



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

UNIVERSITY OF PIRAEUS

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

στη Διοίκηση Επιχειρήσεων (MBA)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Μαραβελάκης Πέτρος

Χαράλαμπος Ι. Ξυνογαλάς

Πειραιάς, 2024

ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

«Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών, του Πανεπιστημίου Πειραιώς, στη Διοίκηση Επιχειρήσεων : MBA» με τίτλο:

«ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ»

έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και στο σύνολό της. Δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού προγράμματος ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό, ούτε είναι εργασία ή τμήμα εργασίας ακαδημαϊκού ή επαγγελματικού χαρακτήρα.

Δηλώνω επίσης υπεύθυνα ότι οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, αναφέρονται στο σύνολό τους, κάνοντας πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου»

Υπογραφή Μεταπτυχιακού Φοιτητή/τριας.....

Όνοματεπώνυμο.....**Ξυνογαλάς Χαράλαμπος**.....

Ημερομηνία.....**22/04/2024**.....



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

UNIVERSITY OF PIRAEUS

Πανεπιστήμιο Πειραιώς
Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
στη Διοίκηση Επιχειρήσεων (MBA)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**

Επιτροπή:

Μαραβελάκης Πέτρος – Καθηγητής (Επιβλέπων)

Αρτίκης Παναγιώτης – Καθηγητής

Γεωργακέλλος Δημήτριος Α. – Καθηγητής

Χαράλαμπος Ι. Ξυνογαλάς

Πειραιάς, 2024

ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ

Στη μητέρα μου Κατερίνα και στο Δημήτρη

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

«ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ»

Περίληψη

Όλες οι εταιρείες στη σημερινή εποχή, πασχίζουν να βρουν ένα σημείο στο πρόγραμμα παραγωγής τους, στο οποίο θα υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την ολοκλήρωση της παραγωγής, και του συνολικού κόστους που δαπανούν οι εταιρείες για την χρήση της ενέργειας αυτής. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της εύρεσης του κατάλληλου προγράμματος παραγωγής μιας συγκεκριμένης επιχείρησης και κυρίως πως αυτό, από τη μια όψη θα μειώσει τα έξοδα της, σχετικά με την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, και από την άλλη πλευρά, πως θα μεγιστοποιήσει την παραγωγή. Η παρούσα έρευνα τελέσθηκε, λόγω της αυξανόμενης ανάγκης των εταιρειών να βελτιώσουν το πρόγραμμα παραγωγής τους, σε έναν κόσμο, ο οποίος υπόκειται σε ενεργειακή κρίση. Για τη συλλογή των δεδομένων, παραχωρήθηκε ένα πρόγραμμα ωριαίων καταγραφών ηλεκτρικής ενέργειας του έτους 2022, από μια ελληνική εταιρεία του κλάδου της τσιμεντοβιομηχανίας, το οποίο οδήγησε σε διάφορα χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τις ανάγκες που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

Abstract

All companies in today's modern era, strive to find a point in their individual production schedule, where the electrical energy required to complete production will balance the total cost needed by the companies for using this energy. This dissertation aims to study the suitable production schedule for a specific company and mainly how it will, on one hand, reduce its expenses related to electricity consumption and, on the other hand, maximize production. This research was conducted due to the increasing need of companies to improve their production schedules in a world facing an energy crisis. For data collection, an hourly electricity consumption recording program for the year 2022 was provided by a Greek company in the cement industry, which led to various useful conclusions regarding the needs presented earlier.

Ευχαριστίες

Μετά το πέρας αυτής της περιόδου, του μεταπτυχιακού προγράμματος και της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας αυτού, θα ήθελα, αρχικά, να ευχαριστήσω τους καθηγητές του προγράμματος, οι οποίοι μοιράστηκαν μαζί μου τις πολύτιμες γνώσεις τους, πάνω σε ποικίλα θέματα του κόσμου των επιχειρήσεων, καθώς και το υπόλοιπο προσωπικό του τμήματος. Φυσικά, δεν θα παρέλειπα να ξεχωρίσω τον επιβλέπον καθηγητή μου, κο. Μαραβελάκη Πέτρο, για την επίβλεψη και την ανεκτίμητη καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της συγκεκριμένης εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τα μέλη της οικογένειάς μου και τους κοντινούς μου ανθρώπους, για τη συνεχή υποστήριξή τους, την αγάπη που μου προσέφεραν πάντα και για την απεριόριστη στήριξη που μου παρείχαν σε κάθε περίπτωση. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω, τα μέλη της εταιρείας του κλάδου της τσιμεντοβιομηχανίας, τα οποία με τη σειρά τους κατέστησαν εφικτή την παρούσα μελέτη, μέσω της παράδοσης των δεδομένων που απαιτούνταν για τη συγγραφή της.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	V
Κατάλογος Εικόνων.....	IX
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	IX
Κατάλογος Πινάκων.....	X
Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1 ^ο : Ηλεκτρική Ενέργεια.....	3
1.1 Ορισμός της έννοιας.....	3
1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	3
1.3 Χρήσεις της Ενέργειας.....	5
1.4 Παγκόσμια Κρίση Ενέργειας.....	6
1.5 Ενεργειακή Κρίση στην Ελλάδα.....	7
1.6 Χρηματιστήριο Ενέργειας.....	9
1.7 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου.....	11
Κεφάλαιο 2 ^ο : Η Τσιμεντοβιομηχανία στην Ελλάδα.....	13
2.1 Γενικά Στοιχεία του Κλάδου.....	13
2.2 Περιγραφή των Δεδομένων.....	20
2.3 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου.....	25
Κεφάλαιο 3 ^ο : Βασικά Εργαλεία και Μεθοδολογία.....	26
3.1 Παλινδρόμηση.....	26
3.1.1 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση.....	27
3.1.2 Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση.....	32
3.2 Άλλα Στατιστικά Εργαλεία.....	35
3.3 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου.....	37
Κεφάλαιο 4 ^ο : Μελέτη Πιθανών Σεναρίων Βελτίωσης.....	38
4.1 Σενάριο Α': Μεταφορά της Παραγωγής 6 ώρες νωρίτερα.....	40

4.1.1 Υποπερίπτωση I: Αύξηση της Παραγωγής τους μήνες με μικρότερες τιμές ..	40
4.1.2 Υποπερίπτωση II: Μετακίνηση Προγραμματισμένης Επισκευής από Φεβρουάριο σε Ιούνιο	42
4.2 Σενάριο Β': Υπολογισμός του Συνολικού Κόστους με βάση την Αγορά της Επόμενης Ημέρας και την Ενδοημερήσια Αγορά	43
4.3 Σενάριο Γ': Αλλαγή διαδικασίας παραγωγής ανά μία MWh	44
4.4 Σενάριο Δ': Επιβολή μέγιστης κατανάλωσης στις 16 MWh στις ώρες υψηλής κατανάλωσης ενέργειας	46
4.4.1 Υποπερίπτωση I: Μεταφορά του ποσού 4 ώρες αργότερα	47
4.4.2 Υποπερίπτωση II: Μεταφορά του ποσού 4 ώρες νωρίτερα	48
4.4.3 Ανάλυση σεναρίου μέσω πίνακα ANOVA	48
4.5 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου	50
Κεφάλαιο 5 ^ο : Συμπεράσματα	51
5.1 Ανασκόπηση Αποτελεσμάτων	51
5.2 Περιορισμοί έρευνας	53
5.3 Μελλοντική έρευνα	54
Βιβλιογραφία	55

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Κεχριμπάρι	3
Εικόνα 1.2: Διαδικτυακή Σύνδεση Προϊόντων	5
Εικόνα 1.3: Πληρωμές λογαριασμών.....	8
Εικόνα 1.4: Χρηματιστήριο Ενέργειας.....	10
Εικόνα 2.1: ΑΓΕΤ Ηρακλής.....	14
Εικόνα 2.2: ΤΙΤΑΝ.....	14
Εικόνα 2.3: Τσιμέντα Χαλύψ.....	14
Εικόνα 2.4: Τοποθεσίες ελληνικών εργοστασίων τσιμεντοβιομηχανίας.....	15
Εικόνα 3.1: Συστηματικό και Τυχαίο Μέρος Απλού Γραμμικού Υποδείγματος	30

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1: Ετήσια παραγωγική ικανότητα τσιμέντου ανά εταιρία.....	16
Διάγραμμα 2.2: Παραγωγή τσιμέντου σε χιλιάδες τόνους.....	16
Διάγραμμα 2.3: Εξέλιξη πωλήσεων του παραγόμενου τσιμέντου.....	17
Διάγραμμα 2.4: Εξαγωγές - κύριες περιοχές προορισμού.....	18
Διάγραμμα 2.5: Μέση Κατανάλωση MWH ανά ώρα.....	21
Διάγραμμα 2.6: Τιμή € ανά MWH.....	22
Διάγραμμα 2.7: Συσχετισμός Κατανάλωσης και Τιμής	22
Διάγραμμα 2.8: Κόστος Ενέργειας ανά ώρα.....	23
Διάγραμμα 3.1: Ευθεία Ελαχίστων Τετραγώνων.....	30
Διάγραμμα 4.1: Μέση Κατανάλωση MWH ανά ώρα (Περίπτωση Αύξησης της Παραγωγής τους μήνες με μικρότερες τιμές)	41
Διάγραμμα 4.2: Μέση Κατανάλωση MWH ανά ώρα (Αλλαγή Επισκευής από Φεβρουάριο σε Ιούνιο)	42
Διάγραμμα 4.3: Ωριαίος Μ.Ο. Κατανάλωσης MWh.....	44
Διάγραμμα 4.4: Ωριαίος Μ.Ο. Τιμών Ενέργειας.....	44

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Παλινδρόμηση Αρχικών Δεδομένων	24
Πίνακας 3.1: Πίνακας Ανάλυσης Διακύμανσης (ANOVA).....	34
Πίνακας 4.1: Παλινδρόμηση Ημερήσιων Δεδομένων	39
Πίνακας 4.2: Παλινδρόμηση Σεναρίου Α' (Μεταφορά παραγωγής 6 ώρες νωρίτερα)..	40
Πίνακας 4.3: Μεσοσταθμική Τιμή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα - ΕΤΟΣ 2022.....	43
Πίνακας 4.4: Πίνακας Ωριαίου Μ.Ο. MWh.....	45
Πίνακας 4.5: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) κατανάλωσης και ωριαίου προγράμματος	45

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Εισαγωγή

Το κίνητρο επιλογής του συγκεκριμένου θέματος για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε το γεγονός πως τα τελευταία χρόνια, με ιδιαίτερη έμφαση έπειτα από την εποχή της πανδημίας Covid-19 και την κήρυξη του πολέμου της Ρωσίας στην Ουκρανία, όλες οι χώρες παγκοσμίως αδυνατούν να καλύψουν τις ανάγκες τους σε ενέργεια, καθώς τέθηκε εμπόριο σε έναν από τους μεγαλύτερους προμηθευτές φυσικού αερίου του κόσμου, τη Ρωσία.

Από το 2022 και έπειτα, ο ρυθμός ανάπτυξης των χωρών για την εύρεση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει αυξηθεί, καθώς οι τιμές των ήδη υπάρχουσών πηγών, όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και η ηλεκτρική ενέργεια, έχουν φτάσει σε επίπεδα που δυσκολεύουν τη διαβίωση των εταιρειών των εκάστοτε χωρών.

Πέρα από το φάσμα των ανανεώσιμων πηγών, οι εταιρείες θα μπορούσαν να αναπροσαρμόσουν το πρόγραμμα της παραγωγής τους, έχοντας ως στόχο να μειώσουν τα κόστη που έχουν σε ενέργεια. Η μετατροπή της θεωρίας σε πράξη, δεν είναι ακατόρθωτη στη συγκεκριμένη περίπτωση, διότι αν ληφθεί υπόψη η ύπαρξη του χρηματιστηρίου ενέργειας, οι εταιρείες θα έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλουν το πρόγραμμα των διαδικασιών τους, με βάση τις τιμές του συγκεκριμένου φορέα. Το θετικό της μεθόδου αυτής είναι ότι παρέχονται οι τιμές της επόμενης ημέρας, ανά ώρα, στους καταναλωτές.

Έχοντας έρθει σε συνεννόηση με μια εταιρεία, η οποία είναι μέρος του κλάδου της τσιμεντοβιομηχανίας στην Ελλάδα, λήφθηκαν οι καταγραφές ηλεκτρικής ενέργειας ανά ώρα, τις οποίες είχε καταναλώσει μια εργοστασιακή μονάδα της συγκεκριμένης εταιρείας το έτος 2022. Σκοπός της συνεργασίας αυτής, αποτελεί η εύρεση της κατάλληλης αναπροσαρμογής του προγράμματος, και οι απαραίτητες αλλαγές, οι οποίες θα πρέπει να διεξαχθούν, έχοντας ως στόχο τη βελτίωση των συνολικών δαπανών σε ηλεκτρική ενέργεια. Ως εργαλείο ανάλυσης των πρωτογενών δεδομένων της έρευνας χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα Microsoft Excel.

Η εργασία απαρτίζεται από πέντε κεφάλαια, με το τελευταίο να είναι το κεφάλαιο των συμπερασμάτων, ακολουθούμενο από τη βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

Αναλυτικότερα, το πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας αποσκοπεί να εισάγει τον αναγνώστη στην ιστορία της ηλεκτρικής ενέργειας, στην προέλευση της και στη μελέτη της ανά τους αιώνες, έως τη μορφή και τη χρήση που έχει σήμερα. Έπειτα παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή κρίση τα τελευταία χρόνια, τόσο σε

παγκόσμιο, όσο και σε εγχώριο επίπεδο. Τέλος, γίνεται μια εκτενής αναφορά στην έννοια του χρηματιστηρίου ενέργειας, στους στόχους του και στα προϊόντα που προσφέρει.

Συνεχίζοντας, το δεύτερο κεφάλαιο επικεντρώνεται γύρω από την περιγραφή του κλάδου της τσιμεντοβιομηχανίας στην Ελλάδα. Αναλυτικότερα, στο κεφάλαιο αυτό καταγράφονται η εγχώρια ιστορία του συγκεκριμένου κλάδου, οι τρεις κύριες εταιρίες, οι οποίες τον απαρτίζουν, και οι δραστηριότητές τους, σχετικά με την ετήσια παραγωγή, την εξέλιξη των πωλήσεων και το μέγεθος των εξαγωγών. Επιπλέον, στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται και η περιγραφή των δεδομένων, σύμφωνα με τα οποία θα πραγματοποιηθεί η έρευνα.

Έπειτα, ακολουθεί το τρίτο κεφάλαιο, στο οποίο αναφέρονται τα βασικά εργαλεία που χρειάστηκαν για την εκπόνηση της εργασίας. Αρχικά, γίνεται μια σύντομη περιγραφή της έννοιας της παλινδρόμησης, η οποία σχετίζεται με την ταυτόχρονη μελέτη δύο ή περισσότερων μεταβλητών, της εξαρτημένης και των ανεξαρτήτων. Στη συνέχεια, αναπτύσσονται δύο υποδείγματα, τα οποία την αποτελούν, δηλαδή το απλό γραμμικό υπόδειγμα και το πολλαπλό. Τέλος, γίνεται αναφορά σε άλλα στατιστικά εργαλεία, όπως ο έλεγχος F-test, ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 , η τιμή-P, τα διαγράμματα διασποράς και οι εφαρμογές του Microsoft Excel.

Επόμενο είναι το τέταρτο κεφάλαιο. Σε αυτό το κομμάτι της διπλωματικής εργασίας που ακολουθεί, ουσιαστικά παρουσιάζεται η μελέτη πέντε πιθανών σεναρίων βελτίωσης του συνολικού κόστους ηλεκτρικής ενέργειας του εργοστασίου, όπως, μέσα από τροποποιήσεις του ωριαίου προγράμματος και τον υπολογισμό του ποσού με τη βοήθεια της αγοράς της επόμενης ημέρας και της ενδοημερίσιας αγοράς.

Τέλος, το πέμπτο κεφάλαιο αποσκοπεί στην παρουσίαση των τελικών συμπερασμάτων, τα οποία διεξήχθησαν χάρη στην παραπάνω μελέτη, διάφοροι περιορισμοί της έρευνας και προτάσεις για μελλοντική επέκταση του θέματος. Έπειτα, ακολουθεί το τμήμα της συνολικής βιβλιογραφίας, που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα εργασία.

Κεφάλαιο 1^ο: Ηλεκτρική Ενέργεια

1.1 Ορισμός της έννοιας

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί μια μορφή ενέργειας. Η ύπαρξή της, οφείλεται στο γεγονός ότι, η ύλη αποτελείται από φορτία, θετικά και αρνητικά. Σύμφωνα με τους Sarhan et al. (2021), η κινητική κατάσταση των φορτίων αυτών δημιουργεί έναν συνδυασμό ηλεκτρικού ρεύματος και μαγνητικών πεδίων, τα οποία συντελούν την ηλεκτρική ενέργεια. Η δημιουργία της, πραγματοποιείται από διάφορα φαινόμενα, όπως μηχανικά, θερμικά, χημικά και φωτεινά και χαρακτηρίζεται από την ευκολία μετατροπής της σε άλλες μορφές ενέργειας.

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Ο ηλεκτρισμός ήταν γνωστός από την αρχαιότητα. Τον 7^ο αιώνα π.Χ. ο Θαλής ο Μιλήσιος, παρατήρησε ότι όταν το ήλεκτρο (κεχριμπάρι) τρίβεται σε μάλλινο ύφασμα, αποχτούσε την ιδιότητα να έλκει ελαφρά αντικείμενα, όπως άχυρα, λεπτά φύλλα χρυσού και άλλα. Επίσης, ήταν γνωστό ότι το ψάρι νάρκη ή μαρμαιρούσα (κοινώς μουδιάστρα) προκαλούσε ηλεκτρικές εκκενώσεις με τα χτυπήματά της. (Τσιούνης Αλέξανδρος et al., 1979, σσ. 298-304)



Εικόνα 1.1: Κεχριμπάρι

Πηγή: Cornford-Matheson, A. (2023, Ιανουάριος 26). *GUIDE TO AMBER GEMSTONES: PROPERTIES, MEANINGS, AND USES.*

Μέχρι τα τέλη του 16^{ου} αιώνα μ.Χ. δε σημειώθηκε καμία πρόοδος, καθώς η μελέτη των φαινομένων του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού, ήταν συνυφασμένη με την έννοια της μαγείας και της δεισιδαιμονίας. Παρόλα αυτά, οι μόνες ανακαλύψεις έγιναν στα τέλη του αιώνα αυτού, από τον βασιλικό ιατρό Γκίλμπερτ, αναφορικά με άλλα σώματα, τα οποία αποκτούσαν με την τριβή την ιδιότητα του ήλεκτρου, όπως τα μέταλλα, το γυαλί, η ρητίνη, το θείο και άλλα. Στη σημερινή εποχή, τα μέταλλα αποτελούν καλούς αγωγούς του ηλεκτρισμού, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα, τα οποία λέγονται μονωτικά και είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Στην αυγή του 17^{ου} αιώνα, ο δήμαρχος του Μαγδεβούργου, Γκέρικε, παρατήρησε την άπωση μεταξύ των προαναφερθέντων σωμάτων και πέτυχε την πρώτη παραγωγή ηλεκτρικού σπινθήρα. (Forrester, 2016, σ. 2)

Τον 18^ο αιώνα πραγματοποιήθηκε η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σωστά μονωμένους αγωγούς (μέταλλα). Έκτοτε, ακολούθησαν ποικίλες ανακαλύψεις, με κυριότερες τη δυνατότητα μεταφοράς του ηλεκτρισμού μέσω αγωγών και την διαπίστωση της ύπαρξης δύο διαφορετικών ειδών ηλεκτρισμού (ο θετικός, που παράγεται στο γυαλί, και ο αρνητικός, που παράγεται στη ρητίνη). Επιπροσθέτως, κατασκευάστηκαν ηλεκτρομαγνητικές μηχανές διάφορου είδους, εφευρέθηκε το αλεξικέραυνο και οι ηλεκτρικές ελκτικές και απωστικές δυνάμεις μετρήθηκαν επιτυχώς από τον Κουλόμπ. Δεν ήταν λίγοι εκείνοι που μελέτησαν διεξοδικά τα φαινόμενα του ηλεκτρισμού. Ο Βόλτα ανακάλυψε την ομώνυμη λυχνία του και έθεσε τα θεμέλια της ηλεκτροδυναμικής και ο Ντεύβυ ανακάλυψε την ηλεκτρόλυση. Μεταξύ άλλων, γνωστοί στον χώρο αυτό είναι οι Λαπλάς, Γκάους, Φάρανταιν, Ωμ, Τζάουλ, Έντισον, και Αμπέρ.

Το 1860, ξεκίνησε η λειτουργία των βιομηχανικών ηλεκτρογεννητριών, η μετάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος σε μεγάλες αποστάσεις και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το νερό. Έκτοτε, η πρόοδος ήταν ραγδαία. Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται σε ποικίλες εφαρμογές από τον 20ο αιώνα έως και σήμερα, όπως στο τηλέφωνο, στο ραδιόφωνο, στον υπολογιστή και αλλού.

Τα βασικά στάδια στην πρόοδο της έρευνας για τη μελέτη του ηλεκτρισμού και της αντίστοιχης ενέργειας αποτελούν:

- Η ανακάλυψη του στατικού ηλεκτρισμού (ηλεκτροστατική)
- Η ανακάλυψη του ηλεκτρικού ρεύματος (ηλεκτροκίνηση)
- Η ανακάλυψη της αλληλεπίδρασης μεταξύ ηλεκτρισμού και μαγνητισμού (ηλεκτρομαγνητισμός).
- Η ανακάλυψη του εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο αντικατέστησε το συνεχές ρεύμα και διευκόλυνε την ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών.

- Η ανακάλυψη της δομής του ηλεκτρισμού και η μελέτη των κινήσεων των ηλεκτρισμένων σωματιδίων έξω από τα σώματα, που αποτελούν τα βάρη τους.

Οι πέντε αυτές ανακαλύψεις αποτελούν και τα κύρια κεφάλαια της ηλεκτρολογίας. (Τσιούνης Αλέξανδρος et al., 1979, σσ. 298-304)

1.3 Χρήσεις της Ενέργειας

Έκτοτε, η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας των ανθρώπων. Έχει ποικίλες χρήσεις σε όλους τους κλάδους όπως, ιατρικούς, κατασκευαστικούς και επιχειρηματικούς, τροφοδοτώντας με ενέργεια τις συσκευές και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται σε αυτούς, για την επίτευξη των επαγγελματικών τους διαδικασιών.

Περαιτέρω, πέρα από την επιχειρηματική σκοπιά, συμβάλει στην οικιακή και στις μεταφορές. Η ενέργεια του ηλεκτρισμού, έχει την ικανότητα να μετατρέπεται από μια μορφή σε μια άλλη, όπως όλες οι μορφές ενέργειας. Με την κατάλληλη χρήση της, και τις εκάστοτε συσκευές που τροφοδοτεί, μπορεί να παράγει θερμότητα ή ψύχος, μέσω των κλιματιστικών και των καλοριφέρ, και κίνηση ή στασιμότητα, μέσω μπαταριών.

Η χρήση της σήμερα είναι πιο έντονη από τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς όλες οι συσκευές βασίζονται στην ύπαρξή της. Από τα έξυπνα ρολόγια (smart watches) μέχρι τις ηλεκτρικές κουβέρτες. Ο κόσμος διανύει τη δεκαετία των 'έξυπνων' (smart) αντικειμένων, μια εποχή όπου όλα είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω του διαδικτύου (internet), από το ρολόι του χεριού έως το ψυγείο, το φούρνο, την κουζίνα, την τηλεόραση και τον υπολογιστή, τα οποία λειτουργούν μέσω της ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 1.2: Διαδικτυακή Σύνδεση Προϊόντων

Πηγή: Gardner, N. (2021, Φεβρουάριος 22). *Practical uses for IoT in ship management*.

Όμως, σε αυτό το σημείο, χρειάζεται να γίνει αναφορά στο γεγονός ότι η ενέργεια, βραχυπρόθεσμα, αποτελεί αναντικατάστατο προϊόν, τόσο για τις επιχειρήσεις, όσο και για τα νοικοκυριά, διότι δεν υπάρχει η πιθανότητα της πλήρους υποκατάστασής της από κάποιο άλλο αγαθό. Σε μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο ορίζοντα, υπάρχει μια μικρή δυνατότητα υποκατάστασης, με κατάλληλες επενδύσεις σε ειδικούς εξοπλισμούς εξοικονόμησης ενέργειας. (Dagoumas & Kitsios, 2014, σσ. 267-278)

1.4 Παγκόσμια Κρίση Ενέργειας

Εξαιτίας της υπερβολικής χρήσης της σε νοικοκυριά και επιχειρήσεις, αποτελεί παρεπόμενο η ύπαρξη ενεργειακής κρίσης σε παγκόσμιο επίπεδο. Η κατάσταση του παγκόσμιου ενεργειακού εφοδιασμού έχει αλλάξει ραγδαία τις τελευταίες δύο δεκαετίες, με μεγαλύτερο αντίκτυπο στις αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς ο ενεργειακός τομέας βρίσκεται σε μια ταχεία διαδικασία μετασχηματισμού. Ο μετασχηματισμός αυτός καθίσταται αναγκαίος, λόγω των περιβαλλοντικών και των οικονομικών συνθηκών που επικρατούν, και γίνεται εφικτός κυρίως χάρη στις τεχνολογικές εξελίξεις.

Η ανάγκη μετριασμού των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, τροφοδοτεί την υιοθέτηση πολιτικών για τη στήριξη της εξοικονόμησης ενέργειας και την ταχεία ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, οι οποίες διαφέρουν σημαντικά από τις παραδοσιακές τεχνολογίες ως προς τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά τους. (Singh, 2021, σσ. 1-17)

Πέραν της κλιματικής αλλαγής, ακόμη ένας λόγος για τον οποίο θεωρούνται αναγκαίες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποτελεί το γεγονός ότι οι τιμές του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν αυξηθεί ραγδαία από το 2021 και έπειτα. Αυτό αποτελεί αντίκτυπο της εποχής μετά τις πανδημίας του Covid-19.

Κατά την περίοδο αυτή, οι περισσότερες χώρες, επέβαλαν περιορισμούς στην κυκλοφορία των πολιτών τους για να αντιμετωπίσουν την πανδημία (καραντίνα). Η αντιμετώπιση της κατάστασης με αυτόν τον τρόπο, έφερε ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της παραγωγής διαφόρων εργασιών. Επιπλέον, οι δραστηριότητες πολλών επιχειρήσεων στον τομέα των υπηρεσιών, των καταστημάτων και των ιδιωτικών γραφείων ανεστάλησαν ή μειώθηκαν σημαντικά. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, στην Ευρωπαϊκή Ένωση κυρίως, μειώθηκε κατά 20% έως 30% κατά τη διάρκεια της πανδημίας. (Ozili & Ozen, 2023, σσ. 439-454).

Μετά το πέρας της περιόδου αυτών των δύο ετών, την περίοδο της υποχρεωτικής κατάστασης καραντίνας, η απελευθέρωση της συσσωρευμένης ζήτησης σε συνδυασμό με την «επαναλειτουργία» της παγκόσμιας οικονομίας, έμελλε να είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες για τη σημερινή ενεργειακή κρίση.

Επίσης, από τις αρχές Μαρτίου 2022, όταν η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία συγκλόνισε την αγορά, οι τιμές των μεγαβατώραν άρχισαν να κλιμακώνονται με αύξοντα ρυθμό. Μέχρι σήμερα, οι τιμές έχουν αυξηθεί σχεδόν έντεκα φορές σε σύγκριση με τα προηγούμενα έτη, αυξάνοντας το κόστος για τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις που αντιμετωπίζουν τον χειρότερο πληθωρισμό των τελευταίων δεκαετιών.

Ως εκ τούτου, όλες οι χώρες βρίσκονται στη δίνη μιας ενεργειακής κρίσης, λόγω των περιορισμένων προμηθειών από τη Ρωσία, της αυξημένης ζήτησης, λόγω της ανάκαμψης από την πανδημία, και των ολοένα ακραίων καιρικών φαινομένων κατά τις περιόδους του καλοκαιριού και του χειμώνα, εποχές όπου η ανάγκη για ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα, απαιτούν ιλιγγιώδη ποσοστά αποθέματος ενέργειας. (Gajdzik, B. et al., 2024, σ. 947)

1.5 Ενεργειακή Κρίση στην Ελλάδα

Σχετικά με την Ελλάδα, η κατάσταση που επικρατεί στον τομέα της ενέργειας είναι παρόμοια με την παγκόσμια. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν αυξηθεί, ακολουθώντας το παράδειγμα των τιμών του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, όμως όχι στον ίδιο βαθμό, αλλά πιο ήπια, εξαιτίας της συμμετοχής και άλλων πηγών ενέργειας στο μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής. (Dagoumas & Kitsios, 2014, σσ. 267-278)

Όπως σημειώνεται στη γνωμοδότηση της Οικονομικής Κοινωνικής Επιτροπής για την ενεργειακή κρίση, οι συνέπειες της ενεργειακής φτώχειας αποτελούν την περιορισμένη χρήση θέρμανσης, κρύα σπίτια με προβλήματα υγρασίας, χρέη σε λογαριασμούς κοινής ωφελείας και μειωμένες δαπάνες των νοικοκυριών για εξυπηρέτηση άλλων πρώτων αναγκών. Η ενεργειακή φτώχεια συνδέεται επίσης με μια σειρά από προβλήματα σωματικής και ψυχικής υγείας, όπως κατάθλιψη, άσθμα και καρδιακές παθήσεις. Η συγκεκριμένη μορφή φτώχειας προκαλείται από το χαμηλό εισόδημα, τις υψηλές τιμές καυσίμων, την κακή ενεργειακή απόδοση των κατοικιών, την υπό μερική κατάληψη (χρήση) κατοικιών και τη μεγάλη ηλικία.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με έρευνα που διεξήγαγε το Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων της ΓΣΕΒΕΕ για το 2022, ένα στα τέσσερα νοικοκυριά (25,6%) αδυνατεί να πληρώσει τους λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος και το 18,8% αδυνατεί τους λογαριασμούς θέρμανσης, κυρίως εκείνους που αφορούν την κατανάλωση φυσικού αερίου. Ο αριθμός των νοικοκυριών που βρίσκονται στη δυσχερή αυτή θέση έχει αυξηθεί από το 2021. Τότε, το 19,5% των ερωτηθέντων δήλωσε ότι δεν είχε πληρώσει εγκαίρως τους λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ το 12,5% δεν είχε πληρώσει εγκαίρως τους λογαριασμούς θέρμανσης. (Halkos & Kostakis, 2023), (ΓΣΕΒΕΕ, 2023)



Εικόνα 1.3: Πληρωμές λογαριασμών

Πηγή: Newsroom. (2023, Φεβρουάριος 28). Ενεργειακή κρίση: Μεγάλες καθυστερήσεις στις πληρωμές για ρεύμα και θέρμανση (γράφημα + vids).

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων, στην Ελλάδα έχει επενδυθεί ένα σημαντικό ποσό χρημάτων για την άμβλυνση των επιπτώσεων της ενεργειακής κρίσης στην οικονομία και ένα σημαντικό μέρος αυτών των δημόσιων πόρων έχει διατεθεί από τον κρατικό προϋπολογισμό. Πράγματι, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Buegel, η χώρα κατέχει την πρώτη θέση στην ΕΕ όσον αφορά το σύνολο των δημόσιων ενισχύσεων με 3,7% του ΑΕΠ (6,8 δισ. ευρώ). Ωστόσο, υπάρχουν έντονες επικρίσεις

σχετικά με την κατανομή, την ιεράρχηση και την αποτελεσματικότητα αυτών των έκτακτων δαπανών. (Μακανταση & Βαλέντης, 2022)

1.6 Χρηματιστήριο Ενέργειας

Το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας αποτελεί τον καθορισμένο διαχειριστή της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας για την Ελλάδα, λειτουργώντας ένα οργανωμένο χρηματιστήριο αγορών ενέργειας και παρέχοντας υπηρεσίες διαπραγμάτευσης, με στόχο την αποτελεσματική διαμόρφωση των τιμών και τη δημιουργία ενός ασφαλούς και αξιόπιστου τόπου διαπραγμάτευσης ενέργειας στη Νοτιοανατολική Ευρώπη.

Στόχος του είναι να διεκπεραιώνει συναλλαγές σύμφωνα με τα υψηλά ευρωπαϊκά ρυθμιστικά πρότυπα, να διασφαλίζει τη διαφάνεια των συναλλαγών, να παρέχει ανταγωνιστικές τιμές και να εξαλείφει τον κίνδυνο αντισυμβαλλομένου μέσω της εκκαθάρισης και της διαχείρισης κινδύνων από Κεντρικό Φορέα Εκκαθάρισης.

Το Χρηματιστήριο Ενέργειας, διαχειρίζεται δύο συστήματα αγορών, ένα για την ηλεκτρική ενέργεια και ένα για την αγορά φυσικού αερίου, το Σύστημα Συναλλαγών Αγορών Ενέργειας (ΣΣΑΕ) και το Σύστημα Συναλλαγών του Βάθρου Εμπορίας Φυσικού Αερίου, αντίστοιχα. Αμφότερα, υποστηρίζονται από τον όμιλο ATHEXGroup.

Για την επίτευξη της διαδικασίας, παρέχονται, σε κάθε άτομο ξεχωριστά, διαδικτυακές εφαρμογές διαπραγμάτευσης, διαμορφωμένες με Διεπαφές Προγραμματισμού Εφαρμογών (API), οι οποίες καθιστούν δυνατή την προσαρμογή του συστήματος στις ατομικές απαιτήσεις κάθε μέλους, αναφορικά με τις μεθόδους διαπραγμάτευσης.

Το Σύστημα Συναλλαγών Αγορών Ενέργειας λειτουργεί σύμφωνα με τα προϊόντα και τις εντολές της Περιφερειακής Σύζευξης Αγορών (PCR) που χρησιμοποιούνται στην Σύζευξη Αγοράς Επόμενης Ημέρας των Ευρωπαϊκών Αγορών. Επιπροσθέτως, προσφέρει τη δυνατότητα επέκτασης και εξυπηρέτησης στις τοπικές και περιφερειακές ενδοημερήσιες αγορές και δημοπρασίες.

Όσον αφορά το Σύστημα Συναλλαγών του Βάθρου Εμπορίας Φυσικού Αερίου, υποστηρίζει συγκεκριμένα προϊόντα, σε βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα, και προσφέρει μια χρηματιστηριακή αγορά στα άτομα σχετικά με το προϊόν, δηλαδή, τους συμμετέχοντες, τους προμηθευτές φυσικού αερίου, τους εμπόρους και τους τελικούς καταναλωτές.

Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός ότι, το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας διαχειρίζεται την Αγορά Επόμενης Ημέρας και την Ενδοημερήσια Αγορά, σύμφωνα με τα πρότυπα του Μοντέλου Στόχου, μέσα στο πλαίσιο της Ενοποίησης των Ευρωπαϊκών Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Πιο αναλυτικά, η Αγορά Επόμενης Ημέρας έχει ως αντικείμενο την διαπραγμάτευση των προϊόντων Ηλεκτρικής Ενέργειας, τα οποία απαιτείται να παραδοθούν δια ζώσης την επόμενη ημέρα, καθώς και να δίνουν την ευκαιρία υποβολής των ποσοτήτων των προϊόντων που χαρακτηρίζονται προθεσμιακά και τα οποία έχουν παρθεί από την Προθεσμιακή Αγορά του Ελληνικού Χρηματιστηρίου Ενέργειας και Διμερών συμβολαίων "Over The Counter".

Ακόμα, αντικείμενο διαπραγμάτευσης της Ενδοημερήσιας Αγοράς αποτελούν τα προϊόντα Ηλεκτρικής Ενέργειας για δια ζώσης παράδοση κατά την ημερομηνία φυσικής παράδοσης, κατά το πέρας της προθεσμίας δήλωσης εντολών συναλλαγών στην Αγορά Επόμενης Ημέρας. Σε αυτήν την αγορά, ανήκουν τρεις Συμπληρωματικές Περιφερειακές Ενδοημερήσιες Δημοπρασίες (CRIDAs).

Οι συναλλαγές οι οποίες λαμβάνουν χώρα στις Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας, πραγματοποιούνται ηλεκτρονικά και ανώνυμα δια μέσου του Συστήματος Συναλλαγών Αγορών Ενέργειας (ΣΣΑΕ).

Η απόρροια των Αγορών σχετίζεται με τις συναλλαγές και τις Τιμές Εκκαθάρισης Αγοράς ανά ώρα της ημέρας διεξαγωγής της Φυσικής Παράδοσης και ανά Ζώνη Προσφορών, τις επιτρεπτές ποσότητες ενέργειας των Ωριαίων Υβριδικών Εντολών, την κατάσταση, αλλά και το ποσοστό αποδοχής των Εντολών Πακέτου. (Αγορές Ενέργειας, 2023)



Εικόνα 1.4: Χρηματιστήριο Ενέργειας

Πηγή: Athexgroup, A. E. (2022). *Energy Exchange Group*.

Έχοντας αναλύσει την ηλεκτρική ενέργεια, καθώς και τη σημασία της καθόλα τη χρονική περίοδο από τη στιγμή της ανακάλυψής της, έως τη σημερινή εποχή, άξια ενδιαφέροντος σε αυτό το σημείο αποτελεί η μελέτη εφαρμογής της στον κλάδο της βιομηχανίας και συγκεκριμένα σε εκείνον του τσιμέντου.

Παγκόσμια, αυτήν την περίοδο, σε μια εποχή μετά την πανδημία του Covid-19, όπου στην παγκόσμια κατάσταση ενέργειας επικρατεί κρίση, γεγονός το οποίο συμβαίνει και στην Ελλάδα, αποτελεί άξια ενδιαφέροντος η μελέτη της διαχείρισης ενέργειας στην τσιμεντοβιομηχανία, μια εκ των μεγαλύτερων βιομηχανιών εγχώρια.

Με βάση τα προαναφερθέντα, πρόκειται να ακολουθήσει μια εκτενής περιγραφή του κλάδου της παραγωγής τσιμέντου και η μελέτη περίπτωσης πραγματικών δεδομένων ενός εργοστασίου μιας εκ των εταιρειών του κλάδου αυτού.

1.7 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

Athexgroup, A. E. (2022). *Energy Exchange Group*. Ανάκτηση από <https://www.athexgroup.gr/energy-exchange-group>

Cornford-Matheson, A. (2023, Ιανουάριος 26). *GUIDE TO AMBER GEMSTONES: PROPERTIES, MEANINGS, AND USES*. Ανάκτηση από <https://fiercelynxdesigns.com/blogs/articles/guide-to-amber-gemstones-properties-meanings-and-uses>

Dagoumas, A., & Kitsios, F. (2014). Assessing the impact of the economic crisis on energy poverty in Greece. *Sustainable Cities and Society* (Τομ. 13, σσ. 267-278).

Forrester, R. (2016). *History of electricity* (σ. 2). Available at SSRN 2876929.

Gajdzik, B., Wolniak, R., Nagaj, R., Žuromskaitė-Nagaj, B., & Grebski, W. W. (2024). The Influence of the Global Energy Crisis on Energy Efficiency: A Comprehensive Analysis. *Energies* (Τομ. 17, σ. 947).

Gardner, N. (2021, Φεβρουάριος 22). *Practical uses for IoT in ship management*. Ανάκτηση από <https://thetius.com/practical-uses-for-iot-in-ship-management/>

- Halkos, G., & Kostakis, I. (2023). Exploring the persistence and transience of energy poverty: evidence from a Greek household survey. *Energy Efficiency* (Τομ. 16, no. 50).
- Newsroom. (2023, Φεβρουάριος 28). *Ενεργειακή κρίση: Μεγάλες καθυστερήσεις στις πληρωμές για ρεύμα και θέρμανση (γράφημα + vids)*. Ανάκτηση από Newmoney - Ειδήσεις για την Οικονομία: <https://www.newmoney.gr/roh/palamos-oikonomias/energeia/energiaki-krisi-megales-kathisterisis-stis-pliedromes-gia-revma-ke-thermans-grafima-vids/>
- Ozili, P. K., & Ozen, E. (2023). Global energy crisis: impact on the global economy. *The Impact of Climate Change and Sustainability Standards on the Insurance Market* (σσ. 439-454).
- Sarhan, A., Ramachandaramurthy, V. K., Kiong, T. S., & Ekanayake, J. (2021). Definitions and dimensions for electricity security assessment: A Review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* (Τομ. 48, no. 101626).
- Singh, S. (2021). Energy crisis and climate change: Global concerns and their solutions. *Energy: Crises, Challenges and Solutions* (σσ. 1-17).
- Αγορές Ενέργειας*. (2023). Ανάκτηση από <https://www.enexgroup.gr/el/energy-markets>
- ΓΣΕΒΕΕ. (2023). *ΕΙΣΟΔΗΜΑ - ΔΑΠΑΝΕΣ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΩΝ 2022*. Αθήνα: ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ.
- Μακανταση, Φ. & Βαλέντης, Η. (2022, Νοέμβριος). *Η Ενεργειακή Κρίση Στην Ελλάδα*. Ανάκτηση από Dianeosis - Οργανισμός Έρευνας & Ανάλυσης: <https://www.dianeosis.org/2022/11/i-energeiaki-krisi-stin-ellada/>
- Τσιούνης, Α, Κωνσταντίνου, Κ, Βύζα-Τσώτσου, Α, Αναγνώστου, Δ, Κουμπarella, Ν, Λάζος, Σ, Θεάκης, Δ, Τσατσαρούνης, Ι. & Μαλακτάρη, Μ. (1979). *Φάρος, Μεγάλη Γενική Παγκόσμια Εγκυκλοπαίδεια*, Τόμ., Αθήνα: Εκδόσεις Φάρος.

Κεφάλαιο 2^ο: Η Τσιμεντοβιομηχανία στην Ελλάδα

2.1 Γενικά Στοιχεία του Κλάδου

Η διαδικασία παραγωγής τσιμέντου είναι μια καθαρά εξορυκτική και μεταλλουργική δραστηριότητα και αποτελεί μια από τις σημαντικότερες βιομηχανικές δραστηριότητες στην Ελλάδα. Επίσης, είναι η παλαιότερη βιομηχανική δραστηριότητα στην χώρα, παρέχοντας, σε αυτή, ένα σημαντικό εξαγωγικό δυναμικό και συμβάλλοντας, αισθητά, στην εθνική οικονομία.

Το πρώτο εργοστάσιο τσιμέντου ιδρύθηκε στην Ελευσίνα το 1902, στις αρχές του 20ού αιώνα. Ακολούθησαν έκτοτε και άλλα εργοστάσια, τα οποία εγκαταστάθηκαν κοντά σε φυσικούς πόρους, όπως ασβεστόλιθους και πηλό, με σκοπό την ευρεία παροχή πρώτων υλών. Στα επόμενα 32 χρόνια ιδρύθηκαν συνολικά έξι εταιρείες, οι οποίες διαμόρφωσαν την ελληνική τσιμεντοβιομηχανία. (Tsekouras & Skuras, 2005, σσ. 279-291)

Ο ασβεστόλιθος, ο οποίος αποτελεί τη βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή του τσιμέντου και λοιπών αδρανών υλικών, αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα για την ανάπτυξη της εγχώριας βιομηχανίας, καθώς υπάρχει σε αφθονία στην Ελλάδα.

Εκτός από την παραγωγή τσιμέντου, το οποίο είναι ένα βασικό υλικό για την κατασκευή κτιρίων, οδών, γεφυρών, και άλλων υποδομών, άμεση συνιστά η σύνδεσή του με την παραγωγή σκυροδέματος, το οποίο αποτελεί κύριο δομικό υλικό, εξαιτίας της υψηλής ανθεκτικότητας και αντοχής του. Για τους προαναφερθείσες λόγους, είναι αισθητά αυξημένη η ζήτησή του στη χώρα, εξαιτίας της έντονης σεισμικής δραστηριότητας και της ανάγκης για αντισεισμικές και ανθεκτικές κατασκευές που αφορούν ιδιωτικά και δημόσια έργα. (Tsakalakis, 2003, σσ. 279-282)

Επίσης, άξιο αναφοράς αποτελεί το γεγονός ότι η βιομηχανία εξελίσσεται διαρκώς προς την κατεύθυνση της βελτίωσης της περιβαλλοντικής της επίδοσης και της ενίσχυσης της βιωσιμότητάς της.

Σήμερα, η ελληνική τσιμεντοβιομηχανία έχει ετήσια παραγωγική δυναμικότητα περίπου 15 εκατομμυρίων τόνων και αποτελείται από τρεις εταιρείες:

- Την Ανώνυμο Γενική Εταιρεία Τσιμέντου ΗΡΑΚΛΗΣ, μέλος του Ομίλου Holcim



Εικόνα 2.1: ΑΓΕΤ Ηρακλής
Πηγή: ΑΓΕΤ Ηρακλής Lafarge. (χ.χ.)

- Την Ανώνυμο Εταιρεία Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ



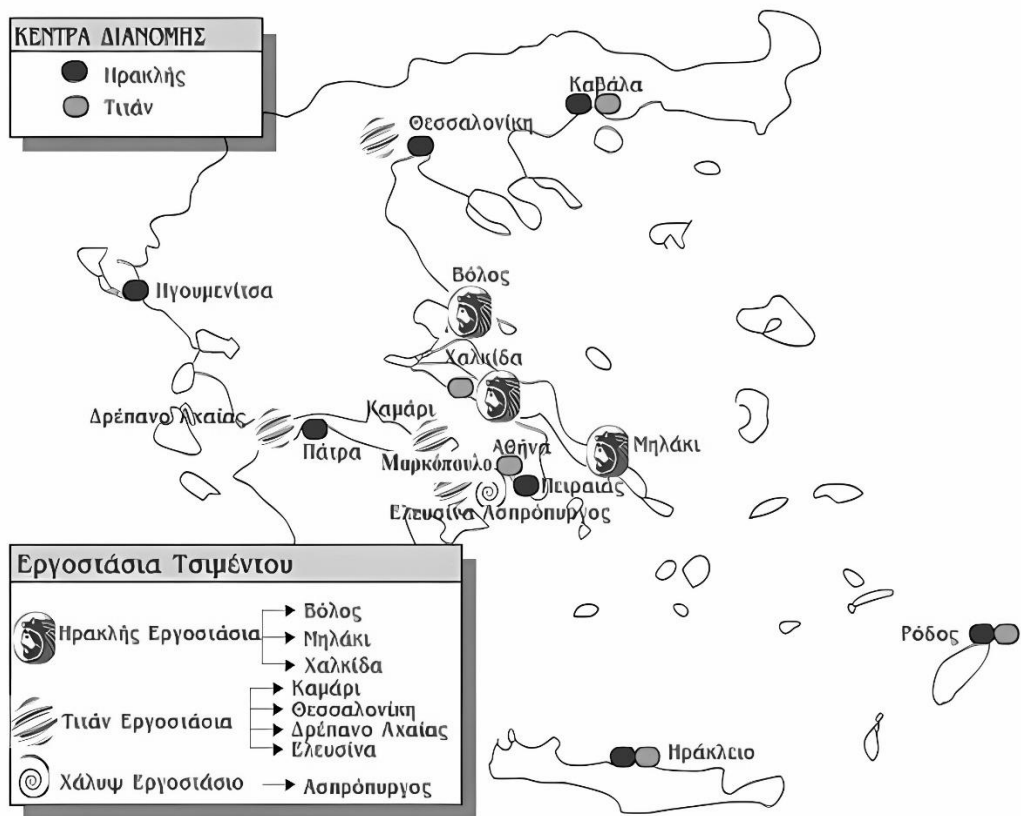
Εικόνα 2.2: ΤΙΤΑΝ
Πηγή: Titan Media Library. (χ.χ.)

- Την Ανώνυμο Εταιρεία Τσιμέντων Τσιμέντου ΧΑΛΥΨ, μέλος του Ομίλου Heidelberg



Εικόνα 2.3: Τσιμέντα Χαλύψ
Πηγή: Χάλυψ Δομικά Υλικά Α.Ε. (χ.χ.)

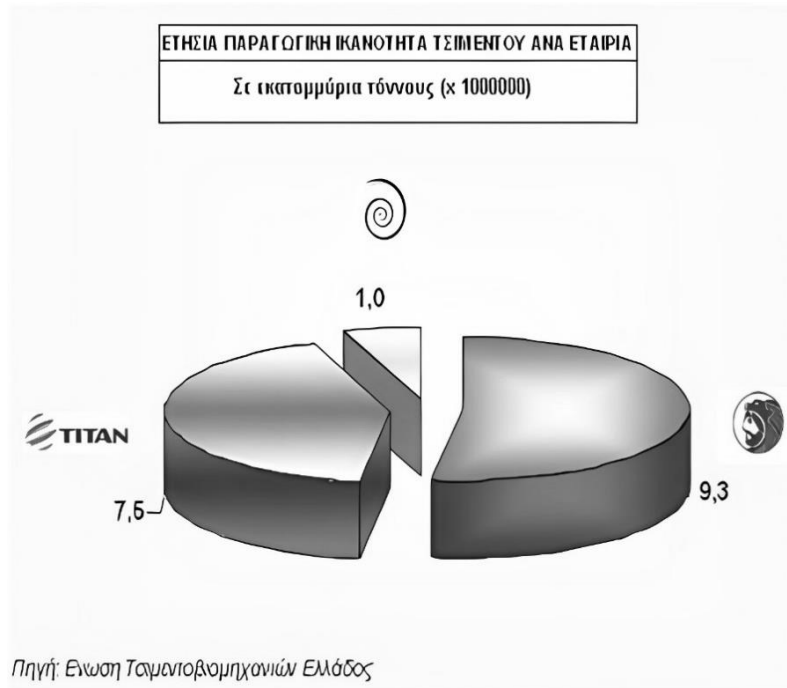
Συνολικά, υπάρχουν οκτώ εργοστάσια στην Ελλάδα και δέκα στο εξωτερικό, τα οποία ανήκουν στην εταιρεία ΤΙΤΑΝ.



Εικόνα 2.4: Τοποθεσίες ελληνικών εργοστασίων τσιμεντοβιομηχανίας

Πηγή: Ελληνική τσιμεντοβιομηχανία. (2007).

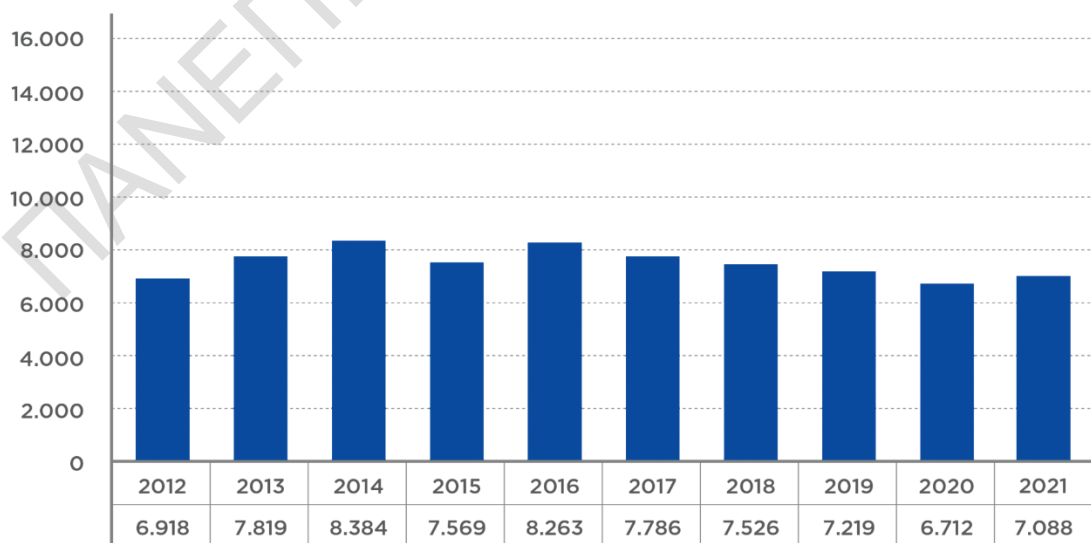
Στο παραπάνω σχήμα, παρουσιάζεται η θέση των εργοστασίων παραγωγής τσιμέντου στην Ελλάδα και των κέντρων που είναι απαραίτητα για τη μεταφορά και τη διανομή του τσιμέντου προς τις μονάδες παραγωγής σκυροδέματος και προς τις υπόλοιπες εταιρείες του κλάδου.



Διάγραμμα 2.1: Ετήσια παραγωγική ικανότητα τσιμέντου ανά εταιρία

Πηγή: Ελληνική τσιμεντοβιομηχανία. (2007).

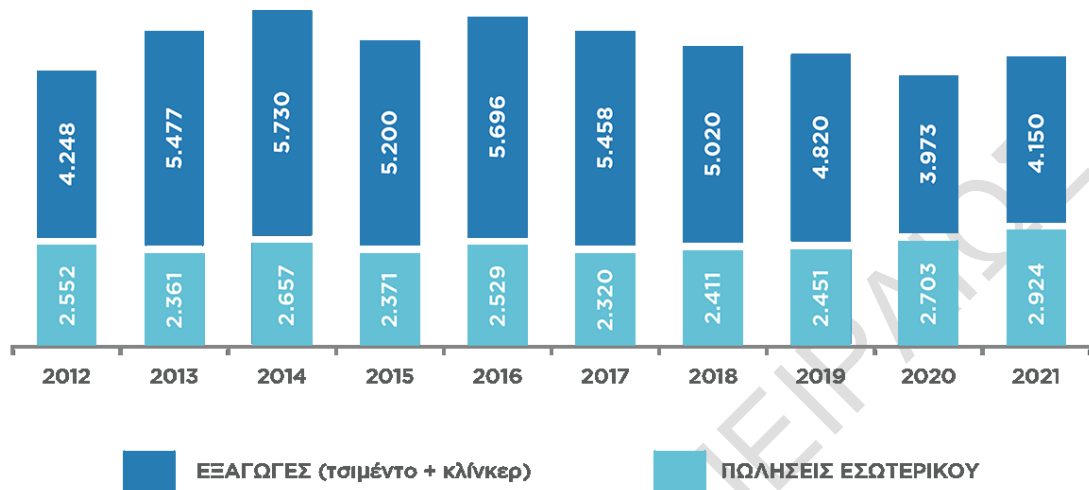
Όπως διαφαίνεται στο σχήμα, το μεγαλύτερο ποσοστό της ετήσιας παραγωγής ανήκει στην ΑΓΕΤ Ηρακλής, με 9,3 εκατομμύρια τόνους. Ακολουθούν οι TITAN με 7,6 και η ΧΑΛΥΨ με 1,0.



Διάγραμμα 2.2: Παραγωγή τσιμέντου σε χιλιάδες τόνους

Πηγή: Ο κλάδος στην Ελλάδα. (2023, Δεκέμβριος 18)

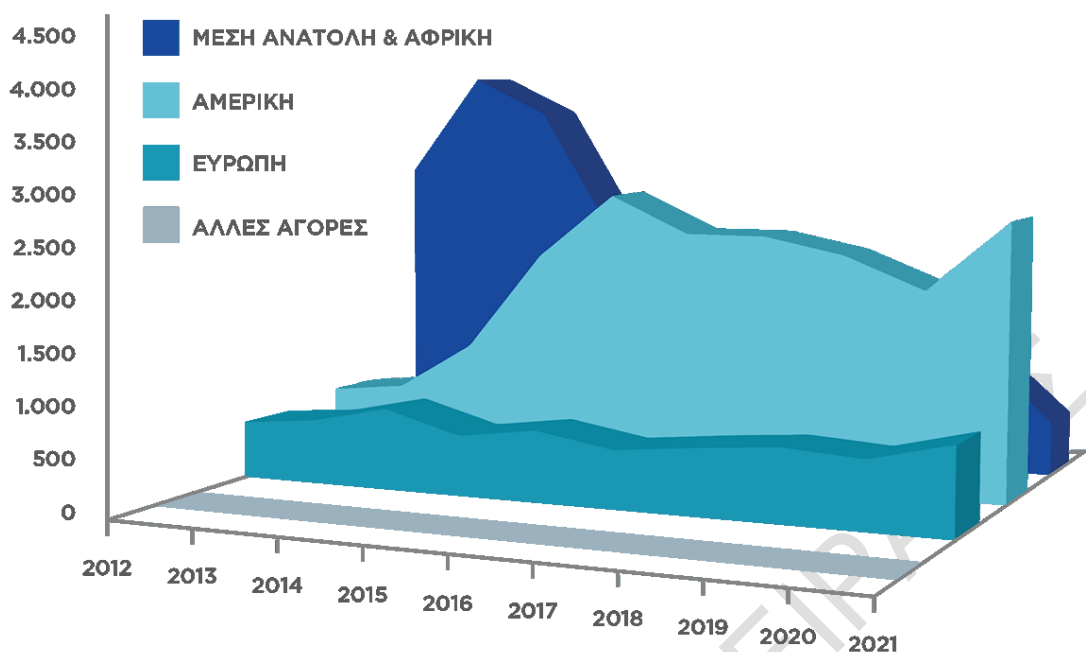
Με βάση το διάγραμμα, η συνολική ετήσια παραγωγή τσιμέντου αυξομειώνεται τη χρονική περίοδο 2012 με 2021, με υψηλότερες τιμές το 2016 με 8.263 τόνους και χαμηλότερες το 2012 με 6.918.



Διάγραμμα 2.3: Εξέλιξη πωλήσεων του παραγόμενου τσιμέντου

Πηγή: Ο κλάδος στην Ελλάδα. (2023, Δεκέμβριος 18)

Σύμφωνα με τις παραγωγικές δυνατότητες κάθε έτους, διακρίνεται και η διακύμανση των πωλήσεων στα έτη αυτά. Συγκεκριμένα, οι περισσότερες πωλήσεις έγιναν το έτος 2014, με συνολικό αριθμό $2.657 + 5.730 = 8.387$, ενώ οι λιγότερες το έτος 2020, με συνολικό αριθμό $2.703 + 3.973 = 6.676$. Αξιοσημείωτο, επίσης, είναι το γεγονός ότι διαχρονικά, το μεγαλύτερο ποσοστό των πωλήσεων οφείλεται στις εξαγωγές και λιγότερο από το 50% οφείλεται στις πωλήσεις του εσωτερικού.



Διάγραμμα 2.4: Εξαγωγές - κύριες περιοχές προορισμού

Πηγή: Ο κλάδος στην Ελλάδα. (2023, Δεκέμβριος 18)

Πριν την εποχή του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, οι ελληνικές επιχειρήσεις του κλάδου είχαν αναπτυχθεί σημαντικά. Μάλιστα, η ανάπτυξή τους αυτή, οδήγησε και στη ταχεία δημιουργία κατάλληλων προϋποθέσεων για την εξαγωγή των προϊόντων και σε άλλες χώρες.

Έκτοτε, εξαιτίας της σημαντικής παροχής της σε τεχνολογικό εξοπλισμό και γνώση, της βέλτιστης ποιότητας προϊόντος που παράγει, των εξειδικευμένων στελεχών της και των υπηρεσιών που προσφέρουν στους πελάτες της και τέλος, τους συνεχείς ελέγχους για τη μείωση του κόστους, ανέτρεψε την εξαγωγική της δραστηριότητα, στοχεύοντας προς τις ανεπτυγμένες αγορές, όπως τις Ηνωμένες Πολιτείες και τις χώρες της Δυτικής Ευρώπης, αλλά επίσης, αναζητώντας ευκαιρίες σε άλλες περιοχές, όπως την Αφρική και την Ασία, όντας, συνάμα, μια από τις πιο επιτυχημένες χώρες στον τομέα των εξαγωγών. (Tsekouras & Skuras, 2005, σσ. 279-291)

Τα τελευταία έτη, όπως διακρίνεται και στο Διάγραμμα 2.4, η εξαγωγική πορεία του ελληνικού κλάδου απευθυνόταν κυρίως στις χώρες της Μέσης Ανατολής και στην Αφρική κατά την περίοδο 2012 με 2016. Από το 2016 και έπειτα, ξεκίνησαν έντονα οι εξαγωγές προς την Αμερική και μειώθηκαν αισθητά για τις υπόλοιπες περιοχές. Τέλος,

οι εξωτερικές πωλήσεις στις χώρες της Ευρώπης παραμένουν σχετικά σταθερές και σε χαμηλά επίπεδα από το 2012.

Η τσιμεντοβιομηχανία, λοιπόν, με βάση όλα τα προϊόντα που δημιουργεί, και τα υπέρογκα ποσά μονάδων που παράγει για κάθε ένα από αυτά, έχει να αντιμετωπίσει ένα από τα πιο σοβαρά ζητήματα των επιχειρήσεων στη σημερινή εποχή. Συγκεκριμένα, αυτό της κατανάλωσης ενέργειας.

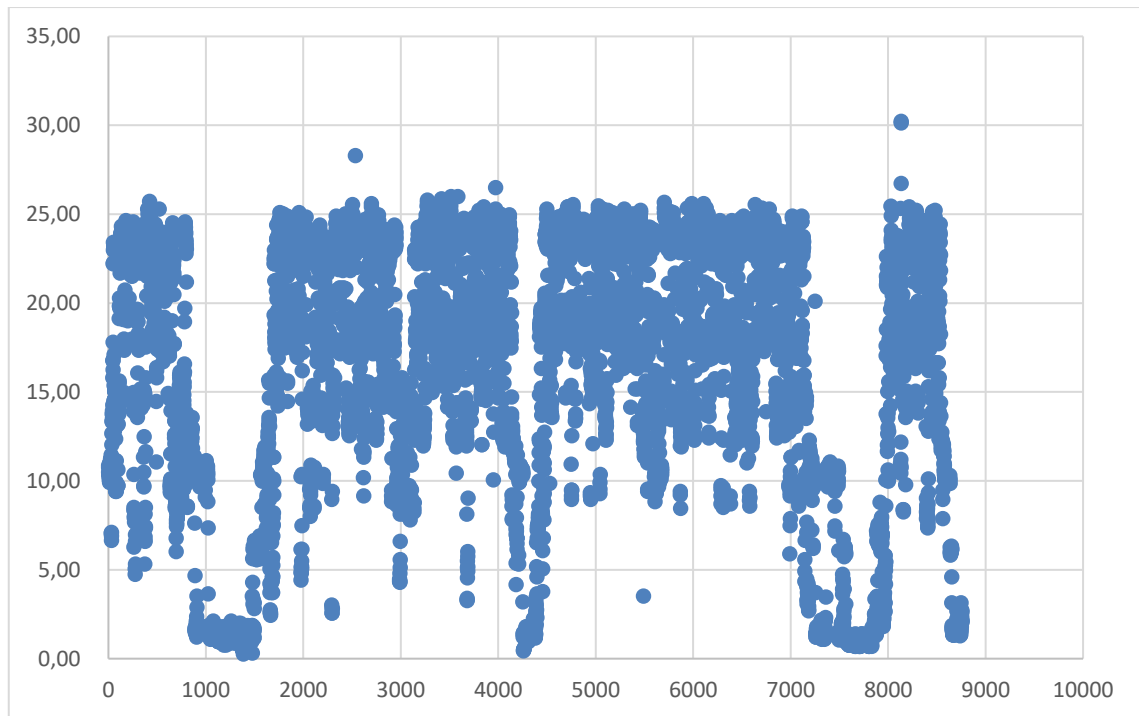
Η παραγωγή τσιμέντου εξαρτάται από μεγάλη ποσότητα ενέργειας, καθώς η διαδικασία καύσης των πρώτων υλικών στα εργοστάσια επιβάλλει υψηλές θερμοκρασίες. Η δραστηριότητα όλων των μηχανημάτων, τα οποία απαιτούνται από την παραγωγή να τίθενται σε καθημερινή λειτουργία, εξαναγκάζει τα εργοστάσια να καταναλώνουν ιλιγγιώδη ποσά ενέργειας και να δαπανούν υψηλά χρηματικά κεφάλαια για την κάλυψη των αναγκών τους. Για αυτούς του λόγους, έχουν αρχίσει να στρέφονται σε εναλλακτικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας, όπως η συμπύκνωση θερμότητας, η χρήση εναλλακτικών καυσιμοκινητήρων και η ανακύκλωση θερμότητας από τα καύσιμα.

2.2 Περιγραφή των Δεδομένων

Έπειτα από συνεννόηση με την εργοστασιακή μονάδα παραγωγής τσιμέντου μιας ελληνικής εταιρείας του κλάδου της τσιμεντοβιομηχανίας, παραχωρήθηκαν δεδομένα καταγραφής ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό την ανάλυσή τους για τη διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

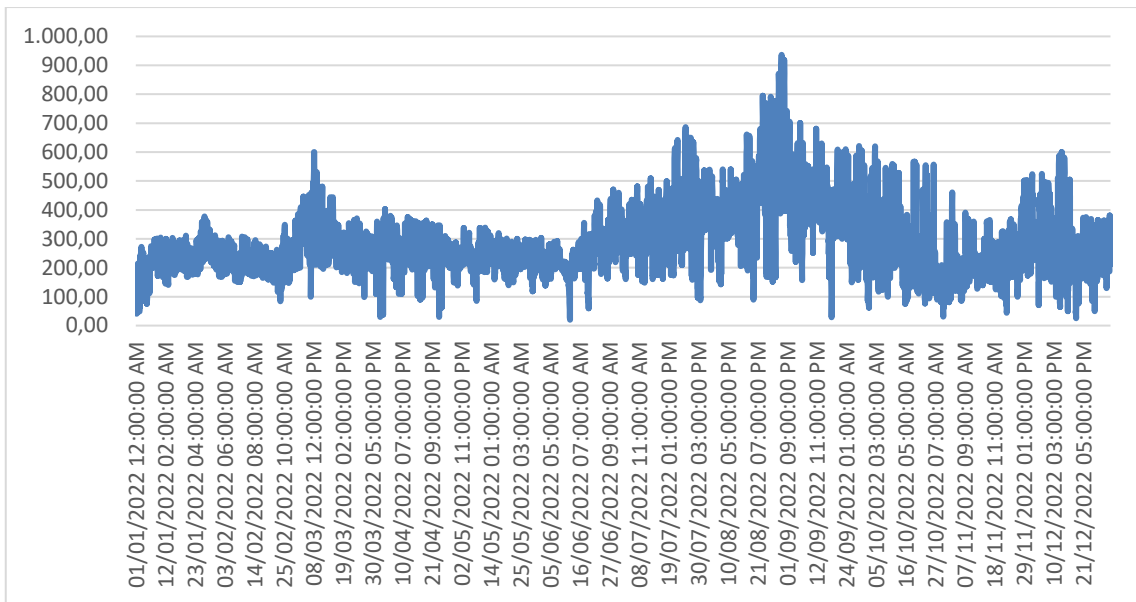
Τα δεδομένα τα οποία συλλέχτηκαν αφορούν τις καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας του συγκεκριμένου εργοστασίου για το έτος 2022, και αναγράφονται σε ένα αρχείο excel. Συγκεκριμένα, στο παραδοθέν αρχείο αυτό, καταγράφονται 8.760 εγγραφές, κάθε μια εκ των οποίων, περιλαμβάνει την ωριαία πληροφορία καταγραφής της, την ποσότητα της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή και την τιμή που παρείχε για εκείνη την ώρα το χρηματιστήριο ενέργειας. Ειδικότερα, στη στήλη D με τίτλο «Datetime», αναφέρονται οι καθημερινές ωριαίες καταγραφές ενέργειας από τη 1/1/2022 έως και τη 31/12/2022. Έπειτα, η στήλη E με τίτλο «Avg Consumption MW» αφορά τη μέση κατανάλωση ενέργειας, η οποία πραγματοποιήθηκε τις ώρες της στήλης D. Επίσης, στη στήλη F, η οποία τιτλοφορείται ως «Spot Price €/mwh», αποτιμώνται οι τιμές € ανά μεγαβατώρα για τις προαναφερθείσες ώρες λειτουργίας, οι οποίες έχουν ληφθεί από το χρηματιστήριο ενέργειας. Τέλος, χρειάζεται να σημειωθεί ότι, οι στήλες A, B και C δεν είναι άξιες αναφοράς, καθώς οι μόνες πληροφορίες που περιέχουν αποτελούν τη γεωγραφική περιοχή, η οποία είναι η Ευρώπη, τη χώρα αναφοράς, δηλαδή, την Ελλάδα, και τέλος, το συνάλλαγμα, το οποίο είναι το € ανά mwh.

Έχοντας ως γνώμονα τη μελέτη του κόστους ενέργειας ανά ώρα, στο υπάρχον αρχείο σχεδιάστηκαν δύο επιπλέον στήλες με βάση τα αρχικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, η πρώτη στήλη που δημιουργήθηκε είναι η G, η οποία αφορά το κόστος ενέργειας ανά ώρα, και αποτελεί το γινόμενο των στηλών E και F για την εκάστοτε χρονική στιγμή της στήλης D. Τέλος, η δεύτερη στήλη είναι η H, στην οποία καταγράφεται το συνολικό ετήσιο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για την περίοδο 2022 FY (Full Year), αποτελεί το άθροισμα των στοιχείων από το κελί G₂ έως το κελί G₈₇₆₀ της στήλης G, και έχει ως αποτέλεσμα την τιμή 40.648.894 €.



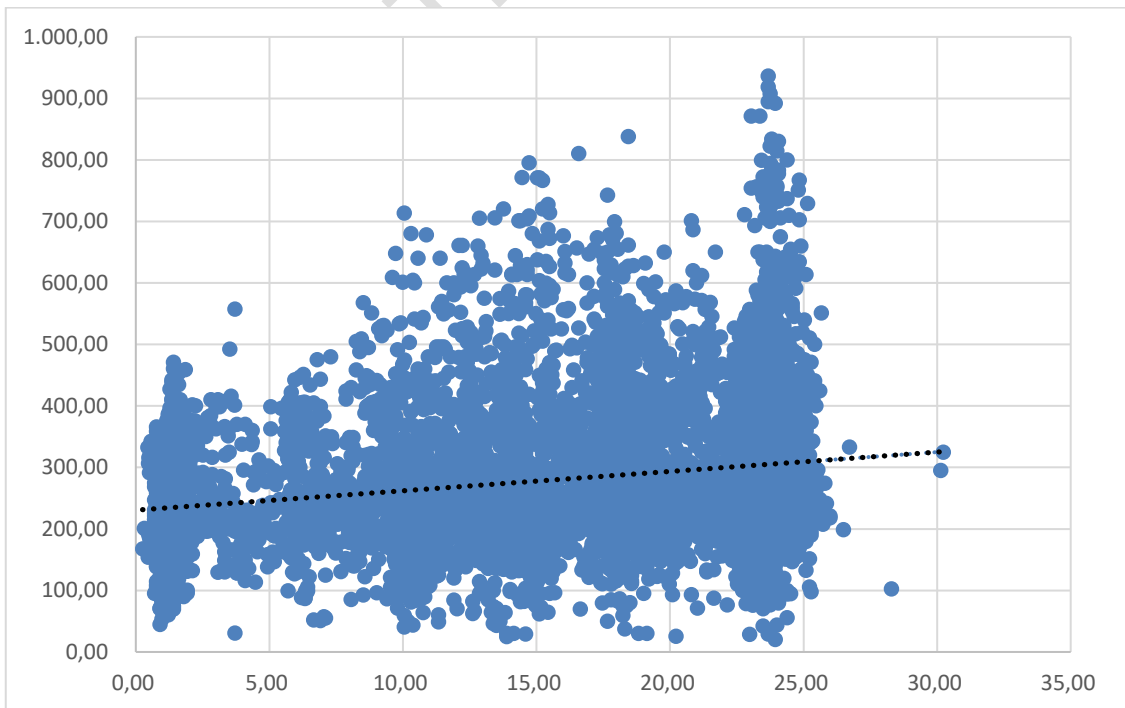
Διάγραμμα 2.5: Μέση Κατανάλωση MWH ανά ώρα

Στο διάγραμμα παρατηρούνται τρεις περιόδους κατά τις οποίες η κατανάλωση μειώνεται απότομα από το διάστημα 10-25. Οι χαμηλές τιμές αφορούν τις περιόδους του Φεβρουαρίου, του Ιουλίου και του Νοεμβρίου. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε προγραμματισμένη στάση μονάδας λόγω επισκευής, όπως στις περιπτώσεις του Φεβρουαρίου και του Νοεμβρίου, ή σε απρογραμματίστη στάση λόγω βλάβης, όπως στην περίπτωση του Ιουλίου.



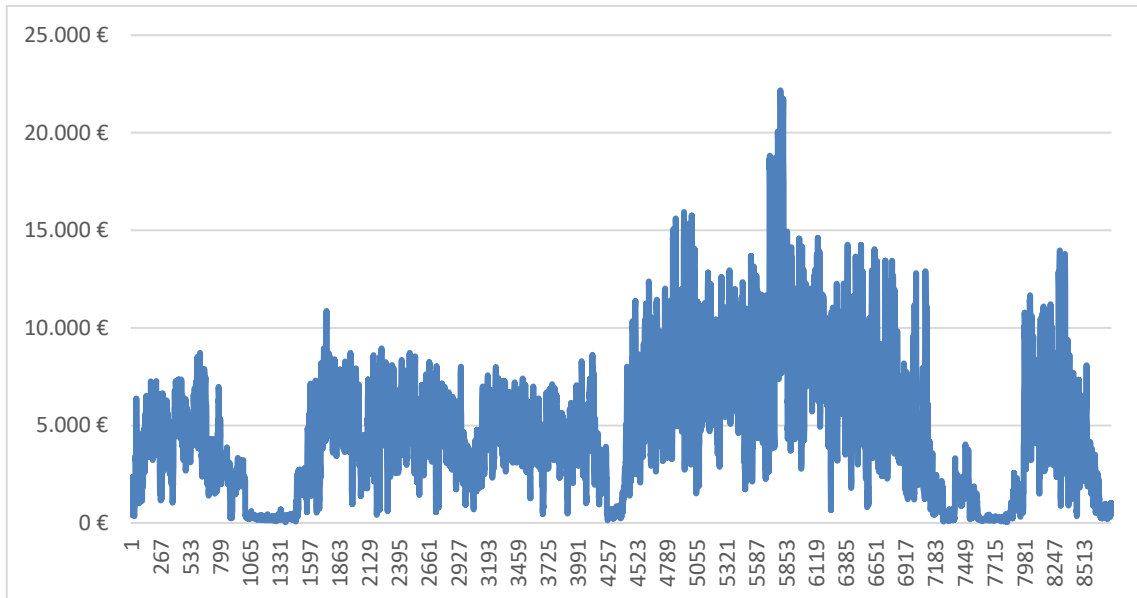
Διάγραμμα 2.6: Τιμή € ανά MWH

Στο παραπάνω διάγραμμα διαφαίνεται η μεταβολή των τιμών που θέτει το χρηματιστήριο ενέργειας για ολόκληρο το έτος 2022. Από τον Ιανουάριο έως και το Μάιο, οι τιμές είναι σταθερές, με εξαίρεση μια μικρή αύξηση στις αρχές Μαρτίου, ενώ από τις αρχές του Ιουλίου και έπειτα, υπάρχει μια αυξητική τάση των τιμών.



Διάγραμμα 2.7: Συσχετισμός Κατανάλωσης και Τιμής

Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα διασποράς στις στήλες E (μέση κατανάλωση) και F (τιμή μεγαβατώρας), παρατηρείται μέσω τις γραμμής της τάσης, ότι υπάρχει θετική σχέση μεταξύ των δύο αυτών μεταβλητών, γεγονός που υποδεικνύει ότι όσο αυξάνεται η τιμή της μεγαβατώρας, τόσο αυξάνεται και η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας.



Διάγραμμα 2.8: Κόστος Ενέργειας ανά ώρα

Το κόστος, τους πρώτους μήνες του έτους είναι μικρότερο από 10.000€, ποσό το οποίο αυξάνεται από τον Ιούνιο έως και τον Οκτώβριο της ίδιας χρονιάς, και κυμαίνεται ανάμεσα σε 10.000€ και 15.000€. Τελευταία μεταβολή υπάρχει μεταξύ των τελευταίων μηνών του έτους, καθώς οι τιμές είναι κάτω από 5.000€ το Νοέμβριο και πάνω από 10.000€ το Δεκέμβριο. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί η ύπαρξη ακραίων τιμών, οι οποίες αφορούν τις τελευταίες ημέρες του Αυγούστου, περίοδος όπου το κόστος ξεπερνά το ποσό των 20.000€.

Πίνακας 2.1: Παλινδρόμηση Αρχικών Δεδομένων

ΕΞΟΔΟΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ								
<i>Στατιστικά παλινδρόμησης</i>								
Πολλαπλό R		0,214297758						
R Τετράγωνο		0,045923529						
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο		0,045814591						
Τυπικό σφάλμα		112,5664833						
Μέγεθος δείγματος		8760						
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ								
	βαθμοί ελευθερίας	SS	MS	F	Σημαντικότητα F			
Παλινδρόμηση	1	5341647,282	5341647,282	421,5576846	1,56118E-91			
Υπόλοιπο	8758	110974484,9	12671,21316					
Σύνολο	8759	116316132,2						
	Συντελεστές	Τυπικό σφάλμα	t	τιμή-P	Κατώτερο 95%	Υψηλότερο 95%	Κατώτερο 95,0%	Υψηλότερο 95,0%
Τεταγμένη επί την αρχή	230,5017338	2,712975378	84,96270759	0	225,1836648	235,8198028	225,1836648	235,8198028
Avg Consumption MW	3,148874303	0,153365198	20,53186997	1,56118E-91	2,848242491	3,449506115	2,848242491	3,449506115

Τέλος, μέσω της ανάλυσης της παλινδρόμησης, παρατηρείται ότι η σημαντικότητα της F είναι $1,56118 \cdot 10^{-91}$, αριθμός μικρότερος από το 5% ($0,05 > 1,56118 \cdot 10^{-91}$), γεγονός το οποίο σηματοδοτεί τη στατιστική σημαντικότητα της μέσης κατανάλωσης ανά MWH στη τιμή € ανά MWH. Σε αυτό το σημείο, χρειάζεται να γίνει αναφορά στο γεγονός ότι, για την παρούσα ανάλυση, ως εξαρτημένη μεταβλητή Y, ορίστηκε η στήλη των τιμών, και ως ανεξάρτητη ορίστηκε η στήλη με τις καταναλώσεις ενέργειας. Επίσης, ο συντελεστής συσχέτισης, R Τετράγωνο, έχει τιμή 0,045923529. Αυτό σημαίνει ότι, η μεταβλητότητα του ύψους των τιμών κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά MWH ερμηνεύει το 4,6% της μεταβλητότητας των τιμών € ανά MWH. Επιπλέον, με βάση την τιμή-P, τόσο η σταθερά (*Τεταγμένη επί την αρχή* = 0), όσο και η κλίση (*Avg Consumption MW* = $1,56118 \cdot 10^{-91}$) είναι στατιστικά σημαντικές, καθώς οι συγκεκριμένοι αριθμοί είναι πολύ μικρότεροι από το 5%. Τέλος, η γραμμική εξίσωση της παρούσας σχέσης, με βάση τα ανωτέρω δεδομένα, είναι η $Y = 230,50 + 3,148X$, γεγονός που επισημαίνει την ύπαρξη της θετικής σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών.

2.3 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

Titan Media Library. (χ.χ.). Ανάκτηση από Titan Greece:
<https://www.titan.gr/el/newsroom/vivliothiki/logos>

Tsakalakis, K. G. (2003). The Greek cement-industry sector and its potential towards sustainable development. *In Proceedings of the International Conference on Sustainable Development Indicators in the Mineral Industries* (σσ. 279-282).

Tsekouras, K. D., & Skuras, D. (2005). Productive efficiency and exports: an examination of alternative hypotheses for the Greek cement industry. *Applied Economics* (Τομ. 37, σσ. 279-291).

ΑΓΕΤ Ηρακλής Lafarge. (χ.χ.). Ανάκτηση από Projectyou:
<https://www.projectyou.gr/lafarge/>

Ελληνική τσιμεντοβιομηχανία. (2007). Ανάκτηση από ΟΡΥΚΤΑ:
<https://www.orykta.gr/ekmetalleusi-emploutismos/metallourgikes-diergasies/81-elliniki-tsimenobiomihania>

Ο κλάδος στην Ελλάδα. (2023, Δεκέμβριος 18). Ανάκτηση από ΕΝΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ: <https://www.hcia.gr/o-klados-stin-ellada/>

Χάλυψ Δομικά Υλικά Α.Ε. (χ.χ.). Ανάκτηση από QualityNet Foundation:
<https://qualitynetfoundation.org/partners/%CF%87%CE%B1%CE%BB%CF%85%CF%88-%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CE%B1-%CE%B5/>

Κεφάλαιο 3^ο: Βασικά Εργαλεία και Μεθοδολογία

3.1 Παλινδρόμηση

Σε ορισμένες περιπτώσεις, μελετώντας μια μεμονωμένη μεταβλητή δεν δύναται η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τη λήψη κατάλληλων διορθωτικών μέτρων. Προκειμένου να διεξαχθούν συμπεράσματα και να αντιμετωπιστούν τυχών προβλήματα, πέρα από την ξεχωριστή μελέτη των μεταβλητών του παρόντος προβλήματος, απαιτείται, τις περισσότερες φορές, η ταυτόχρονη μελέτη ορισμένων μεταβλητών και η ανάλυση της σχέσης που δημιουργείται μεταξύ τους. Βασικό εργαλείο για την επίτευξη του σκοπού αυτού αποτελεί η στατιστική μέθοδος της ανάλυσης της παλινδρόμησης.

Συγκεκριμένα, η ανάλυση παλινδρόμησης επιδιώκει να προσδιορίσει τη σχέση μεταξύ μιας μεταβλητής που πρέπει να λάβει μια συνεχή αριθμητική τιμή, η οποία ονομάζεται εξαρτημένη μεταβλητή, και μιας ή περισσότερων άλλων μεταβλητών, οι οποίες ονομάζονται ανεξάρτητες μεταβλητές, που μπορεί να είναι οποιοδήποτε τύπου δεδομένων. Η εκτίμηση της σχέσης αυτών των μεταβλητών στοχεύει στη διερεύνηση του ερωτήματος εάν επηρεάζεται και με ποιο τρόπο η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής από την τιμή της ανεξάρτητης. (Βερούκιος Β. et al., 2019, σσ. 225-226)

Ο αντικειμενικός σκοπός της παλινδρόμησης είναι η εκτίμηση της αιτιώδους σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών και μέσω των πληροφοριών αυτών, η μετέπειτα προσπάθεια πρόβλεψης της αναμενόμενης συμπεριφοράς μιας μεταβλητής με βάση την εκάστοτε τιμή που λαμβάνεται από την άλλη μεταβλητή. Ωστόσο, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η σωστή κατανόηση των ποσοτικών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών.

Κύρια χαρακτηριστικά της ανάλυσης της παλινδρόμησης αποτελούν:

- Ύπαρξη κατεύθυνσης σχέσης εξάρτησης, με τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών να μην είναι πάντα εντελώς ορισμένες.
- Προσδιορισμός στατιστικών σχέσεων εξάρτησης, με τυχαίες μεταβλητές, οι τιμές των οποίων προσδιορίζονται από κατανομή πιθανοτήτων, και όχι με μη τυχαίες μεταβλητές.
- Να υφίσταται ποσοτική σχέση, δηλαδή γραμμικότητα ως προς τις παραμέτρους ή ως προς τις μεταβλητές. (Αγιακλόγλου & Μπένος, 2014, σσ. 217-218)

3.1.1 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Η απλούστερη περίπτωση παλινδρόμησης είναι η απλή γραμμική παλινδρόμηση, στην οποία υπάρχει μόνο μία ανεξάρτητη μεταβλητή X και μια εξαρτημένη μεταβλητή Y , η οποία μπορεί να προσεγγιστεί ικανοποιητικά με μια γραμμική συνάρτηση της X .

Το μοντέλο χαρακτηρίζεται ως απλό, επειδή συσχετίζει μόνο δύο μεταβλητές, και γραμμικό, καθώς γίνεται η υπόθεση ότι η μεταβλητή Y έχει μία γραμμική συσχέτιση με τη μεταβλητή X .

Στόχος της απλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι η πρόβλεψη των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής Y με βάση τις τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής X .

Η γραμμική παλινδρόμηση προϋποθέτει μια γραμμική σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών, που αντιπροσωπεύεται από μια ευθεία εξίσωση.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i, (i = 1, 2, \dots, n)$$

Όπου:

- Y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή.
- X είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή.
- β_0 είναι η σταθερά του μοντέλου, η οποία αναπαριστά την τιμή της Y όταν η X είναι μηδέν.
- β_1 είναι ο συντελεστής της X , ο οποίος δείχνει τη μεταβολή της Y , όταν μεταβάλλεται η X κατά μια μονάδα.
- ε_i είναι η τυπική απόκλιση ή τυχαίο σφάλμα, το οποίο αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ των πραγματικών τιμών της Y και των τιμών που προβλέπονται από το μοντέλο.
- n είναι ο αριθμός των τιμών της ανεξάρτητης μεταβλητής.

Οι παράμετροι β_0 και β_1 υπολογίζονται από τα δεδομένα, συνήθως χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, προσαρμόζοντας το μοντέλο με σκοπό η απόκλιση ε_i να ελαχιστοποιείται. (Κουτρουβέλης, 2000, σσ. 473-474)

Ειδικότερα, το τυχαίο σφάλμα ε_i του υποδείγματος, προσδιορίζεται από τους εξής παράγοντες:

- I. Άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές που δε συμπεριλήφθηκαν στο υπόδειγμα. Αν υπήρχαν περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές X , θα αυξανόταν το ποσοστό ερμηνείας της εξαρτημένης μεταβλητής Y , και κατά συνέπεια, όλου του υποδείγματος. Με αυτόν τον τρόπο, θα μειωνόταν η συμβολή της τυπικής απόκλισης ε_i από τον προσδιορισμό των τιμών της μεταβλητής Y .
- II. Μη – ποσοτικά μετρήσιμους παράγοντες. Η οικονομική θεωρία αποτελείται και από μεταβλητές οι οποίες δε μπορούν να προσδιοριστούν ποσοτικά, για παράδειγμα οι καιρικοί παράγοντες και η επίπτωση που έχουν στα γεωργικά προϊόντα. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα, στην περίπτωση εκτίμησης της ζήτησης ενός προϊόντος, οι καιρικοί παράγοντες θα αποτελούν μέρος των τιμών του τυχαίου σφάλματος.
- III. Λανθασμένη εκτίμηση του υποδείγματος. Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση της παλινδρόμησης, είναι απαραίτητο το οικονομετρικό υπόδειγμα που θα χρησιμοποιηθεί να είναι γραμμικό. Το σενάριο αυτό εφαρμόζεται όχι μόνο λόγω της απλότητάς του, αλλά και επειδή έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι πολλά φαινόμενα μπορούν να ερμηνευθούν ικανοποιητικά με γραμμικές σχέσεις. Ωστόσο, αν για κάποιο συγκεκριμένο φαινόμενο η υπόθεση της γραμμικότητας δεν εξηγεί ικανοποιητικά τη συμπεριφορά του, τότε η πιθανή συμμετοχή του τυχαίου σφάλματος ε_i στη διαμόρφωση των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής Y αναμένεται να είναι σημαντική. Σε τέτοιες περιπτώσεις, συνήθως απαιτείται η χρήση εναλλακτικών μεθόδων εκτίμησης, εκτός εάν το μη - γραμμικό μοντέλο μπορεί να μετασχηματιστεί σε γραμμικό.
- IV. Απρόσμενους τυχαίους παράγοντες. Γενικά, η συμπεριφορά του τυχαίου σφάλματος στην παλινδρόμηση, επηρεάζεται από όλους τους απρόβλεπτους παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν τη συμπεριφορά της εξαρτημένης μεταβλητής Y . Ο πόλεμος μεταξύ Ουκρανίας και Ρωσίας, για παράδειγμα, έφερε μεγάλες αλλαγές στην παγκόσμια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

(Αγιακλόγλου & Μπένος, 2014, σσ. 245-246)

Στην ανάλυση της παλινδρόμησης, θα πρέπει να σημειωθεί, ότι το απλό γραμμικό υπόδειγμα έχει τρία χαρακτηριστικά.

Αρχικά, παρά το γεγονός ότι η ανάλυση της παλινδρόμησης υποθέτει την κατεύθυνση της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών που εξετάζονται και την ποσοτική της προσδιορισμένη αξία, οι συνδέσεις μεταξύ αυτών των μεταβλητών που ερμηνεύουν τη συμπεριφορά ενός οικονομικού φαινομένου δεν είναι πάντα ξεκάθαρα καθορισμένες.

Επιπλέον, το δεύτερο χαρακτηριστικό του υποδείγματος αφορά τη μορφή της εξάρτησης. Συγκεκριμένα, μέσω της ανάλυσης της παλινδρόμησης, αντικείμενο αναζήτησης αποτελούν οι στατιστικές σχέσεις εξάρτησης μεταξύ των μεταβλητών, και όχι οι προσδιοριστικές. Στις στατιστικές σχέσεις εξάρτησης, οι χρησιμοποιούμενες μεταβλητές είναι τυχαίες ή στοχαστικές, δηλαδή οι τιμές τους καθορίζονται από μια κατανομή πιθανοτήτων. Αντίθετα, στις προσδιοριστικές, οι χρησιμοποιούμενες μεταβλητές δεν είναι τυχαίες ή στοχαστικές.

Τέλος, το τρίτο χαρακτηριστικό αφορά το είδος της ποσοτικής σχέσης προσδιορισμού, δηλαδή τη γραμμικότητα του υποδείγματος. Η γραμμικότητα του υποδείγματος μπορεί να ερμηνευτεί ως γραμμικότητα ως προς τις παραμέτρους ή ως προς τις μεταβλητές. Για παράδειγμα, τα υποδείγματα $Y = \alpha + \beta X^2$ και $Y = \alpha + \beta^2 X$ θεωρούνται γραμμικά ως προς τις παραμέτρους και ως προς τις μεταβλητές αντίστοιχα. Η ανάλυση της παλινδρόμησης με τον όρο "γραμμικό υπόδειγμα" αναφέρεται αποκλειστικά σε εκείνη την κατηγορία υποδειγμάτων, τα οποία είναι γραμμικά ως προς τις παραμέτρους τους, ενώ μπορεί να μην είναι γραμμικά ως προς τις μεταβλητές τους. Δηλαδή, ακόμα και αν το υπόδειγμα είναι γραμμικό ως προς τις παραμέτρους του, δεν είναι απαραίτητο να είναι γραμμικό ως προς τις μεταβλητές του. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η ανάλυση της παλινδρόμησης δεν εξετάζει μη γραμμικά υποδείγματα. (Αγιακλόγλου & Μπένος 2014, σσ. 239-241)

Επιπλέον, σύμφωνα με τους Αγιακλόγλου & Μπένος (2014, σσ. 251), το απλό γραμμικό υπόδειγμα, καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούνται οι τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής Y . Πιο αναλυτικά, οι τιμές Y_i της εξαρτημένης μεταβλητής Y , για κάθε $i = 1, 2, \dots, n$, προσδιορίζονται από δύο μέρη.

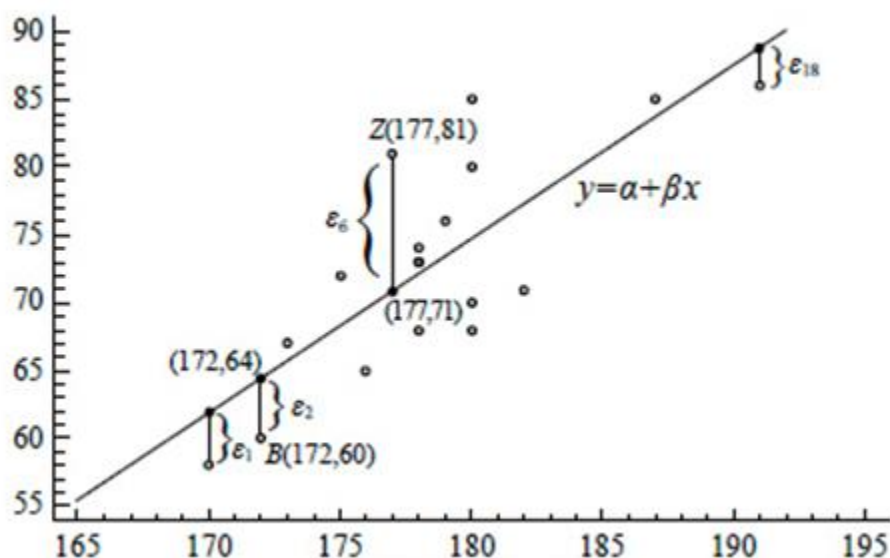
Αρχικά, από το συστηματικό μέρος, δηλαδή από τον όρο $\beta_0 + \beta_1 X_i$. Όσο ισχυρότερη είναι η σχέση εξάρτησης μεταξύ των δύο μεταβλητών X και Y , τόσο πιο ακριβείς είναι οι προβλέψεις της εξαρτημένης μεταβλητής μέσω του συστηματικού μέρους. Δηλαδή, η τιμή που προσδιορίζεται από το συστηματικό μέρος $\beta_0 + \beta_1 X_i$, θα προσεγγίζει την πραγματική τιμή Y της εξαρτημένης μεταβλητής Y για κάθε $i = 1, 2, \dots, n$.

Τέλος, οι τιμές της Y καθορίζονται και από το τυχαίο μέρος, δηλαδή από το ε_i . Αν το συστηματικό μέρος δεν δύναται να προσδιορίσει με βεβαιότητα τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής Y , γεγονός το οποίο σημαίνει ότι η σχέση εξάρτησης των μεταβλητών X και Y είναι ασθενής, τότε οι τιμές Y καθορίζονται κυρίως από το τυχαίο μέρος, δηλαδή από τις τιμές του τυχαίου σφάλματος ε_i .

$$Y_i = \underbrace{\beta_0 + \beta_1 X_i}_{\text{Συστηματικό Μέρος}} + \underbrace{\varepsilon_i}_{\text{Τυχαίο Μέρος}}$$

Εικόνα 3.1: Συστηματικό και Τυχαίο Μέρος Απλού Γραμμικού Υποδείγματος

Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι, επειδή οι παράμετροι β_0 και β_1 του υποδείγματος είναι άγνωστοι, χρειάζεται να βρεθεί ένας τρόπος, με τον οποίο να δημιουργηθούν οι εκτιμήσεις των αριθμών αυτών, οι οποίες να πλησιάζουν όσο πιο πολύ γίνεται στις πραγματικές πληθυσμιακές τιμές των παραμέτρων. Τη λύση σε αυτό το πρόβλημα, έρχεται να δώσει η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων.



Διάγραμμα 3.1: Ευθεία Ελαχίστων Τετραγώνων

Πηγή: Άγγελος, Μ. (2014). Μοντέλα Παλινδρόμησης.

Η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων, γνωστή και ως OLS, αποτελεί μια τεχνική, η οποία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των παραμέτρων β_0 και β_1 και την εύρεση της εξίσωσης της καλύτερης ευθείας παλινδρόμησης που προσαρμόζεται στα δεδομένα. Αυτό συμβαίνει διότι, η ελαχιστοποίηση προέρχεται από άθροισμα τετραγώνων και εξαιτίας της ύψωσης στο τετράγωνο, οι μικρές τιμές των καταλοίπων αξιολογούνται πολύ λιγότερο από τις μεγάλες τιμές. Η πρώτη αναφορά σε αυτήν τη μέθοδο, με την πλήρη ανάπτυξη του όρου, παρατίθεται το 1805 σε έργο του Γάλλου μαθηματικού Legendre (1752-1833), ενώ ο Γερμανός μαθηματικός Gauss (1777-1855) τη χρησιμοποίησε στο έργο του σχετικά με την αστρονομία "Theoria Motus" για τον προσδιορισμό της τροχιάς του μικρού πλανήτη Δήμητρα.

Η μέθοδος αυτή, συνίσταται στον προσδιορισμό των παραμέτρων, με σκοπό να ελαχιστοποιείται το άθροισμα των τετραγώνων των κατακόρυφων αποστάσεων των σημείων (X_i, Y_i) από την ευθεία $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$, με την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των τυχαίων σφαλμάτων.

Οι τιμές των παραμέτρων β_0 και β_1 , που ελαχιστοποιούν την εξίσωση του απλού γραμμικού υποδείγματος, ονομάζονται εκτιμητές ελαχίστων τετραγώνων, συμβολίζονται με β_0 καπέλο ($\widehat{\beta}_0$) και β_1 καπέλο ($\widehat{\beta}_1$) αντίστοιχα και δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\widehat{\beta}_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

$$\widehat{\beta}_0 = \bar{Y} - \widehat{\beta}_1 \bar{X}$$

Όπου $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ και $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$

Τέλος, η ευθεία $\widehat{Y}_i = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 X_i$ ονομάζεται ευθεία ελαχίστων τετραγώνων ή ευθεία παλινδρόμησης της Y (πάνω) στη X .

(ΚΑΡΑΜΑΝΟΣ, 2022, σσ. 17-18)

3.1.2 Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Η πολλαπλή παλινδρόμηση αποτελεί μια μορφή επέκτασης της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, καθώς η μοναδική διαφορά, αφορά μόνο τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών που εμπεριέχονται στο συστηματικό μέρος, και μελετά τη σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής Y και δύο ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών X_1, X_2, \dots, X_k . Η εξίσωση έχει την παρακάτω μορφή:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon, (i = 1, 2, \dots, n)$$

με $n \geq k + 1$, όπου k είναι ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Κάθε ένας από τους συντελεστές β του υποδείγματος, δηλώνει τη μερική αναμενόμενη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής Y , όταν η σχετιζόμενη ανεξάρτητη μεταβλητή X αλλάξει κατά μία μονάδα, ενώ οι υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές παραμένουν σταθερές. Το πρόσημο του κάθε συντελεστή δείχνει την κατεύθυνση της σχέσης ανάμεσα στην εξαρτημένη μεταβλητή Y και την αντίστοιχη ανεξάρτητη μεταβλητή X που αντιπροσωπεύει. Αν είναι θετικό, υποδεικνύει θετική σχέση, ενώ αν είναι αρνητικό, υποδεικνύει αρνητική σχέση.

Σε οποιοδήποτε μοντέλο παλινδρόμησης, ο υπολογισμός των άγνωστων παραμέτρων και η επακόλουθη εξαγωγή της εξίσωσης που συνδέει τις ανεξάρτητες μεταβλητές με τις εξαρτημένες, είναι αρκετά περίπλοκος, καθώς οι μέθοδοι ανάλυσης προσπαθούν να εκτιμήσουν όλους τους συντελεστές β του μοντέλου, από τα δεδομένα του συνόλου, με σκοπό το μοντέλο παλινδρόμησης να ταιριάζει με τις παρατηρούμενες τιμές του συνόλου των δεδομένων όσο το δυνατόν περισσότερο. (Κουτρουβέλης, 2000, σσ. 523-524)

Όπως στο απλό γραμμικό υπόδειγμα, έτσι κι εδώ, το πολλαπλό γραμμικό υπόδειγμα αποτελείται από δύο μέρη. Αρχικά, από το συστηματικό μέρος, δηλαδή από τον όρο $\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k$ και έπειτα, από το τυχαίο μέρος ε .

Έτσι, όσο καλύτερα οι τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών επηρεάζουν τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής, τόσο πιο κοντά πρέπει να είναι το συστηματικό μέρος της εξαρτημένης μεταβλητής στις πραγματικές τιμές. Σε περίπτωση όπου οι δύο αυτοί όροι ταυτίζονται, το τυχαίο σφάλμα ε θα έπρεπε να είναι μηδέν. Ωστόσο, αν το συστηματικό μέρος, δεν είναι σε θέση να προβλέψει ακριβώς τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής, τότε το τυχαίο σφάλμα έχει πρωταρχικό ρόλο στην πρόβλεψη των τιμών της μεταβλητής Y .

Σύμφωνα με τους Αγιακλόγλου & Οικονόμου (2019, σσ. 187-188), στην ανάλυση της παλινδρόμησης, βασικό αντικείμενο διερεύνησης αποτελεί ο ποσοτικός βαθμός κατά τον οποίο οι ανεξάρτητες μεταβλητές ενός πολλαπλού γραμμικού υποδείγματος, επηρεάζουν στατιστικά σημαντικά τον τρόπο δημιουργίας των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής.

Ο έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας μπορεί να συμβεί με την διερεύνηση κάθε συντελεστή β_k ξεχωριστά, ή με τον έλεγχο της ταυτόχρονης στατιστικής σημαντικότητας όλων μαζί των συντελεστών. Ο έλεγχος για κάθε συντελεστή ξεχωριστά γίνεται μέσω της μηδενικής υπόθεσης H_0 , και μέσω αριθμητικών πράξεων εξάγεται το αποτέλεσμα. Αν ισχύει η υπόθεση H_0 , τότε ο συντελεστής β_k δεν είναι στατιστικά σημαντικός, διαφορετικά, σε περίπτωση κατά την οποία απορρίπτεται η υπόθεση H_0 , τότε ο β_k είναι στατιστικά σημαντικός.

Από την άλλη πλευρά, ο έλεγχος ταυτόχρονης στατιστικής σημαντικότητας διαφέρει από τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας για κάθε συντελεστή μεμονωμένα, τόσο ως προς την εφαρμογή όσο και ως προς το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Όταν κάθε συντελεστής β_k ενός πολλαπλού γραμμικού υποδείγματος είναι στατιστικά σημαντικός, αυτό υποδεικνύει ότι κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή X που χρησιμοποιήθηκε στο υπόδειγμα, επηρεάζει σημαντικά την εξαρτημένη μεταβλητή Y . Ωστόσο, στην αντίθετη περίπτωση όπου, κάθε συντελεστής β_k του υποδείγματος δεν είναι στατιστικά σημαντικός ξεχωριστά, δεν συνάδει απαραίτητα ότι καμία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές X δεν επηρεάζει σημαντικά την εξαρτημένη μεταβλητή Y , αν δεν επιβεβαιωθεί από τον ταυτόχρονο έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας όλων των συντελεστών του υποδείγματος. Συνεπώς, η επιλογή μεταβλητών και ο έλεγχος της ταυτόχρονης σημαντικότητας των συντελεστών είναι κρίσιμοι για τη σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, στον έλεγχο της ταυτόχρονης στατιστικής σημαντικότητας των συντελεστών ενός πολλαπλού γραμμικού υποδείγματος με k ανεξάρτητες μεταβλητές, ελέγχεται η υπόθεση ότι οι συντελεστές των k ανεξάρτητων μεταβλητών X είναι μηδέν συλλογικά. Βασικό εργαλείο για την ανάλυση αυτή είναι η τιμή της στατιστικής F , η οποία υπολογίζεται από τον πίνακα ανάλυσης της διακύμανσης (ANOVA), ο οποίος παρουσιάζει συνοπτικά, τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης που αφορούν τις τιμές των αθροισμάτων των τετραγώνων.

Πίνακας 3.1: Πίνακας Ανάλυσης Διακύμανσης (ANOVA)

Πηγή Διακύμανσης	Άθροισμα Τετραγώνων	Βαθμοί Ελευθερίας	Μέσο Άθροισμα Τετραγώνων	Στατιστική F
Παλινδρόμηση	SSR	k	$MSR = SSR/k$	$F = \frac{MSR}{MSE}$
Κατάλοιπα	SSE	$n - k - 1$	$MSE = SSE/(n - k - 1)$	
Σύνολο	$SST = SSR + SSE$	$n - 1$		

Όπου:

- SSR είναι το άθροισμα των τετραγώνων της παλινδρόμησης, το οποίο εκφράζει τις διαφορές μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής και του μέσου όρου της.
- SSE είναι το άθροισμα των τετραγώνων των καταλοίπων, το οποίο εκφράζει τη διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής, η οποία δεν εξηγείται από το παρόν μοντέλο.
- SST είναι το συνολικό άθροισμα των τετραγώνων, το οποίο εκφράζει το σύνολο των αποκλίσεων των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής από τη μέση τιμή της.
- k είναι το πλήθος των ανεξαρτήτων μεταβλητών.
- n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων.
- MSR είναι το μέσο άθροισμα των τετραγώνων από την παλινδρόμηση.
- MSE είναι το μέσο άθροισμα των τετραγώνων των καταλοίπων.
- F είναι η τιμή του στατιστικού δείκτη F.

Επίσης, σημαντικό ρόλο στην ανάλυση αυτή έχει και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 (αναλύεται εκτενέστερα στην ενότητα 3.2), ο οποίος σε όρους διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής, ορίζεται ως: $R^2 = \frac{SSR}{SSE} = 1 - \frac{SSE}{SST}$

Συνεπώς, η στατιστική F ορίζεται και ως: $F = \frac{R^2}{1-R^2} \times \frac{n-k-1}{k}$

Γεγονός το οποίο σημαίνει ότι, η στατιστική F εξαρτάται από την τιμή του συντελεστή προσδιορισμού R^2 , δηλαδή όσο μεγαλύτερη η τιμή του R^2 , τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η τιμή της στατιστικής F και αντίστροφα. Τέλος, όσο μικρότερη η τιμή της F, γίνεται δεκτή η υπόθεση μηδέν, δηλαδή οι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι ταυτόχρονα μηδέν και το παρόν υπόδειγμα δεν έχει ερμηνευτική ικανότητα.

3.2 Άλλα Στατιστικά Εργαλεία

- **F-test:** Ο έλεγχος F-test είναι ένας έλεγχος ο οποίος εφαρμόζεται στα μοντέλα της παλινδρόμησης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της απόκλισης του μοντέλου $Y = a + bX$ από το σταθερό $Y = a$ και κατά πόσο διαφέρει από αυτό. Όταν το F-test είναι σχετικά υψηλό, υποδηλώνει ότι τουλάχιστον ένα από τα προβλεπόμενα χαρακτηριστικά είναι σημαντικό για την εξήγηση της διακύμανσης στην απόκριση. Επίσης, οι δοκιμές του F-test είναι χρήσιμες για τον προσδιορισμό της σημαντικότητας των διαφορών ή των σχέσεων σε σύνολα δεδομένων δηλαδή, χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει τη σημαντικότητα του μοντέλου της παλινδρόμησης συνολικά. Ο έλεγχος γίνεται σε επίπεδο σημαντικότητας με τη σύγκριση της τιμής της F με την μηδενική υπόθεση, στην οποία $\alpha = 0,05$, όπου τουλάχιστον ένα β_i δεν είναι ίσο με το μηδέν σε επίπεδο σημαντικότητας α . Αν ισχύει η μηδενική υπόθεση, με τους υπόλοιπους συντελεστές να είναι μηδέν, τότε το μοντέλο της παλινδρόμησης δεν είναι άξιο περιγραφής. (Φουσκάκης, 2014, σσ. 44-45)
- **Συντελεστής Προσδιορισμού R^2 :** Στα γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης, η ποσότητα $R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$ ονομάζεται συντελεστής προσδιορισμού, ο οποίος παίρνει μια τιμή σε ένα διάστημα από 0 έως και 1, και αντιπροσωπεύει το ποσοστό του βαθμού διασποράς της τυχαίας μεταβλητής Y , η οποία εξηγείται από το μοντέλο της παλινδρόμησης. Επίσης, στο μοντέλο αυτό, αποδεικνύεται ότι, η παραπάνω ποσότητα είναι ίση με το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης του δείγματος, r . Γενικά, όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής προσδιορισμού, τόσο ισχυρότερη είναι η γραμμική σχέση μεταξύ των τυχαίων μεταβλητών Y και X , υποθέτοντας ότι το γραμμικό μοντέλο είναι κατάλληλο. Επίσης, όσο πιο κοντά βρίσκεται στη μονάδα, το μοντέλο μπορεί να είναι εντελώς εσφαλμένο, ενώ όσο πιο κοντά βρίσκεται στο μηδέν, οι ανεξάρτητες μεταβλητές δεν ερμηνεύουν ικανοποιητικά την εξαρτημένη μεταβλητή. (Φουσκάκης, 2014, σ. 23)
- **P-Value:** Το P-value (τιμή-P) είναι ένα στατιστικό μέτρο, το οποίο χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση της σημαντικότητας μιας στατιστικής διαφοράς ή της σχέσης μεταξύ διαφόρων μεταβλητών σε ένα σύνολο δεδομένων. Συνήθως, η τιμή-P συγκρίνεται με ένα προκαθορισμένο επίπεδο σημαντικότητας (αποδεκτό επίπεδο σφάλματος) για να αποφασίσει εάν πρέπει

να απορριφθεί ή όχι η μηδενική υπόθεση, η οποία είναι μια διακήρυξη ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά ή σχέση. Εάν η τιμή-P είναι μικρότερη από το επίπεδο σημαντικότητας, δηλαδή το ποσοστό πιθανότητας που είναι αποδεκτό ως επίπεδο σφάλματος (συνήθως 5% ή 0,05), τότε απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και τα αποτελέσματα θεωρούνται στατιστικά σημαντικά. Αν, όμως, η τιμή-P είναι μεγαλύτερη από το επίπεδο σημαντικότητας, τότε τα στοιχεία δεν επαρκούν για την απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης. (Μητρόπουλος, 2009), (Παπαδόπουλος, 2015, σσ. 357-358)

- **Διαγράμματα Διασποράς (Scatterplots):** Τα διαγράμματα διασποράς είναι ένα εργαλείο για την οπτικοποίηση της σχέσης μεταξύ δύο συνεχών μεταβλητών, όπως για παράδειγμα, στη συγκεκριμένη κατάσταση, οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας και οι τιμές του χρηματιστηρίου ενέργειας. Σε αυτά τα διαγράμματα, κάθε παρατήρηση αναπαρίσταται σε ένα δισδιάστατο σύστημα αξόνων, όπου κάθε άξονας αντιστοιχεί σε μια μεταβλητή. Από τη διανομή των σημείων στο επίπεδο, πραγματοποιείται η πληροφοριών σχετικά με τη συσχέτιση των δύο μεταβλητών. Τα διαγράμματα διασποράς είναι ιδιαίτερα χρήσιμα πριν από τον έλεγχο της ύπαρξης σχέσης συσχέτισης, καθώς δίνουν μια εικόνα για το είδος της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών. Ο έλεγχος της γραμμικής συσχέτισης είναι εφικτός μόνο αν οι μεταβλητές συνδέονται γραμμικά. Επιπλέον, δείχνουν αν οι μεταβλητές συσχετίζονται θετικά (όταν μια μεταβλητή αυξάνεται, αυξάνεται και η άλλη) ή αρνητικά (όταν μια αυξάνεται, η άλλη μειώνεται). Τέλος, παρέχουν μια εικόνα της έντασης της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών. Αν η σχέση είναι ασθενής, τα σημεία είναι διασκορπισμένα σε όλο το επίπεδο, ενώ αν είναι ισχυρή, τα σημεία σχηματίζουν μια ζώνη γύρω από μια γραμμή. (Συμεωνάκη, 2015, σσ. 191-192)
- **Microsoft Excel:** Το Microsoft Excel αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά προγράμματα υπολογισμού και ανάλυσης δεδομένων, παρέχοντας, ωστόσο, μια τεράστια συλλογή από βοηθητικές συναρτήσεις αριθμητικών και λογικών λειτουργιών, διαγράμματα και μακροεντολές για την αυτοματοποίηση εργασιών.

3.3 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

- Άγγελος, Μ. (2014). *Μοντέλα Παλινδρόμησης*. Ανάκτηση από <http://www.amarkos.gr/courses/mathmode/Regression%20Models.pdf>
- Αγιακλόγλου, Χ & Μπένος, Θ. (2014). *Αρχές Οικονομικής Ανάλυσης*. Αθήνα: Ε. Μπένου.
- Αγιακλόγλου, Χ & Οικονόμου, Γ. (2019). *Μέθοδοι Προβλέψεων & Ανάλυσης Αποφάσεων*. Αθήνα: Ε. Μπένου.
- Βερούκιος, Β., Σταυρόπουλος, Η., Κωτσιαντής, Σ. & Τζαγκαράκης, Μ. (2019) *Η Επιστήμη των Δεδομένων: Βασικές Αρχές, Θεωρία & Εφαρμογές με τη Γλώσσα R*. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών
- ΚΑΡΑΜΑΝΟΣ, Α. Α. (2022). *Μοντέλα παλινδρόμησης*.
- Κουτροβέλης, Ι. (1999). *Πιθανότητες και Στατιστική II*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοιχτό Πανεπιστήμιο.
- Μητρόπουλος, Ι. (2009). *Στατιστική Επιχειρήσεων Ειδικά Θέματα*. Αθήνα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας
- Παπαδόπουλος, Γ. (2015). *Στατιστικός Έλεγχος Υποθέσεων*. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Συμεωνάκη, Μ. (2015). *Στατιστική για όλους με το SPSS*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σοφία.
- Φουσκάκης, Δ. (2014). *Ανάλυση Δεδομένων με χρήση του Στατιστικού Πακέτου R*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Κεφάλαιο 4^ο: Μελέτη Πιθανών Σεναρίων Βελτίωσης

Εξαιτίας των μικρών τιμών που έδωσε ο Πίνακας 2.1, είναι δύσκολη η εξαγωγή κάποιου συμπεράσματος με βάση τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα, καθώς ο συντελεστής συσχέτισης, R Τετράγωνο, ερμηνεύει μόνο το 4,6% των τιμών. Για το λόγο αυτό, τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν σε καταγραφές ανά ημέρα, αλλάζοντας την αρχική έρευνα η οποία τελέσθηκε σε μορφή ανά ώρα, με σκοπό να μειωθεί ο αριθμός των ακραίων τιμών και να γίνει εξαγωγή ενός καλύτερου αποτελέσματος.

Για την επίτευξη της ομαδοποίησης, δημιουργήθηκαν πέντε νέες στήλες. Αρχικά, η Κ με τίτλο «Date», στην οποία αναγράφονται οι ημερομηνίες του έτους 2022. Έπειτα ακολούθησαν οι στήλες L και M, με τίτλο «Total Consumption MW per Day» και «Avg Price €/mwh per Day» αντίστοιχα, αναφέροντας τη συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας και τη μέση τιμή μεγαβατώρας ανά ημέρα, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν τις ημέρες της στήλης Κ. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι η ομαδοποίηση των δεδομένων επετεύχθη με τη χρήση της συνάρτησης $SUM(OFFSET(\$E\$2; (ROW() - ROW(\$L\$2)) * 24; 0; 24; 1))$, η οποία αθροίζει ανά 24 γραμμές τα δεδομένα της στήλης E, ξεκινώντας από το στοιχείο E2, και τα παραθέτει στη στήλη L, ξεκινώντας από το στοιχείο L2. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε η στήλη N, με τίτλο «Consumption €/mwh per Day», στην οποία αναγράφεται το καθημερινό κόστος ενέργειας, το οποίο αποτελεί το γινόμενο των στηλών L και M για την εκάστοτε χρονική στιγμή της στήλης Κ. Τέλος, με βάση τα δεδομένα της στήλης N, δημιουργήθηκε η στήλη O, η οποία ονομάζεται «Year Sum (Day Method)», και αποτελεί το άθροισμα των στοιχείων από το κελί N2 έως το κελί N366 της στήλης N, έχοντας ως αποτέλεσμα το συνολικό ετήσιο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για την περίοδο 2022 FY (Full Year). Αξιοσημείωτη αποτελεί η απόκλιση αυτής της μεθόδου σε σχέση με την προηγούμενη, όσον αφορά το συνολικό ετήσιο κόστος, καθώς το αποτέλεσμα της ημερήσιας μεθόδου είναι 40.536.980,58 €, δηλαδή 111.914€ λιγότερα από το αποτέλεσμα της ωριαίας μεθόδου, το οποίο είναι 40.648.894 €.

Πίνακας 4.1: Παλινδρόμηση Ημερήσιων Δεδομένων

ΈΞΟΔΟΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ								
Στατιστικά παλινδρόμησης								
Πολλαπλό R		0,270314061						
R Τετράγωνο		0,073069692						
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο		0,070516165						
Τυπικό σφάλμα		88,9342141						
Μέγεθος δείγματος		365						
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ								
	βαθμοί ελευθερίας	SS	MS	F	Σημαντικότητα F			
Παλινδρόμηση	1	226326,0591	226326,0591	28,61520213	1,56637E-07			
Υπόλοιπο	363	2871073,881	7909,294438					
Σύνολο	364	3097399,94						
	Συντελεστές	Τυπικό σφάλμα	t	τιμή-P	Κατώτερο 95%	Υψηλότερο 95%	Κατώτερο 95,0%	Υψηλότερο 95,0%
Τεταγμένη επί την αρχή	226,0726151	11,17731553	20,22602069	1,86076E-61	204,0921934	248,0530368	204,0921934	248,0530368
Total Consumption MW per Day	0,142841714	0,02670279	5,349317913	1,56637E-07	0,090330126	0,195353302	0,090330126	0,195353302

Όπως διαφαίνεται στον παραπάνω πίνακα, η σημαντικότητα της F είναι $1,56637 \cdot 10^{-07}$, αριθμός μικρότερος από το 5% ($0,05 > 1,56637 \cdot 10^{-07}$), γεγονός το οποίο σηματοδοτεί τη στατιστική σημαντικότητα της ημερήσιας κατανάλωσης ανά MWH στη μέση τιμή € ανά MWH ημέρας. Επιπλέον, ο συντελεστής συσχέτισης, R Τετράγωνο, έχει τιμή 0,073069692. Αυτό σημαίνει ότι, η μεταβλητότητα του ύψους των ημερήσιων συνολικών τιμών κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά MWH ερμηνεύει το 7,3% της μεταβλητότητας των μέσων καθημερινών τιμών € ανά MWH. Επιπλέον, με βάση την τιμή-P, τόσο η σταθερά (*Τεταγμένη επί την αρχή* = $1,86076 \cdot 10^{-61}$), όσο και η κλίση (*Avg Consumption MW* = $1,56637 \cdot 10^{-07}$) είναι στατιστικά σημαντικές, καθώς οι συγκεκριμένοι αριθμοί είναι πολύ μικρότεροι από το 5%. Τέλος, η γραμμική εξίσωση της παρούσας σχέσης, με βάση τα ανωτέρω δεδομένα, είναι η $Y = 226,07 + 0,14X$, γεγονός που επισημαίνει την ύπαρξη της θετικής σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών.

4.1 Σενάριο Α': Μεταφορά της Παραγωγής 6 ώρες νωρίτερα

Με τη βοήθεια των διαγραμμάτων 2.5, Μέση Κατανάλωση MWH ανά ώρα, και 2.6, Τιμή € ανά MWH, σχεδιάστηκε το πρώτο σενάριο βελτιστοποίησης, το οποίο αφορά τη μεταφορά του προγράμματος της παραγωγής κατά έξι ώρες νωρίτερα. Συγκεκριμένα, χάρη στο διάγραμμα 2.5, παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στην ημέρα γίνεται τις ώρες 9 π.μ. έως 12 μ.μ., ενώ, χάρη στο διάγραμμα 2.6, παρατηρήθηκε ότι οι τιμές του χρηματιστηρίου ενέργειας είναι χαμηλές τις ώρες 3 π.μ. έως 6 π.μ.. Οπότε, με τη μεταφορά της παραγωγής έξι ώρες νωρίτερα, οι μεγαλύτερες καταναλώσεις ενέργειας θα συμπίπτουν με τις χαμηλότερες τιμές της αγοράς.

Πίνακας 4.2: Παλινδρόμηση Σεναρίου Α' (Μεταφορά παραγωγής 6 ώρες νωρίτερα)

ΕΞΟΔΟΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ								
<i>Στατιστικά παλινδρόμησης</i>								
Πολλαπλό R		0,276179366						
R Τετράγωνο		0,076275042						
Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο		0,073730345						
Τυπικό σφάλμα		88,78031246						
Μέγεθος δείγματος		365						
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ								
	βαθμοί ελευθερίας	SS	MS	F	Σημαντικότητα F			
Παλινδρόμηση	1	236254,3112	236254,3112	29,9741174	8,18678E-08			
Υπόλοιπο	363	2861145,629	7881,943881					
Σύνολο	364	3097399,94						
	Συντελεστές	Τυπικό σφάλμα	t	τιμή-P	Κατώτερο 95%	Υψηλότερο 95%	Κατώτερο 95,0%	Υψηλότερο 95,0%
Τεταγμένη επί την αρχή	225,0442892	11,13287748	20,21438658	2,079E-61	203,1512559	246,9373226	203,1512559	246,9373226
Total Consumption MW per Day	0,145610038	0,026596109	5,474862318	8,18678E-08	0,093308239	0,197911836	0,093308239	0,197911836

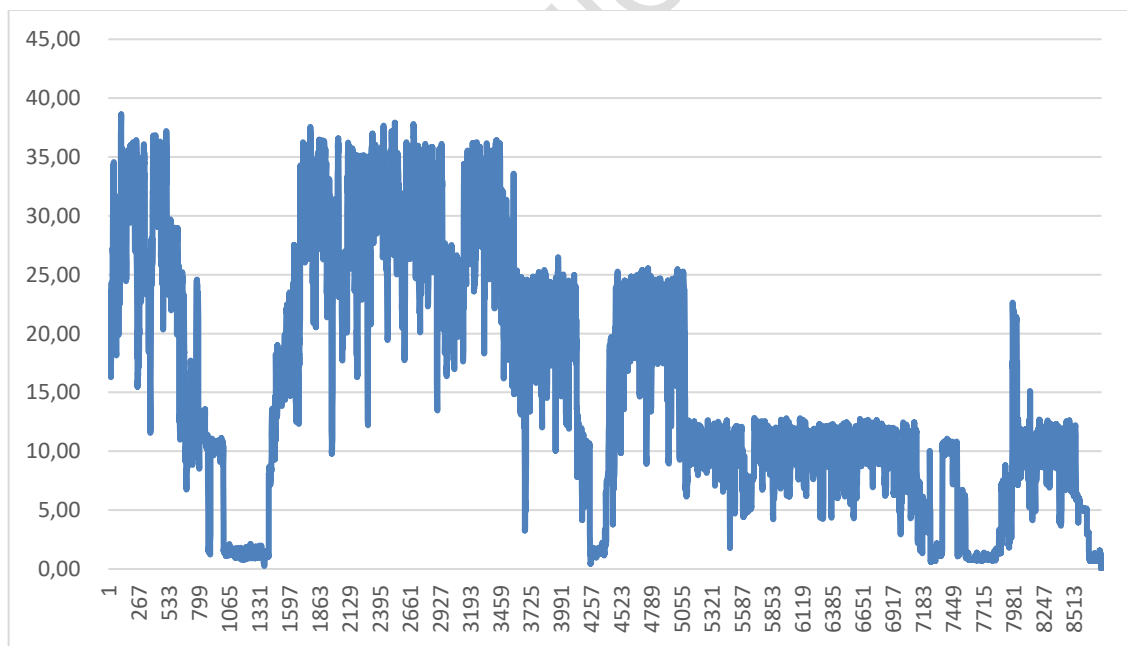
Σύμφωνα με τα παραπάνω, η σημαντικότητα της F έγινε $8,18678^{-08}$ και ο συντελεστής συσχέτισης, R Τετράγωνο, έχει τιμή 0,076275042. Αυτό σημαίνει ότι, η μεταβλητότητα του ύψους των ημερήσιων συνολικών τιμών κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά MWH ερμηνεύει το 7,6% της μεταβλητότητας των μέσων καθημερινών τιμών € ανά MWH. Τέλος, τα συνολικά έξοδα μειώθηκαν από 40.648.894 € σε 40.557.347,68 €.

4.1.1 Υποπερίπτωση Ι: Αύξηση της Παραγωγής τους μήνες με μικρότερες τιμές

Για να βελτιωθεί το τελικό αποτέλεσμα, έχει ληφθεί ως βοηθητικό μέσο το διάγραμμα 2.6: Τιμή € ανά MWH, σύμφωνα με το οποίο, οι τιμές του χρηματιστηρίου ενέργειας

είναι χαμηλές μέχρι τα μέσα Ιουνίου και αυξάνονται από τον Ιούλιο και έπειτα. Επίσης, με βάση το διάγραμμα 2.5: Μέση Κατανάλωση MWH ανά ώρα, παρατηρείται ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει σταθερή, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με μόνη εξαίρεση τις τρεις περιόδους, στις οποίες πραγματοποιείται μια παύση της παραγωγής. Εξαιρώντας λοιπόν τους μήνες Φεβρουάριο και Νοέμβριο, κατά τους οποίους, η κατανάλωση ενέργειας είναι σημαντικά μικρότερη, και τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο, οι οποίοι είναι πιθανές περιόδους μη προγραμματισμένης βλάβης, απομένουν 8 μήνες σταθερής παραγωγής. Οι πρώτοι τέσσερις, οι οποίοι είναι ο Ιανουάριος, ο Μάρτιος, ο Απρίλιος και ο Μάιος, τοποθετούνται στη χρονική περίοδο, κατά την οποία, οι τιμές του χρηματιστηρίου ενέργειας είναι σχετικά χαμηλές. Από την άλλη πλευρά, οι επόμενοι τέσσερις μήνες, Αύγουστος, Σεπτέμβριος, Οκτώβριος και Δεκέμβριος, τοποθετούνται στη χρονική περίοδο με υψηλές τιμές.

Με βάση τα ανωτέρω, θα διερευνηθεί η πιθανότητα μείωσης της παραγωγής των μηνών που βρίσκονται στις υψηλές τιμές και η προσθήκη των αφαιρουμένων μονάδων, στις τιμές των μηνών με τις χαμηλές τιμές.



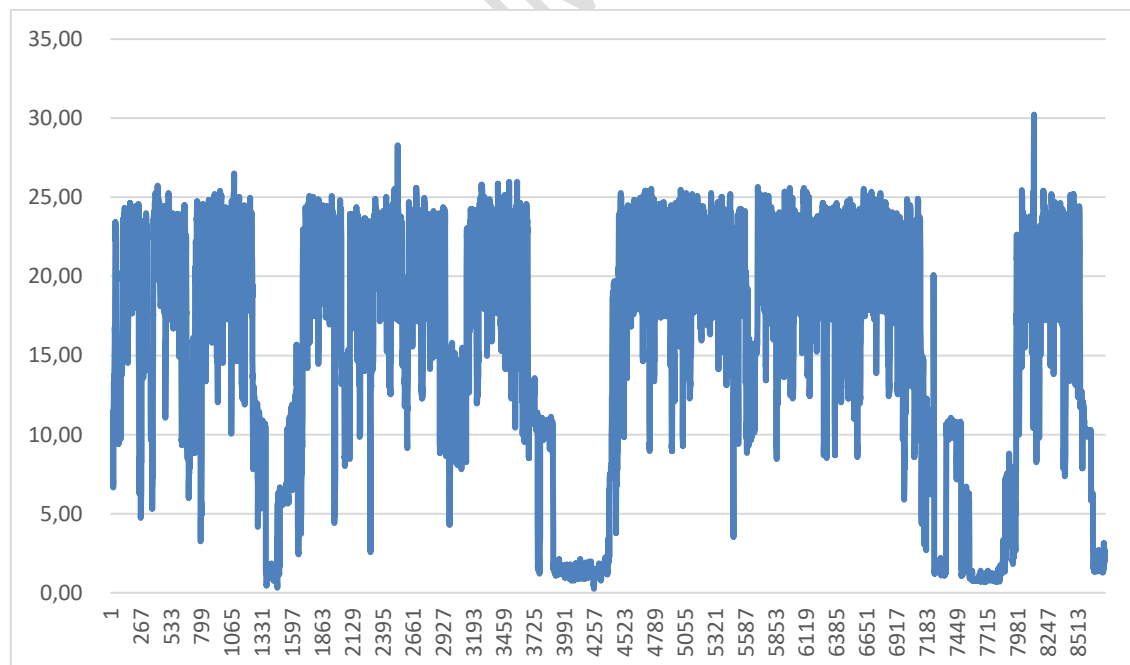
Διάγραμμα 4.1: Μέση Κατανάλωση MWH ανά ώρα (Περίπτωση Αύξησης της Παραγωγής τους μήνες με μικρότερες τιμές)

Όπως παρατηρείται, με την κίνηση αυτή, η παραγωγή αυξάνεται το πρώτο εξάμηνο του έτους και μειώνεται το δεύτερο. Στο πρώτο μισό, οι τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κινούνται σε διάστημα μεταξύ του 10 και του 40, ενώ στο δεύτερο μισό,

μεταξύ του 5 και του 15, με μερικές εξαιρέσεις, οι οποίες είναι μεταξύ του 20 και 25. Αποτέλεσμα της υποπερίπτωσης αυτής αποτελεί η μείωση των κοστών από 40.557.347,68 € σε 37.608.209,80 €.

4.1.2 Υποπερίπτωση II: Μετακίνηση Προγραμματισμένης Επισκευής από Φεβρουάριο σε Ιούνιο

Άλλη μια βελτίωση που θα μπορούσε να εφαρμοστεί στο παραπάνω πρόγραμμα, είναι η αλλαγή των μηνών των προγραμματισμένων επισκευών. Ο Νοέμβριος θα παραμείνει σταθερός, λόγω των υψηλών τιμών του χρηματιστηρίου και λόγω τέλους του έτους, αλλά ο Φεβρουάριος έχει πιθανότητες να μεταβληθεί για δύο, κυρίως, λόγους. Αρχικά, ο κυριότερος λόγος είναι η μικρή χρονική απόσταση που έχει από το Νοέμβριο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μη συντηρείται επάξια η μονάδα παραγωγής τσιμέντου τους υπόλοιπους οκτώ μήνες, διότι σε διάστημα μόλις τεσσάρων μηνών, πραγματοποιούνται δύο επισκευές, έχοντας ως αντίκτυπο, την ύπαρξη απρογραμματίστης επισκευής τον Ιούλιο. Επιπλέον, το συγκεκριμένο μήνα, οι χρηματιστηριακές τιμές είναι χαμηλές, γεγονός το οποίο χρήζει εκμετάλλευσης.



Διάγραμμα 4.2: Μέση Κατανάλωση MWH ανά ώρα (Αλλαγή Επισκευής από Φεβρουάριο σε Ιούνιο)

Με τη μεταφορά της προγραμματισμένης επισκευής, από το μήνα Φεβρουάριο στο μήνα Ιούνιο, μειώνονται το κόστη ηλεκτρικής ενέργειας από 40.557.347,68 € σε

40.424.923,25 € και βελτιώνεται η παραγωγή της εργοστασιακής μονάδας. Τέλος, οι τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκονται μεταξύ των μονάδων 15 και 25, ενώ λίγες είναι εκείνες οι οποίες κινούνται σε κατώτερα ή ανώτερα διαστήματα.

4.2 Σενάριο Β': Υπολογισμός του Συνολικού Κόστους με βάση την Αγορά της Επόμενης Ημέρας και την Ενδοημερήσια Αγορά

Ο υπολογισμός του συνολικού κόστους ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να εκπονηθεί και με άλλον τρόπο, ο οποίος ίσως να συμφέρει καλύτερα την επιχείρηση. Συγκεκριμένα, οι ωριαίες τιμές €/MWh του χρηματιστηρίου ενέργειας, μπορούν να αντικατασταθούν από τη μεσοσταθμική τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή, από τη μέση τιμή ενέργειας του συνόλου της ελληνικής αγοράς ανά μήνα, όπως αυτή ανακοινώνεται στη σχετική σελίδα του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ).

Πίνακας 4.3: Μεσοσταθμική Τιμή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα - ΕΤΟΣ 2022

Πηγή: *αδμηε. (2022). Μεσοσταθμική Τιμή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα - ΕΤΟΣ 2022.*

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΓΟΡΑ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΚΑΙ ΕΝΔΟΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΓΟΡΑ (€/MWh)	ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ (€/MWh)	ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΑΥΞΗΣΕΩΝ 1 (€/MWh)	ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΑΥΞΗΣΕΩΝ 2 (€/MWh)	ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΑΥΞΗΣΕΩΝ 3 (€/MWh)	ΣΥΝΟΛΟ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΩΝ ΠΡΟΣΑΥΞΗΣΕΩΝ (€/MWh)	ΣΥΝΟΛΟ (€/MWh)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (MWh)
202201	231,968	2,887	6,659	2,241	7,381	16,281	251,137	4.745.983
202202	214,700	1,425	5,804	1,959	5,985	13,748	229,872	4.062.461
202203	273,927	4,899	8,105	2,698	8,241	19,044	297,870	4.558.210
202204	247,545	2,116	6,737	0,987	8,598	16,322	265,984	3.599.649
202205	223,068	3,741	5,611	1,438	7,980	15,030	241,838	3.808.127
202206	247,768	-0,263	6,467	2,865	6,824	16,156	263,661	4.217.092
202207	339,276	3,676	9,443	4,119	6,887	20,450	363,402	4.884.371
202208	429,388	6,658	10,939	2,742	5,245	18,926	454,971	4.545.425
202209	411,716	9,566	10,790	3,242	11,808	25,840	447,122	3.819.055
202210	232,783	5,653	6,451	3,140	15,475	25,065	263,501	3.548.939
202211	232,252	4,919	6,459	3,879	12,154	22,492	259,663	3.592.420
202212	283,641	3,981	7,661	5,637	10,037	23,335	310,957	3.976.052
ΕΤΟΣ 2022	283,170	4,070	7,671	2,927	8,673	19,271	306,512	49.357.785

Στην παρούσα περίπτωση, όπως διαφάνεται και από τον παραπάνω πίνακα, οι αποκλίσεις των εκτιμήσεων με τις πραγματικές τιμές, είναι πολύ μικρές σε αριθμό, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι, η μέθοδος αυτή φέρει αξιόπιστα αποτελέσματα.

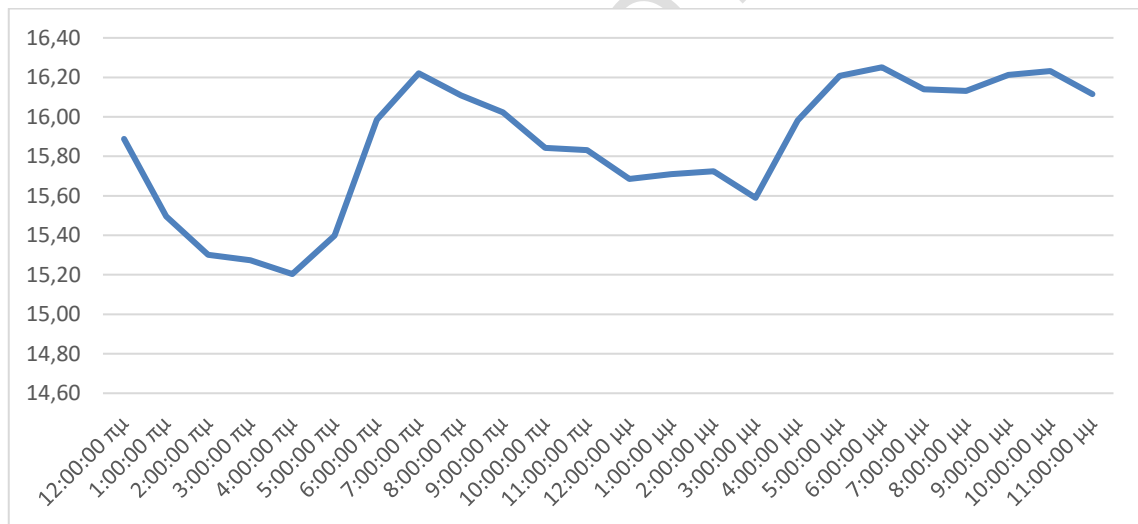
Για την εκπόνηση του σεναρίου αυτού, υπολογίστηκε η συνολική κατανάλωση ανά μήνα, η οποία έπειτα πολλαπλασιάστηκε με τις τιμές της στήλης “ΑΓΟΡΑ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΚΑΙ ΕΝΔΟΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΓΟΡΑ (€/MWh)” του παραπάνω πίνακα, φέροντας ως αποτέλεσμα το κόστος ενέργειας ανά μήνα. Στη συνέχεια, το άθροισμα των

προηγούμενων αποτελεσμάτων, φέρει το συνολικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2022, το οποίο ισούται με 40.506.683,02 €. Συγκριτικά με το αρχικό αποτέλεσμα, το οποίο είναι 40.648.894 €, η εταιρεία μειώνει το κόστος της κατά 142.211 €.

4.3 Σενάριο Γ': Αλλαγή διαδικασίας παραγωγής ανά μία MWh

Το συγκεκριμένο σενάριο έχει ως σκοπό τη μελέτη της περίπτωσης μεταβολής του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της μεταφοράς μιας μεγαβατώρας από ώρα με υψηλές τιμές MWh, σε μια ώρα με χαμηλές.

Η υλοποίηση του παραπάνω σεναρίου πραγματοποιήθηκε μέσω της μεταφοράς των ημερήσιων ωρών μεγαβατώρας σε στήλες, και έπειτα στην εξαγωγή του μέσου όρου της εκάστοτε ώρας. Η συγκεκριμένες ενέργειες έχουν ως σκοπό την εύρεση των ωρών με τις μεγαλύτερες και τις μικρότερες τιμές MWh.



Διάγραμμα 4.3: Ωριαίος Μ.Ο. Κατανάλωσης MWh

Όπως διαφαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα, μέσα στην ημέρα, κατά μέσο όρο, οι υψηλές τιμές υπάρχουν σε δύο διαστήματα. Το πρώτο ξεκινά από τις 4:00 π.μ., το οποίο κορυφώνεται στις 7:00 π.μ., και το δεύτερο ξεκινά από τις 3:00 μ.μ. και τελειώνει στις 11:00 μμ.

Πίνακας 4.4: Πίνακας Ωριαίου Μ.Ο. MWh

Ωρες	Μ.Ο.
12:00:00 π.μ.	15,89
1:00:00 π.μ.	15,50
2:00:00 π.μ.	15,30
3:00:00 π.μ.	15,27
4:00:00 π.μ.	15,20
5:00:00 π.μ.	15,40
6:00:00 π.μ.	15,99
7:00:00 π.μ.	16,22
8:00:00 π.μ.	16,11
9:00:00 π.μ.	16,02
10:00:00 π.μ.	15,84
11:00:00 π.μ.	15,83
12:00:00 μ.μ.	15,69
1:00:00 μ.μ.	15,71
2:00:00 μ.μ.	15,72
3:00:00 μ.μ.	15,59
4:00:00 μ.μ.	15,98
5:00:00 μ.μ.	16,21
6:00:00 μ.μ.	16,25
7:00:00 μ.μ.	16,14
8:00:00 μ.μ.	16,13
9:00:00 μ.μ.	16,21
10:00:00 μ.μ.	16,23
11:00:00 μ.μ.	16,12

Με βάση, λοιπόν, τον Πίνακα 5, έστω ότι μειώνεται η τιμή κατανάλωσης μεγαβατώρας στις 7:00 π.μ. κατά μια ώρα, δηλαδή να μετατραπεί σε $16,22 - 1 = 15,22$, και να μεταφερθεί σε κάποια χαμηλότερη τιμή, για παράδειγμα, σύμφωνα με το διάγραμμα 4.3, στις 4:00 π.μ., μετατρέποντας την τιμή του σε $15,20 + 1 = 16,20$.

Χρησιμοποιώντας την ίδια λογική με τις τιμές MWh, παρόμοια υπολογίστηκαν και οι μέσοι όροι των τιμών του χρηματιστηρίου ενέργειας για κάθε μια ώρα της ημέρας. Για τη συγκεκριμένη υπόθεση παραθέτονται ο μέσος όρος για την ώρα 7:00 π.μ., ο οποίος είναι 307,36 €, και αντίστοιχα για την ώρα 4:00 π.μ. είναι 231,30 €.

Οπότε, για τις 365 ημέρες του έτους 2022, η μεταβολή του προγράμματος για 1 μεγαβάτώρα, φέρει τα παρακάτω αποτελέσματα:

$$[(16,22 - 15,22) \times 307,36 - (16,20 - 15,20) \times 231,30] \text{ €} \times 365 \text{ ημέρες} \times 1 \text{ MWh} =$$

$$(1 \times 307,36 - 1 \times 231,30) \times 365 \times 1 =$$

$$(307,36 - 231,30) \times 365 =$$

$$76,06 \times 365 = 27.761,9 \text{ €}$$

Συνεπώς, η εταιρεία έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις συνολικές της δαπάνες κατά 27.761,9 €.

4.4 Σενάριο Δ': Επιβολή μέγιστης κατανάλωσης στις 16 MWh στις ώρες υψηλής κατανάλωσης ενέργειας

Η υπόθεση αυτή, έχει ως στόχο τον ορισμό του ποσού των 16 μονάδων μεγαβατώρας, ως το μέγιστο αριθμό κατανάλωσης, στις ώρες υψηλής κατανάλωσης ενέργειας. Το συγκεκριμένο επίπεδο τιμών επιλέχθηκε έπειτα από τη μελέτη του πίνακα 4.4, πίνακας Ωριαίου Μ.Ο. MWh, από τον οποίο διεξήχθη το συμπέρασμα ότι οι τιμές της μεγαβατώρας μέσα στην ημέρα, οριοθετούνται κατά μέσο όρο μεταξύ των τιμών 15 και 16.

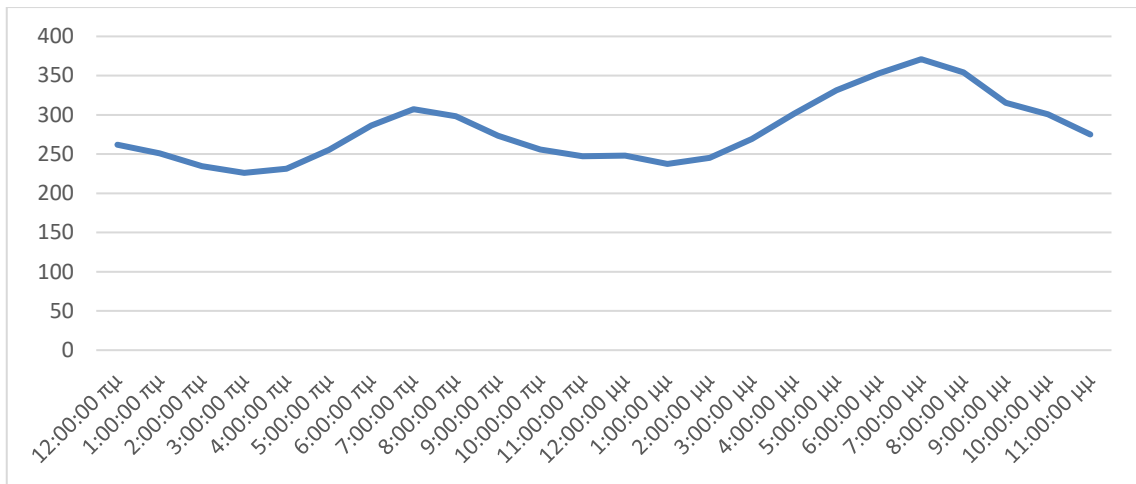
Με βάση το διάγραμμα 4.3, το οποίο απεικονίζει τον ωριαίο Μ.Ο. κατανάλωσης μεγαβατώρας, επιλέγεται το χρονικό διάστημα 6 π.μ. έως 9 π. μ., στο οποίο υπάρχουν υψηλότερες τιμές, ως το διάστημα εφαρμογής της συγκεκριμένης υπόθεσης. Αρχικά, επιλέγονται όλες οι μεγαβατώρας των ωρών αυτών, για κάθε μια ημέρα του συγκεκριμένου έτους και έπειτα, αφαιρείται από κάθε μια ξεχωριστά ο επιλεγμένος μέγιστος αριθμός 16, έχοντας ως στόχο, την εύρεση των τιμών με μεγαλύτερες τιμές.

Έπειτα, μετά την απαλοιφή των αρνητικών τιμών, γίνεται πρόσθεση των εναπομενουσών τιμών, για την εύρεση του συνολικού ποσού MWh που απομένουν μετά την οριοθέτηση του μέγιστου ποσού ανά ώρα. Επομένως, το ποσό αυτό, ανέρχεται στις 5097,05 συνολικές μονάδες MWh, οι οποίες κοστολογούνται ως:

$$(1236,91 \times 286,53) + (1318,24 \times 307,36) + (1281,37 \times 298,30) + (1260,53 \times 273,46) =$$

$$354.411,82 + 405.174,24 + 382.232,67 + 344.704,53 = 1.486.523,26\text{€}$$

Όπου 1236,91, 1318,24, 1281,37 και 1260,53 οι συνολικές μονάδες MWh για τις ώρες 6 π.μ., 7 π.μ., 8 π.μ. και 9 π.μ. αντίστοιχα, με $1236,91 + 1318,24 + 1281,37 + 1260,53 = 5097,05$ MWh. Επίσης, οι τιμές 286,53, 307,36, 298,30 και 273,46, αποτελούν τους μέσους όρους των τιμών του χρηματιστηρίου ενέργειας για τις συγκεκριμένες ώρες.



Διάγραμμα 4.4: Ωριαίος Μ.Ο. Τιμών Ενέργειας

Σύμφωνα με το διάγραμμα 4.4 , το οποίο απεικονίζει τη γραφική παράσταση του μέσου όρου των τιμών του χρηματιστηρίου ενέργειας, παρατηρείται μια μείωση των τιμών στα διαστήματα ωρών 2 π.μ. έως 5 π.μ. και 12 μ.μ. έως 3 μ.μ..

Θα μπορούσε να γίνει πράξη, λοιπόν, η μεταφορά των μεγαβατωρών αυτών, στις ώρες όπου παρατηρούνται οι χαμηλές τιμές. Παρακάτω, ακολουθούν δυο υποπεριπτώσεις, κατά τις οποίες μεταφέρεται το συνολικό ποσό των MWh ανά 4 ώρες αργότερα, ή νωρίτερα, με βάση το ήδη υπάρχον πρόγραμμα παραγωγής, με σκοπό, να μπορούν να πραγματοποιηθούν οι μεταβολές σε πραγματικό χρόνο.

4.4.1 Υποπερίπτωση I: Μεταφορά του ποσού 4 ώρες αργότερα

Έστω, ότι οι μεγαβατώρες αυτές μεταφέρονται σε ώρες με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, όπως στις 12 μ.μ. έως 3 μ.μ., οι οποίες ακολουθούν στο πρόγραμμα. Σε αυτήν την περίπτωση, το κόστος των ωρών αυτών θα αυξηθεί κατά:

$$(1236,91 \times 248,09) + (1318,24 \times 237,35) + (1281,37 \times 245,24) + (1260,53 \times 269,25)$$

$$306.865 + 312.884,26 + 314.243,17 + 339.397,70 = 1.273.390,13\text{€}$$

Όπου 248,09, 237,35, 245,24 και 269,25 οι μέσοι όροι των τιμών του χρηματιστηρίου ενέργειας για τις ώρες 12 μ.μ., 1 μ.μ., 2 μ.μ. και 3 μ.μ. αντίστοιχα.

Επομένως, σε αυτήν την περίπτωση, θα υπάρξει μείωση του συνολικού κόστους κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας κατά:

$$1.486.523,26 - 1.273.390,13 = 213.133,13\text{€}$$

Και το τελικό κόστος θα γίνει $40.648.894 - 213.133,13 = 40.435.760,87\text{€}$.

4.4.2 Υποπερίπτωση II: Μεταφορά του ποσού 4 ώρες νωρίτερα

Επιπλέον, οι μεγαβατώρες αυτές μπορούν να μεταφερθούν και στις προηγούμενες ώρες μικρότερης κατανάλωσης ενέργειας, δηλαδή στις 2 π.μ. έως 5 π.μ.. Σε την περίπτωση αυτή, το κόστος των συγκεκριμένων ωρών θα αυξηθεί κατά:

$$(1236,91 \times 234,39) + (1318,24 \times 226,02) + (1281,37 \times 231,30) + (1260,53 \times 255,51)$$

$$289.919,33 + 297.948,60 + 296.380,88 + 322.078,02 = 1.206.326,83\text{€}$$

Όπου 234,39, 226,02, 231,30 και 255,51 οι μέσοι όροι των τιμών του χρηματιστηρίου ενέργειας για τις ώρες 2 π.μ., 3 π.μ., 4 π.μ. και 5 π.μ. αντίστοιχα.

Συνεπώς, σε αυτήν την περίπτωση, θα υπάρξει μείωση του συνολικού κόστους κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας κατά:

$$1.486.523,26 - 1.206.326,83 = 280.196,43\text{€}$$

Και το τελικό κόστος θα γίνει $40.648.894 - 280.196,43 = 40.368.697,57\text{€}$.

4.4.3 Ανάλυση σεναρίου μέσω πίνακα ANOVA

Προκειμένου να διαπιστωθεί ότι γίνεται δυνατή η μεταφορά των ωριαίων καταναλώσεων, πέρα από το διάγραμμα 4.3, γίνεται και ο στατιστικός έλεγχος ανάλυσης διακύμανσης, γνωστός και ως πίνακας ANOVA. Για τη δημιουργία του, τα δεδομένα χωρίστηκαν σε ομάδες τεσσάρων ωρών, παραθέτοντας συνολικά έξι ομάδες για κάθε ημέρα, 12:00-3:00 π.μ., 4:00-7:00 π.μ., 8:00-11:00 π.μ., 12:00-3:00 μ.μ., 4:00-7:00 μ.μ. και 8:00-11:00 μ.μ., από τις οποίες, κάθε μια, φέρει το άθροισμα των καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας, για κάθε μια ημέρα ξεχωριστά. Η κατηγοριοποίηση αυτή, είχε ως αποτέλεσμα την ομαδοποίηση των δεδομένων και τη μείωση του αριθμού τους σε 2.190.

Πίνακας 4.5: Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) κατανάλωσης και ωριαίου προγράμματος

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	Κατανάλωση	Τετράωρα	Σύνολο			
<i>12:00-3:00 π.μ.</i>						
Πλήθος	365	365	730			
Άθροισμα	22614,88	365	22979,88			
Μέσος όρος	61,96	1	31			
Διακύμανση	871,35	0	1365,34			
<i>4:00-7:00 π.μ.</i>						
Πλήθος	365	365	730			
Άθροισμα	22925	730	23655			
Μέσος όρος	62,81	2	32,40			
Διακύμανση	927,19	0	1388,64			
<i>8:00-11:00 π.μ.</i>						
Πλήθος	365	365	730			
Άθροισμα	23289,45	1095	24384,45			
Μέσος όρος	63,81	3	33,40			
Διακύμανση	1004,98	0	1427,43			
<i>12:00-3:00 μ.μ.</i>						
Πλήθος	365	365	730			
Άθροισμα	22889,35	1460	24349,35			
Μέσος όρος	62,71	4	33,36			
Διακύμανση	977,46	0	1350,97			
<i>4:00-7:00 μ.μ.</i>						
Πλήθος	365	365	730			
Άθροισμα	23571,39	1825	25396,39			
Μέσος όρος	64,58	5	34,79			
Διακύμανση	969,75	0	1372,85			
<i>8:00-11:00 μ.μ.</i>						
Πλήθος	365	365	730			
Άθροισμα	23612,02	2190	25802,02			
Μέσος όρος	64,69	6	35,35			
Διακύμανση	959,77	0	1341,55			
<i>Σύνολο</i>						
Πλήθος	2190	2190				
Άθροισμα	138902,08	7665				
Μέσος όρος	63,43	3,50				
Διακύμανση	950,60	2,92				

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ						
Προέλευση διακύμανσης	SS	βαθμοί ελευθερίας	MS	F	τιμή-P	κριτήριο F
Δείγμα	7573,09	5	1514,62	3,18	0,01	2,22
Στήλες	3932231,12	1	3932231	8263,16	0	3,84
Αλληλεπίδραση	1048,35	5	209,67	0,44	0,82	2,22
Μέσα σε	2078621,94	4368	475,87			
Σύνολο	6019474,51	4379				

Στην παρούσα περίπτωση, διερευνάται η μηδενική υπόθεση H_0 , σύμφωνα με την οποία, οι μέσοι όροι των έξι διαστημάτων έχουν αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Με βάση την τιμή-P, η οποία είναι μεγαλύτερη του προκαθορισμένου επιπέδου σημαντικότητας, καθώς $0,82 > 0,05$, η μηδενική υπόθεση H_0 δεν γίνεται δεκτή και τα αποτελέσματα δεν είναι στατιστικά σημαντικά. Η διαπίστωση αυτή σημαίνει ότι, παρόλο που η εταιρεία έχει μοιράσει ισόποσα τις καταναλώσεις ενέργειάς της, κατά μέσο όρο, μέσα στην ημέρα, οι καταναλώσεις αυτές δεν εξαρτώνται η μια από την άλλη. Οι ίσες κατανομές διαφαίνονται και από τους ατομικούς μέσους όρους του κάθε εξάωρου στον παραπάνω πίνακα. Δηλαδή, τα ποσά 61,96, 62,81, 63,81, 62,71, 64,58 και 64,69 είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους.

4.5 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

αδμηε. (2022). Μεσοσταθμική Τιμή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα - ΕΤΟΣ 2022. Ανάκτηση από https://www.admie.gr/sites/default/files/attached-files/type-file/2023/03/202212-Mesostathmiki_Timi_Agoras_Hlektrikhs_energeias_sto_Diasyndedemeno_Systima_v2_1.pdf

Κεφάλαιο 5^ο: Συμπεράσματα

5.1 Ανασκόπηση Αποτελεσμάτων

Η παρούσα εργασία τελέσθηκε, έχοντας ως κύριο στόχο, τη μελέτη ενός προγράμματος παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, μιας εργοστασιακής μονάδας εταιρείας που ανήκει στον κλάδο της παραγωγής τσιμέντου, και τη μετατροπή του ήδη υπάρχοντος προγράμματος παραγωγής, με σκοπό τη μείωση του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η έρευνα αυτή, πραγματοποιήθηκε μέσω της μελέτης συγκεκριμένων καταγραφών, 8.760 σε αριθμό, οι οποίες περιείχαν πληροφορίες σχετικά με τις ωριαίες καταγραφές πραγματικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του εργοστασίου για το έτος 2022, καθώς και την τιμή που εμπορευόταν το χρηματιστήριο ενέργειας για καθεμία από τις ώρες αυτές.

Η μελέτη αυτή απαρτίζεται από τέσσερα διαφορετικά σενάρια βελτίωσης, του ήδη υπάρχοντος προγράμματος παραγωγής, τα οποία θα μπορούσε να εφαρμόσει η επιχείρηση. Συγκεκριμένα, τα σενάρια αυτά, αφορούν τη μεταβολή της παραγωγής κατά 6 ώρες νωρίτερα, τον προγραμματισμό της παραγωγής και της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας με βάση την αγορά της επόμενης ημέρας, από το χρηματιστήριο ενέργειας, τη μελέτη της επίδρασης της μετακίνησης της κατανάλωσης μιας μεγαβατώρας σε ώρα χαμηλής τιμής MWh και τέλος τον ορισμό της μέγιστης κατανάλωσης στις 16 μεγαβατώρες, για τις ώρες υψηλής κατανάλωσης. Από την ανάλυση των αυτών των πιθανών σεναρίων βελτίωσης, προέκυψαν τα συμπεράσματα που αναλύονται παρακάτω.

Αρχικά, στο πρώτο σενάριο, το οποίο αφορούσε τη μεταφορά του προγράμματος της παραγωγής κατά 6 ώρες νωρίτερα, παρατηρήθηκε ότι με τη μεταβολή αυτή, το συνολικό κόστος μειώθηκε από 40.648.894 € σε 40.557.347,68 €, διαφορά η οποία δικαιολογείται από τις χαμηλές τιμές του χρηματιστηρίου ενέργειας, κατά τις ώρες στις οποίες μετακινήθηκε το πρόγραμμα. Επιπλέον, πέρα από τη μεταβολή αυτή, θα ήταν δυνατή η αύξηση της υπάρχουσας παραγωγής τους μήνες Ιανουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο και Μάιο, κατά τους οποίους παρατηρούνται χαμηλές τιμές, με αντίστοιχη μείωση τους μήνες Αύγουστο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Δεκέμβριο. Στην περίπτωση αυτή, θα υπάρξει περεταίρω μείωση του συνολικού κόστους, της τάξης των 2.949.137,88 €, δηλαδή θα γίνει 37.608.209,80 €. Επίσης, άλλη μια μεταβολή που θα ήταν δυνατό να συμβεί, είναι η μετακίνηση της προγραμματισμένης επισκευής από το Φεβρουάριο στον Ιούνιο. Με αυτόν τον τρόπο, η εταιρεία θα μπορούσε να επωφεληθεί από τις χαμηλές τιμές που υπάρχουν στο δεύτερο μήνα του έτους και να εκτελέσει τότε την

παραγωγή της. Ακόμα, με την απόφαση αυτή, θα μπορούσε να διασφαλίσει την πιθανότητα να μην εμφανιστεί κάποια μη προγραμματισμένη επισκευή, όπως συνέβη τον Ιούλιο. Στην περίπτωση αυτή, το τελικό κόστος ανέρχεται στα 40.424.923,25 € το οποίο σε σύγκριση με το αρχικό ποσό, δημιουργεί εξοικονόμηση της τάξεως των 223.970,75 €. Από τις παραπάνω μεταβολές, απορρέει το συμπέρασμα ότι, η εταιρεία θα ήταν συνετό να προσαρμόζει τις παραγωγικές τις δραστηριότητες, με βάση τις αυξομειώσεις των τιμών του χρηματιστηρίου ενέργειας. Επιπροσθέτως, συμφέρει η μεταβολή του προγράμματος παραγωγής μέσω των μηνών, είτε ως προς το μέγεθος της παραγωγής κάθε μήνα, είτε ως προς την απόφαση για την χρονική προσαρμογή της προγραμματισμένης επισκευής, καθώς μπορεί να αποφύγει απρόσμενους παράγοντες και να διατηρήσει τα κόστη της σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο τιμών.

Όσον αφορά το δεύτερο σενάριο, μελετήθηκε η σύγκριση κόστους σχετικά με το αν συμφέρει την εργοστασιακή μονάδα, να υπολογίσει το συνολικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας με τη μέθοδο των ωριαίων τιμών από το χρηματιστήριο ενέργειας ή με τη μέθοδο της μηνιαίας μεσοσταθμικής τιμής αγοράς, η οποία είναι ο συνολικός μέσος όρος της ελληνικής αγοράς για το συγκεκριμένο μήνα, όπως αυτός ανακοινώνεται στη σχετική σελίδα του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Με βάση αυτήν την υπόθεση, το συνολικό κόστος μεταβλήθηκε από το αρχικό ποσό των 40.648.894 € σε 40.506.683,02 €. Άρα, μπορεί να υποτεθεί ότι, παρόλο που η μεταβολή είναι μικρή, συμφέρει την επιχείρηση να υπολογίζει το κόστος της μέσω της μεσοσταθμικής τιμής αγοράς, εξοικονομώντας 142.210,98 €.

Στο τρίτο σενάριο, διερευνήθηκε η υπόθεση κατά πόσο θα μεταβληθεί το κόστος για την κατανάλωση ενέργειας, αν μετακινηθεί μια μεγαβατώρα, από ώρα υψηλής κατανάλωσης, και τοποθετηθεί σε μια ώρα χαμηλής. Αποτέλεσμα της διερεύνησης αυτής, αποτελεί η διαπίστωση ότι, η μεταφορά αυτή, επιφέρει βελτίωση του κόστους κατά 27.761,9 €, για κάθε μια μεγαβατώρα.

Σχετικά με το τέταρτο σενάριο, τέθηκε ως ανώτατο όριο το ποσό των 16 MWh στις ώρες υψηλής κατανάλωσης, όσο και είναι η κατανάλωση των βασικών μηχανημάτων της μονάδας, τα οποία δε μπορεί να σταματήσει η λειτουργία τους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέχθηκε το χρονικό διάστημα από τις 6 π.μ. έως τις 9 π.μ., από το οποίο αφαιρέθηκαν 5097,05 μεγαβατώρες συνολικά, και μεταφέρθηκαν σε δύο άλλα διαστήματα, στα οποία υπάρχουν χαμηλές τιμές, σύμφωνα με το διάγραμμα 4.4, το οποίο αναπαριστά τον ωριαίο μέσο όρο των τιμών ενέργειας. Η πρώτη μεταφορά, γίνεται στις ώρες 12 μ.μ. με 3 μ.μ., η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους κατά 213.133,13 € και η δεύτερη, στις ώρες 2 π.μ. έως 5 π.μ., όπου και μειώνεται το

κόστος κατά 280.196,43 €. Επομένως, με την εφαρμογή ενός ανώτατου ορίου στις ώρες υψηλής κατανάλωσης, και το διαμοιρασμό των αφαιρουμένων MWh σε ώρες με χαμηλές τιμές, η εταιρεία μπορεί να μειώσει τα συνολικά της έξοδα για ενέργεια, χωρίς να ελαττώσει την παραγωγικότητά της. Τέλος, μέσω της ανάλυσης της διακύμανσης, με τη βοήθεια του πίνακα ANOVA, παρατηρήθηκε ότι οι καταναλώσεις ενέργειας, οι οποίες είναι χωρισμένες με ίσες τιμές, ανάμεσα στα 6 χρονικά διαστήματα της ημέρας, κατά μέσο όρο, δεν έχουν κάποια αλληλεπίδραση μεταξύ τους, γεγονός το οποίο, συνάδει με την υπόθεση του σεναρίου. Αυτό εξηγείται, διότι, αν καθιστούν δυνατές οι παραπάνω αλλαγές, δεν θα τροποποιηθεί ολόκληρο το ημερήσιο πρόγραμμα κατανάλωσης ενέργειας, παρά μόνο οι ώρες οι οποίες θα τροποποιηθούν.

Εν κατακλείδι, η εταιρεία όντας ένας μεγάλος καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι αυτονόητο ότι έχει και μεγάλο κόστος για την ενέργεια αυτή. Το συγκεκριμένο κόστος περιλαμβάνει πολλά περιθώρια βελτίωσης-αριστοποίησης, το οποίο και αποδεικνύεται στις άνωθι μελέτες περιπτώσεων, όπου όλες ανεξαιρέτως οδήγησαν συμπερασματικά σε σημαντικές εξοικονομήσεις κόστους. Με την παρούσα ρευστή κατάσταση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, σε συνδυασμό με τις μελλοντικές τάσεις και προβλέψεις, προτείνεται στην εταιρία να παρακολουθεί στενά τις εξελίξεις της αγοράς, έτσι ώστε να λάβει έγκαιρα τις κατάλληλες δράσεις.

5.2 Περιορισμοί έρευνας

Η παρούσα έρευνα παρουσιάζει πολλά και ενδιαφέροντα στοιχεία για τη σχέση μεταξύ της καταναλωμένης ηλεκτρικής ενέργειας και των τιμών που θέτει το χρηματιστήριο ενέργειας. Παρά το γεγονός ότι τα δεδομένα οδηγούν σε συγκεκριμένα συμπεράσματα, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένοι περιορισμοί που υπήρχαν κατά την διεξαγωγή της έρευνας.

Πιο συγκεκριμένα, δεν υπήρχαν πληροφορίες σχετικά με τα μηχανήματα που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη εργοστασιακή μονάδα. Πληροφορίες όπως, ο αριθμός των μηχανημάτων, η κατανάλωση ενέργειας του εκάστοτε μηχανήματος και η συχνότητα χρήσης αυτών, θα μπορούσαν να έχουν διαμορφώσει μια καλύτερη εικόνα σχετικά με τις καταναλώσεις, με αποτέλεσμα την καλύτερη διαμόρφωση του προγράμματος παραγωγής και τη μείωση του κόστους.

5.3 Μελλοντική έρευνα

Η ανάλυση της μείωσης του κόστους, το οποίο αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς την οποιαδήποτε μεταβολή του προγράμματος της παραγωγής, φέρει ενδιαφέρον για περαιτέρω ανάλυση. Συγκεκριμένα, αν ήταν εφικτό να διατίθενται οι πληροφορίες των μηχανημάτων, για τις οποίες έγινε αναφορά στο κομμάτι 5.2, η ανάλυση, ήταν δυνατό, να συνεχιστεί και να δημιουργηθεί ένα νεότερο, λεπτομερές πρόγραμμα αλλαγών, το οποίο θα ικανοποιούσε τις ανάγκες της παραγωγής και θα πρόσφερε το ελάχιστο κόστος ενέργειας.

Έπειτα, θα είχε ενδιαφέρον, να μελετηθεί η περίπτωση, στην οποία, το εργοστάσιο χρησιμοποιεί και άλλες πηγές ενέργειας, όπως φυσικό αέριο ή ανανεώσιμες πηγές. Στην υπόθεση αυτή, θα μπορούσε να διερευνηθεί το σημείο ισορροπίας μεταξύ της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας και των εναλλακτικών πηγών, την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους που δαπανάται για ενέργεια, τη μεταποίηση του προγράμματος παραγωγής ανάλογα με τη διακύμανση των τιμών των πηγών και την εύρεση των μηχανημάτων, τα οποία για τη λειτουργία τους απαιτούν υψηλά ποσά ενέργειας, και την αντικατάστασή τους με άλλα, τα οποία έχουν τις ίδιες παραγωγικές δυνατότητες, αλλά καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια, είτε ηλεκτρική, είτε από εναλλακτικές πηγές.

Βιβλιογραφία

- Athexgroup, A. E. (2022). *Energy Exchange Group*. Ανάκτηση από <https://www.athexgroup.gr/energy-exchange-group>
- Cornford-Matheson, A. (2023, Ιανουάριος 26). *GUIDE TO AMBER GEMSTONES: PROPERTIES, MEANINGS, AND USES*. Ανάκτηση από <https://fiercelynxdesigns.com/blogs/articles/guide-to-amber-gemstones-properties-meanings-and-uses>
- Dagoumas, A., & Kitsios, F. (2014). Assessing the impact of the economic crisis on energy poverty in Greece. *Sustainable Cities and Society* (Τομ. 13, σσ. 267-278).
- Forrester, R. (2016). *History of electricity* (σ. 2). Available at SSRN 2876929.
- Gardner, N. (2021, Φεβρουάριος 22). *Practical uses for IoT in ship management*. Ανάκτηση από <https://thetius.com/practical-uses-for-iot-in-ship-management/>
- Gajdzik, B., Wolniak, R., Nagaj, R., Žuromskaitė-Nagaj, B., & Grebski, W. W. (2024). The Influence of the Global Energy Crisis on Energy Efficiency: A Comprehensive Analysis. *Energies* (Τομ. 17, σ. 947).
- Halkos, G., & Kostakis, I. (2023). Exploring the persistence and transience of energy poverty: evidence from a Greek household survey. *Energy Efficiency* (Τομ. 16, no. 50).
- Newsroom. (2023, Φεβρουάριος 28). *Ενεργειακή κρίση: Μεγάλες καθυστερήσεις στις πληρωμές για ρεύμα και θέρμανση (γράφημα + vids)*. Ανάκτηση από Newmoney - Ειδήσεις για την Οικονομία: <https://www.newmoney.gr/roh/palmo-oikonomias/energeia/energiaki-krisi-megales-kathisterisis-stis-pliromes-gia-revma-ke-thermans-grafima-vids/>
- Ozili, P. K., & Ozen, E. (2023). Global energy crisis: impact on the global economy. *The Impact of Climate Change and Sustainability Standards on the Insurance Market* (σσ. 439-454).
- Sarhan, A., Ramachandaramurthy, V. K., Kiong, T. S., & Ekanayake, J. (2021). Definitions and dimensions for electricity security assessment: A Review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* (Τομ. 48, no. 101626).
- Singh, S. (2021). Energy crisis and climate change: Global concerns and their solutions. *Energy: Crises, Challenges and Solutions* (σσ. 1-17).

Titan Media Library. (χ.χ.). Ανάκτηση από Titan Greece:
<https://www.titan.gr/el/newsroom/vivliothiki/logos>

Tsakalakis, K. G. (2003). The Greek cement-industry sector and its potential towards sustainable development. *In Proceedings of the International Conference on Sustainable Development Indicators in the Mineral Industries* (σσ. 279-282).

Tsekouras, K. D., & Skuras, D. (2005). Productive efficiency and exports: an examination of alternative hypotheses for the Greek cement industry. *Applied Economics* (Τομ. 37, σσ. 279-291).

Άγγελος, Μ. (2014). *Μοντέλα Παλινδρόμησης*. Ανάκτηση από
<http://www.amarkos.gr/courses/mathmode/Regression%20Models.pdf>

ΑΓΕΤ Ηρακλής Lafarge. (χ.χ.). Ανάκτηση από Projectyou:
<https://www.projectyou.gr/lafarge/>

Αγιακλόγλου, Χ & Μπένος, Θ. (2014). *Αρχές Οικονομικής Ανάλυσης*. Αθήνα: Ε. Μπένου.

Αγιακλόγλου, Χ & Οικονόμου, Γ. (2019). *Μέθοδοι Προβλέψεων & Ανάλυσης Αποφάσεων*. Αθήνα: Ε. Μπένου.

Αγορές Ενέργειας. (2023). Ανάκτηση από <https://www.enexgroup.gr/el/energy-markets>

αδμηε. (2022). *Μεσοσταθμική Τιμή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα - ΕΤΟΣ 2022*. Ανάκτηση από
https://www.admie.gr/sites/default/files/attached-files/type-file/2023/03/202212-Mesostathmiki_Timi_Agoras_Hlektrikhs_energeias_sto_Diasyndedemeno_Systima_v2_1.pdf

Βερούκιος, Β., Σταυρόπουλος, Η., Κωτσιαντής, Σ. & Τζαγκαράκης, Μ. (2019) *Η Επιστήμη των Δεδομένων: Βασικές Αρχές, Θεωρία & Εφαρμογές με τη Γλώσσα R*. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών

ΓΣΕΒΕΕ. (2023). *ΕΙΣΟΔΗΜΑ - ΔΑΠΑΝΕΣ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΩΝ 2022*. Αθήνα: ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ.

Ελληνική τσιμεντοβιομηχανία. (2007). Ανάκτηση από ΟΡΥΚΤΑ:
<https://www.orykta.gr/ekmetalleusi-emploutismos/metallourgikes-diergusies/81-elliniki-tsimentobiomihania>

ΚΑΡΑΜΑΝΟΣ, Α. Α. (2022). *Μοντέλα παλινδρόμησης*.

Κουτροβέλης, Ι. (2000). *Πιθανότητες και Στατιστική II*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

- Μακανταση, Φ. & Βαλέντης, Η. (2022, Νοέμβριος). *Η Ενεργειακή Κρίση Στην Ελλάδα*. Ανάκτηση από Dianeosis - Οργανισμός Έρευνας & Ανάλυσης: <https://www.dianeosis.org/2022/11/i-energeiaki-krisi-stin-ellada/>
- Μητρόπουλος, Ι. (2009). *Στατιστική Επιχειρήσεων Ειδικά Θέματα*. Αθήνα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας
- Ο κλάδος στην Ελλάδα. (2023, Δεκέμβριος 18). Ανάκτηση από ΕΝΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ: <https://www.hcia.gr/o-klados-stin-ellada/>
- Παπαδόπουλος, Γ. (2015). *Στατιστικός Έλεγχος Υποθέσεων*. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Συμεωνάκη, Μ. (2015). *Στατιστική για όλους με το SPSS*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σοφία.
- Τσιούνης, Α, Κωνσταντίνου, Κ, Βύζα-Τσώτσου, Α, Αναγνώστου, Δ, Κουμπαρέλλης, Ν, Λάζος, Σ, Θεάκης, Δ, Τσατσαρούνος, Ι. & Μαλακτάρη, Μ. (1979). *Φάρος, Μεγάλη Γενική Παγκόσμια Εγκυκλοπαίδεια*, Τόμ. 7. Αθήνα: Εκδόσεις Φάρος.
- Φουσκάκης, Δ. (2014). *Ανάλυση Δεδομένων με χρήση του Στατιστικού Πακέτου R*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Χάλυψ Δομικά Υλικά Α.Ε. (χ.χ.). Ανάκτηση από QualityNet Foundation: <https://qualitynetfoundation.org/partners/%CF%87%CE%B1%CE%BB%CF%85%CF%88-%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CE%B1-%CE%B5/>