Πραγματική προσφορά ενέργειας



Διάγραμμα 7.21 Απόκλιση πραγματικής από την προγραμματισμένη προσφορά ενέργειας



Διάγραμμα 7.22 Κέρδη και απώλειες παικτών



Στους παρακάτω Πίνακες 7.14 και 7.15 δίνονται τα αποτελέσματα των μέτρων επίδοσης που αφορούν το υπό μελέτη σενάριο. Η διατήρηση της αξιοπιστίας της πρόβλεψης (reliability) σε σχετικά υψηλά και ικανοποιητικά επίπεδα εκπληρώνει τους στόχους σχεδιασμού του παρόντος σεναρίου και δρα προς όφελος όλων των συμμετεχόντων. Αντιθέτως, παρατηρείται η αύξηση της ευαισθησίας (vulnerability) των Παικτών Β και Γ, σε αντίθεση με τον Παικτή Α, ο οποίος μειώνει τις επιπτώσεις των αποτυχημένων προβλέψεών του. Η αύξηση στην ευαισθησία των Παικτών Β και Γ έρχεται σαν απόρροια της αύξησης των αποκλίσεων που διέπει την προσφορά τους. Η ευκαιρία που τους δίνεται να κατέχουν τις πρώτες θέσεις στην ιεραρχία επηρεάζει την απόκρισή τους, καθώς αφού καλούνται πρώτοι να προσφέρουν ενέργεια στο σύστημα οι αρνητικές αποκλίσεις στην κατανομή της ενέργειας είναι αναμενόμενες και περισσότερο έντονες.

<b>Πίνακας 7.14</b> Αξιοπιστία προβλέψεων παικτών – παραγωγών		
<b>Παίκτης</b>	<b>«Βέλτιστη» Πρόβλεψη</b>	<b>«Καλή» Πρόβλεψη</b>
Παίκτης Α	73.0 %	63.5 %
Παίκτης Β	78.7 %	66.4 %
Παίκτης Γ	78.4 %	68.5 %

<b>Πίνακας 7.15</b> Ευαισθησία προβλέψεων παικτών – παραγωγών (MWh)					
<b>Παίκτης</b>	<b>Αποκλίσεις</b>	<b>«Βέλτιστη» πρόβλεψη</b>		<b>«Καλή» πρόβλεψη</b>	
		<b>Αστοχίες (N)</b>	<b>Ευαισθησία</b>	<b>Αστοχίες (N)</b>	<b>Ευαισθησία</b>
Παίκτης Α	4787	2360	<b>2.03</b>	3189	<b>1.50</b>
Παίκτης Β	4745	1865	<b>2.54</b>	2936	<b>1.62</b>
Παίκτης Γ	4484	1889	<b>2.40</b>	2757	<b>1.63</b>

#### **7.4 Βέλτιστο σενάριο επίλυσης του ΗΕΠ στην υπό μελέτη αγορά ενέργειας**

Το Κεφάλαιο 7 αποτελεί παράθεση και σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων διαμόρφωσης της αγοράς ενέργειας και επίλυσης του ΗΕΠ στην υπό μελέτη εικονική χώρα. Εξετάζονται ορισμένες πτυχές του ιδίου προβλήματος, μεταβάλλονται οι παράμετροι λειτουργίας του συστήματος και εξάγονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα αφορούν μέτρα επίδοσης (όπως αυτά ορίζονται στο Κεφάλαιο 6), τα οποία αξιοποιούνται για την αξιολόγηση της απόδοσης των συμμετεχόντων στην αγορά σε κάθε επιμέρους σενάριο, όπως αυτό διαμορφώνεται με τους κανόνες που ορίζονται. Στόχος, λοιπόν, του κεφαλαίου είναι η επιλογή του σεναρίου που βελτιστοποιεί τα μέτρα επίδοσης και ταυτόχρονα αρμόζει στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας της αγοράς ενέργειας.

Το σενάριο που επιλέγεται ως βέλτιστο παρουσιάζεται και επιλύεται στην προηγούμενη παράγραφο 7.3.2.3. Σύμφωνα με αυτή την θεώρηση, οι τρεις κύριοι παίκτες – παραγωγοί της υπό μελέτης αγοράς ενέργειας έχουν στη διάθεση τους ένα διαφοροποιημένο χαρτοφυλάκιο μονάδων ΑΠΕ, ενώ ο τέταρτος παραγωγός παράγει ενέργεια μέσω συμβατικών καυσίμων και συγκεκριμένα φυσικού αερίου. Η ιεραρχία που ακολουθείται στην προσφορά ενέργειας και λαμβάνεται υπόψη στον προγραμματισμό εναλλάσσεται και καθορίζεται τυχαία σε κάθε χρονικό βήμα με ίση πιθανότητα ιεράρχησης των κατόχων μονάδων ΑΠΕ.

Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της περιοχής μελέτης βελτιστοποιείται σύμφωνα με την παραπάνω κατανομή και τον κανόνα λειτουργίας και εκπληρώνει το στόχο δημιουργίας του, δηλαδή την κατά το δυνατόν βέλτιστη αξιοποίηση του εγχώριου δυναμικού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και κατ' επέκταση την παραγωγή και προώθηση της πράσινης ενέργειας. Αποτελεί ένα βήμα για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης και των ευρωπαϊκών περιβαλλοντικών στόχων. Προσομοιάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας της αγοράς ενέργειας, καθώς χαρακτηρίζεται από την ενεργό συμμετοχή των παικτών στην αγορά με ίσες ευκαιρίες, αλλά και το περιθώριο ανάπτυξης υγιούς και δίκαιου ανταγωνισμού. Υπό αυτό το πρίσμα, αποφεύγονται μονοπωλιακές συμπεριφορές, το οποίο αποτελεί και ζητούμενο της στόχευσης που αφορά την απελευθέρωση της αγοράς. Όλα τα παραπάνω είναι σε εναρμόνιση με τις επιδιώξεις και τους στόχους της επίτευξης μιας ολοκληρωμένης αγοράς ενέργειας και υπάγονται στα πλαίσια εφαρμογής του Ευρωπαϊκού Μοντέλου – Στόχου.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Συμπεράσματα και προοπτικές για περαιτέρω έρευνα**

Οι αγορές ενέργειας ανά την Ευρώπη έχουν μετασηματιστεί έτσι ώστε να λειτουργούν σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Μοντέλο – Στόχο (Target Model) με κύριο γνώμονα την επίτευξη μιας ενιαίας Ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Στα πλαίσια αυτού του μοντέλου, η Ελλάδα διαμορφώνει και εξελίσσει την ενεργειακή της στρατηγική, ώστε να προσαρμόζεται στα νέα δεδομένα και να απολαμβάνει όλα τα οφέλη που συνεπάγεται η απελευθέρωση των αγορών ενέργειας. Η παρούσα εργασία επιχειρεί την μελέτη του προγενέστερου πλαισίου λειτουργίας της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας μέσω προσομοίωσης του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ) σε σύστημα συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών.

Πρώτον, τελείται ο σχεδιασμός του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) της υπό μελέτη εικονικής χώρας. Εξετάζεται η λειτουργικότητά του, με σκοπό την επιλογή των μονάδων παραγωγής ενέργειας που θα το στελεχώσουν και τον καθορισμό των τεχνικών τους χαρακτηριστικών, ώστε να εκπληρώνεται η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των εγχώριων ενεργειακών πόρων και κατ' επέκταση η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Προσομοιώνοντας την απόκριση του συστήματος σε βάθος χρόνου, προσδιορίζονται εναλλακτικές προτάσεις σχεδιασμού του συστήματος, που βελτιστοποιούν την λειτουργία του βάσει κριτηρίων επίδοσης, υπό διαφορετικά σενάρια συνθηκών.

Σε δεύτερη φάση, τελείται η προσομοίωση του ΗΕΠ στο προαναφερθέν σύστημα που λαμβάνει χώρα στα πλαίσια της χονδρεμπορικής αγοράς ενέργειας. Ο ΗΕΠ επιλύεται, αρχικά, σύμφωνα με ένα Βασικό Σενάριο με απλούς κανόνες λειτουργίας και απλουστευτικές παραδοχές, ενώ στη συνέχεια διαμορφώνονται εναλλακτικά σενάρια λειτουργίας. Μεταβάλλοντας ορισμένες παραμέτρους και κανόνες, πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ των παραγόντων που στελεχώνουν τα επιμέρους σενάρια και προκρίνεται το ευμενέστερο σε όρους αγοράς σενάριο.

### **8.1 Συμπεράσματα**

Κατά την προσομοίωση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της υπό μελέτη εικονικής χώρας και της αγοράς ενέργειάς της, επιτυγχάνονται οι εξής ερευνητικοί στόχοι:

- Διαμόρφωση ενεργειακού μίγματος ηλεκτροδότησης πολλαπλών μορφών ενέργειας (ανανεώσιμων και συμβατικών), με σκοπό την διαχείριση της αβεβαιότητας και των διακυμάνσεων που διέπουν τις ΑΠΕ
- Σχεδιασμός των μονάδων παραγωγής με σκοπό την αποτελεσματική αξιοποίηση των εγχώριων ανανεώσιμων πηγών για παραγωγή ενέργειας και την επίτευξη υψηλής αξιοπιστίας σε όρους παραγωγής και κάλυψης της ζήτησης
- Διαμόρφωση παικτών – παραγωγών με συμμετοχή στο Χρηματιστήριο Ενέργειας και μελέτη της συμπεριφοράς τους στα πλαίσια του ΗΕΠ
- Διαμόρφωση και σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων κατοχής των μονάδων παραγωγής εκ μέρους των παικτών, με στόχο την βέλτιστη κατανομή των μονάδων τους για την μεγιστοποίηση του συνολικού οφέλους της αγοράς, αλλά και των επιμέρους συμμετεχόντων σε αυτήν
- Διαμόρφωση και σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων που αφορούν τους κανόνες λειτουργίας της αγοράς, όσον αφορά την ιεραρχία των παικτών στην κατανομή της ενέργειας
- Καθορισμός μέτρων επίδοσης για την ανάλυση των επιπτώσεων της πρόβλεψης στις αποκρίσεις των παικτών

- Επιλογή του βέλτιστου σεναρίου για την προσέλκυση του επενδυτικού ενδιαφέροντος στην περιοχή μελέτης

Επιπροσθέτως, τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από το σχεδιασμό και την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και της αγοράς ενέργειας που λειτουργεί σε αυτά τα πλαίσια, είναι τα εξής:

- Διαμόρφωση ενεργειακού μίγματος ηλεκτροδότησης με εγκατεστημένη ισχύ μονάδων ΑΠΕ που δύναται να καλύψει την αιχμή της ζήτησης, επικυρώνοντας το στρατηγικό πρόσταγμα για την ουσιαστική μετάβαση σε πράσινες μορφές ενέργειας
- Εγκατάσταση σταθμού φυσικού αερίου αντίστοιχης συνολικής ισχύος με ρόλο την κάλυψη των ενεργειακών ελλειμμάτων που ενδέχεται να προκύψουν από την αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τις προβλέψεις των καιρικών συνθηκών
- Ανάλυση και προσομοίωση των σταδίων που ακολουθούνται κατά τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό και εξαγωγή συμπερασμάτων μέσω σύγκρισης εναλλακτικών σεναρίων
- Προσομοίωση του Χρηματιστηρίου Ενέργειας με τη συμμετοχή τεσσάρων (4) παικτών – παραγωγών και εύρεση των βέλτιστων εκείνων συνθηκών που επιτυγχάνουν τους παρακάτω στόχους:
  - Ελαχιστοποίηση των ενεργειακών ελλειμμάτων
  - Βελτιστοποίηση της διαχείρισης των πλεονασμάτων ενέργειας
  - Αντιμετώπιση μονοπωλιακών συμπεριφορών και ταυτόχρονη διασφάλιση πλαισίου για ανοιχτό και δίκαιο ανταγωνισμό με την ενεργό συμμετοχή όλων των συμμετεχόντων στην αγορά
  - Προσέγγιση της λειτουργίας της αγοράς ενέργειας στις επιταγές του Ευρωπαϊκού Μοντέλου – Στόχου (Target Model)
- Εκκαθάριση με τις Οριακές Τιμές Συστήματος (ΟΤΣ) και Αποκλίσεων (ΟΤΑ) και επιλογή των συνθηκών που μεγιστοποιούν το συνολικό όφελος της αγοράς ενέργειας και των επιμέρους παικτών

## 8.2 Προτεινόμενο σενάριο διαμόρφωσης αγοράς ενέργειας της περιοχής μελέτης

Έπειτα από την διαμόρφωση και επίλυση των εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας της αγοράς ενέργειας, επιλέγεται το σενάριο εκείνο που προσεγγίζει στο βέλτιστο βαθμό τις προϋποθέσεις που έχουν τεθεί. Πρόκειται για το Σενάριο Β με την κατανομή των μονάδων παραγωγής όπως αυτή προτάθηκε στην παράγραφο 7.3.2.3 του τεύχους, και την ιεραρχία των παικτών να εναλλάσσεται τυχαία, μεν, αλλά σε κάθε χρονικό βήμα. Με την ισόποση κατανομή των ανεμογεννητριών στους τρεις (3) παίκτες – παραγωγούς ισομοιράζονται οι αποκλίσεις που προκύπτουν από την μεταβλητότητα που διέπει την πρόγνωση του ανέμου. Οι αποκλίσεις, παράλληλα, αντισταθμίζονται από την ισόποση κατανομή των φωτοβολταϊκών πάνελ, καθώς η πρόγνωση του ηλιακού δυναμικού χαρακτηρίζεται από τις λιγότερες αποκλίσεις, γεγονός που βελτιώνει την αξιοπιστία της πρόβλεψης των παικτών. Η τυχαία εναλλαγή της ιεραρχίας τους στην κατανομή της ενέργειας προσομοιάζει περισσότερο την πραγματικότητα της αγοράς, καθώς οι παίκτες με κίνητρο την κατάκτηση των πρώτων θέσεων σχεδιάζουν και αναπροσαρμόζουν τις στρατηγικές τους θέσεις, με αποτέλεσμα να λαμβάνει χώρα ένα συνεχές «παιχνίδι» ιεραρχίας. Η λογική αυτή περιορίζει τα φαινόμενα μονοπωλιακών συμπεριφορών, τα οποία δεν αρμόζουν σε τίποτα στους στόχους που προτείνει και προωθεί το Ευρωπαϊκό Μοντέλο – Στόχος. Τα έσοδα από τη λειτουργία των μονάδων παραγωγής μοιράζονται ομαλά και δίκαια στους παίκτες, αφού η συμμετοχή τους στο Χρηματιστήριο Ενέργειας είναι εξίσου ενεργή και σημαντική.

Τα ολοκληρωμένα σχέδια εγκατάστασης μονάδων ΑΠΕ, όπως αυτό που προκρίθηκε στην παρούσα εργασία, αποτελούν αναπτυξιακή επιλογή που τοποθετεί μια χώρα στο χάρτη της καινοτομίας και της βιωσιμότητας. Αυτό υπαγορεύει πως δεν εξασφαλίζεται μόνο η ασφαλής και περιβαλλοντικά φιλική προσαρμογή του ενεργειακού συστήματος σε πρότυπα που απομειώνουν δραστικά το ανθρωπινό αποτύπωμα στη φύση, αλλά ταυτόχρονα λειτουργούν ως οικονομικοί πολλαπλασιαστές που υπόσχονται σημαντικά και υψηλά κέρδη στους υποψήφιους επενδυτές, καθιστώντας τέτοιου είδους επενδυτικά σχέδια ελκυστικά. Σε προέκταση αυτής της συλλογιστικής, οι επενδύσεις στις ΑΠΕ συντείνουν πρακτικά και ουσιαστικά στην ικανοποίηση όλων των επηρεαζόμενων μελών, από τους επενδυτές μέχρι τους καταναλωτές, και από τα φυσικά οικοσυστήματα μέχρι τις επερχόμενες ιστορικές γενιές, γεγονός που τις καθιστά έναν ευοίωνο και ασφαλή επενδυτικό χώρο, που συν τω χρόνω θα προσελκύσει νέους επενδυτές και μονάδες παραγωγής, προς την κατεύθυνση μιας ισχυρής, δίκαιης και ανταγωνιστικής αγοράς ενέργειας.

### 8.3 Προοπτικές για περαιτέρω έρευνα

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια πρώτη επαφή με το αντικείμενο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού και μια πρώτη προσέγγισή του κάτω από συγκεκριμένα πλαίσια. Μέσω απλών κανόνων λειτουργίας και απλουστευτικών παραδοχών, διαμορφώνεται μια προσέγγιση επί του θέματος, η οποία μπορεί φυσικά να εμπλουτιστεί με επιπρόσθετες παραμέτρους και νέους ερευνητικούς στόχους. Οι προοπτικές που ανακύπτουν για περαιτέρω έρευνα στο συγκεκριμένο αντικείμενο είναι οι εξής:

- Βελτίωση των προγνώσεων των εισερχόμενων στο σύστημα ενεργειακών πόρων μέσω ανάπτυξης σύνθετων μαθηματικών μοντέλων που συνδυάζουν ντετερμινιστικές και στοχαστικές μεθόδους
- Εγκατάσταση και ταξινόμηση των υφιστάμενων μονάδων ΑΠΕ σε ποικίλλες θέσεις της περιοχής μελέτης με σκοπό την ακόμα πιο αποτελεσματική αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων
- Εισαγωγή περισσότερων και διαφορετικών μονάδων ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα (και συμμετοχή νέων παικτών στο χρηματιστήριο), όπως π.χ. την περίπτωση συστήματος αντλησιοταμίευσης που επιτυγχάνει την αποθήκευση και καλύτερη διαχείριση των πλεονασμάτων ενέργειας
- Διαμόρφωση παικτών – παραγωγών με χαρτοφυλάκιο που συνδυάζει ανανεώσιμες και συμβατικές πηγές, με σκοπό τον καλύτερο έλεγχο των αποκλίσεων
- Καθορισμός της ιεραρχίας των παικτών μέσω προσδιορισμού του κόστους παραγωγής των μονάδων τους
- Προσδιορισμός των ΟΤΣ και ΟΤΑ σύμφωνα με τις προσφορές των παραγωγών
- Διασύνδεση της υπό μελέτη εικονικής χώρας με άλλες χώρες και τέλεση εισαγωγών και εξαγωγών ενέργειας στα πλαίσια της ενοποίησης των αγορών και της αποτελεσματικής εφαρμογής του Target Model
- Μελέτη της στρατηγικής συμπεριφοράς των παικτών στον τρόπο που διαμορφώνουν τις προσφορές τους μέσω Συστημάτων Ευφώνων Πρακτόρων (Agent Based Modelling)

Η παρούσα εργασία συνδυάζει την επισκόπηση στο σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας με την προσομοίωση της επίλυσης του ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού, που αποτελεί προγενέστερη μορφή λειτουργίας της αγοράς και έχει πλέον μετεξελιχθεί στο Μοντέλο – Στόχο (Target Model). Αφενός, η διερεύνηση (ή ακόμα και προσομοίωση) της αγοράς ενέργειας, όπως αυτή έχει

## Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης

διαμορφωθεί σήμερα, αποτελεί σύνθετη διαδικασία και απαιτεί εξοικείωση και βαθιές γνώσεις της λειτουργίας της αγοράς, γι' αυτό και δεν αποτελεί αντικείμενο της προκείμενης διπλωματικής εργασίας. Αφετέρου, στο παρόν ερευνητικό πλαίσιο επιλέγεται μια απλουστευμένη μορφή της λειτουργίας της αγοράς για να προσδιοριστεί η επιρροή καθεμιάς από τις παραμέτρους που εξετάζονται, παραβλέποντας τις δομικές συνθετότητες ενός πολύπλοκου μοντέλου.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ελληνική βιβλιογραφία**

Greece, Grant Thornton. “Αγορά Ενέργειας: Αβεβαιότητες Και Ευκαιρίες Στο Νέο Περιβάλλον”. *Συμβουλευτικές Υπηρεσίες | Grant Thornton Greece*. <https://www.grant-thornton.gr/insights/article/Energy-Market-Truth-and-Opportunities-in-the-new-environment/>.

“Αγορά: Περιγραφή”. Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ενέργειας. [www.admie.gr/agora/genika/perigrafia](http://www.admie.gr/agora/genika/perigrafia).

Γαμβουσάκη, Γαρυφαλιά. «ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ: Η ΥΡΗΘΗ ΣΟΤΘ ΘΣΗ ΓΙΑΥΔΙΡΙΘΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ». Διπλωματική Εργασία. 2009. Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Γάτος, Νικόλαος. “Η λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας στην Ελλάδα και μια οικονομετρική ανάλυση στις διεθνείς αγορές: Η περίπτωση του Nord Pool”. Διπλωματική Εργασία. 2019. Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Δούλος, Ηλίας. Μηχανολόγος Μηχανικός, Υπ. Δρ. ΕΜΠ. “Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας – Υφιστάμενη κατάσταση και εξελίξεις”. Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα. Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Ακαδημαϊκό έτος 2020-21.

Δρακάκη, Κ.-Κ., «Βελτιστοποιώντας τη διαχείριση των μικρών υδροηλεκτρικών έργων: από τη συνεργατική λειτουργία του συστήματος στροβίλων στην ημερήσια πρόγνωση της ενέργειας». Διπλωματική εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Νοε. 2021.

Εγχειρίδιο Αγοράς. Έκδοση 3.1. Δεκ. 2014. ΑΔΜΗΕ.

Εγχειρίδιο Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας. Έκδοση 2.2. Οκτ. 2016. ΕΧΕ.

“Ενεργειακή Πολιτική: Γενικές Αρχές”. *Θεματολογικά Δελτία Για Την Ευρωπαϊκή Ένωση*. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Μάι. 2021, <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/68/ενεργειακη-πολιτικη-γενικες-αρχες>.

“Ενεργειακή Χρηματοπιστωτική Αγορά”. *Rae Website*. 12 Μαρ. 2021. <https://www.rae.gr/forward-market/>.

“Εξέλιξη ΟΤΑ-ΟΤΣ”. *ΑΔΜΗΕ*. <https://www.admie.gr/agora/statistika-agoras/kyrioi-deiktes-dashboard/exelixa-ota-ots>.

Ζάρρας, Δημήτρης. “Μεγάλες Διεισδύσεις ΑΠΕ Και Προκλήσεις Ως Προς Την Αδράνεια Δικτύων”. *Ecotec*. 17 Ιαν 2021. <https://www.envinow.gr/post/μεγάλες-διεισδύσεις-απε-και-προκλήσεις-ως-προς-την-αδράνεια-δικτύων>.

Κατώπης, Κ. *Βασικά χαρακτηριστικά του νέου μηχανισμού στήριξης ΑΠΕ*. Plant. <https://kiefel.gr/el/βασικά-χαρακτηριστικά-του-νέου-μηχαν/>.

Μαμάσης, Νίκος. Ευστρατιάδης, Ανδρέας. “Ηλιακή Ενέργεια”. Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, 2018-2019. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ.

“Με Μια Ματιά”. *ΑΔΜΗΕ*. <https://www.admie.gr/i-etairaia/me-mia-matia>.

“ΜΥΗΕ”. *Ε.Σ.Μ.Υ.Ε.*. <https://www.microhydropower.gr/εσμε/>.

- Νάντση, Ευδοξία. «Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΤΟ ΧΡΗΜΑΤΙΣΤΗΡΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ». Διπλωματική Εργασία. Νοέμβριος 2019. Τμήμα Οικονομικών Επιστημών, ΑΠΘ.
- “Όραμα Και Σκοπός”. *Διαχειριστής ΑΠΕ & Εγγυήσεων Προέλευσης Α.Ε. - ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε.*. 17 Ιουν. 2020. <https://www.dapeep.gr/etairia/orama-kai-skopos/>.
- “ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΠΕ”. *Ελληνικός Σύνδεσμος Ηλεκτροπαραγωγών Από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. <http://www.hellasres.gr/greek/giati-ape/giati-ape.htm>.
- “Προθεσματική Αγορά”. *EnExGroup*. <https://www.enexgroup.gr/el/web/guest/derivatives-markets>.
- Ραφτούλη, Η., & Τσοκάνου, Ε. (2016). «Υπολογισμός εφεδρειών σε νησιώτικα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση στοχαστικού προγραμματισμού και εφαρμογή των απαιτήσεων για την απόκριση συχνότητας». Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Α.Π.Θ.
- Σόφρα, Ρουμπίνα. «ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ R». 2014. Διπλωματική Εργασία. Τμήμα Κοινωνικής και Εκπαιδευτικής Πολιτικής, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου.
- “Στοιχεία Αγοράς Ενέργειας”. Elpedison. [www.elpedison.gr/gr/exupiretisi-pelaton/stoiheia-agoras-energeias/](http://www.elpedison.gr/gr/exupiretisi-pelaton/stoiheia-agoras-energeias/).
- “Σχετικά Με Τη ΡΑΕ”. *Rae Website*. 15 Μαρ. 2021. <https://www.rae.gr/σχετικά-με-τη-ραε/>.
- Ταρταμπούκα, Χριστίνα. “Νέο Κεφάλαιο Ανοίγει Στην Αγορά Ενέργειας Με Την Εκκίνηση Του Target Model Την 1η Νοεμβρίου”. *ΥΠΕΝ Αρχική*. 12 Νοε. 2020. <https://ypen.gov.gr/neo-kefalaio-anoigei-stin-agera-energ/>.
- “Τι Είναι Το Φυσικό Αέριο - ΗΡΩΝ”. *Αρχική – ΗΡΩΝ*. <https://www.heron.gr/blogs/articles/fysiko-aerio-ti-einai/>.

## Ξένη βιβλιογραφία

- Drakaki, K.-K., G.-K. Sakki, I. Tsoukalas, P. Kossieris, and A. Efstratiadis. «Day-ahead energy production in small hydropower plants: Uncertainty-aware forecasts through effective coupling of knowledge and data». *Advances in Geosciences*. 2021 (in press).
- Efstratiadis A., Tsoukalas I., Sakki G., Mamassis N., Koutsoyiannis D.. “Aeolic Energy”. Department of Water Resources & Environmental Engineering, NTUA. Academic year 2020-21.
- “Enercon E-66/15.66”. *Wind-Turbine-Models.com*. Lucas Bauer, Silvio Matysik. <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/915-enercon-e-66-15.66>.
- Efstratiadis A., Tsoukalas I., Sakki G., Mamassis N., Koutsoyiannis D.. “Small Hydropower Plants”. Department of Water Resources & Environmental Engineering, NTUA. Academic year 2020-21.
- Efstratiadis A., Tsoukalas I., Sakki G., Mamassis N., Koutsoyiannis D.. “Solar Energy”. Department of Water Resources & Environmental Engineering, NTUA. Academic year 2020-21.
- Lieberman, Bruce. “Pros and Cons: Promise, Pitfalls of Natural Gas ” Yale Climate Connections”. *Yale Climate Connections*. 16 Oct. 2020. <https://yaleclimateconnections.org/2016/07/pros-and-cons-the-promise-and-pitfalls-of-natural-gas/>.
- Mavritsakis, Panagiotis “A stochastic simulation framework for representing water, energy and financial fluxes across a non-connected island”. Diploma Thesis. July 2019. School of Civil Engineering, National Technical University of Athens.
- “R (Γλώσσα Προγραμματισμού)”. *Wikipedia*. Wikimedia Foundation. 9 Mar. 2020. [https://el.wikipedia.org/wiki/R\\_\(γλώσσα\\_προγραμματισμού\)](https://el.wikipedia.org/wiki/R_(γλώσσα_προγραμματισμού)).
- Sakki, G.-K., I. Tsoukalas, and A. Efstratiadis. «A reverse engineering approach across small hydropower plants: a hidden treasure of hydrological data?». *Hydrological Sciences Journal*, doi:10.1080/02626667.2021.2000992. 2021.
- Sakki, G.-K., I. Tsoukalas, P. Kossieris, and A. Efstratiadis. «A dilemma of small hydropower plants: Design with uncertainty or uncertainty within design?». *EGU General Assembly 2021*. Online. EGU21-2398, doi:10.5194/egusphere-egu21-2398. European Geosciences Union. 2021.
- “What Is the Energy Mix?”. *Planète Énergies*. <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/what-energy-mix>.

Το σύγχρονο πλαίσιο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ως πρόβλημα προσομοίωσης