



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ**

*Η μεταμόρφωση της Κοζάνης σε Έξυπνη και Βιώσιμη Πόλη με έμφαση  
στην αξιοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για κάλυψη  
Ηλεκτρικών και Θερμικών αναγκών μετά την απολιγνιτοποίηση*

Διπλωματική Εργασία

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΡΑΝΑΣΙΟΣ

Επιβλέπων: Γεώργιος Κάραλης Ε.Δι.Π.

**ΑΘΗΝΑ 2022**



**National Technical University of Athens**

**School of Mechanical Engineering**

**Fluids Sector**

***The transformation of Kozani to a Smart and Sustainable City with  
high exploitation of Renewable Energy Sources to cover Electrical and  
Thermal needs after the decarbonization***

Thesis Diploma

KONSTANTINOS KARANASIOS

Supervisor: Georgios Karalis

**ATHENS 2022**

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

**Κωνσταντίνος Καρανάσιος**

## Πίνακας Περιεχομένων

1.Εισαγωγή.....	8
1.1 Σκοπός της Εργασίας.....	8
1.2 Δομή της Εργασίας.....	9
2.Κοζάνη.....	10
2.1. Γενικά.....	10
2.2. Εκμετάλλευση κοιτασμάτων λιγνίτη και Ατμοηλεκτρικά Εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας .....	11
2.2.1. Λιγνιτωρυχεία .....	11
2.2.2.Ενεργειακές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας .....	12
2.3. Επιπτώσεις λιγνιτοπαραγωγής.....	13
2.3.1.Οικονομικές επιπτώσεις .....	13
2.3.2. Κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις .....	15
2.4 Απολιγνιτοποίηση.....	16
2.4.1. Οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την καθαρή ενέργεια και την κλιματική αλλαγή .....	16
2.4.2. Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) .....	16
2.4.3 Η προοπτική της απολιγνιτοποίησης στην Κοζάνη .....	17
3. Έξυπνη και Βιώσιμη Πόλη.....	18
3.1.«Έξυπνη Πόλη» .....	18
3.1.1. Ορισμός «Έξυπνης Πόλης» .....	18
3.2.Βιώσιμη Πόλη .....	19
3.2.1.Ορισμός Βιώσιμης Πόλης .....	19
3.3.Παραδείγματα Έξυπνων και Βιώσιμων Πόλεων.....	19
3.3.1. Άμστερνταμ.....	19
3.3.2. Βαρκελώνη.....	20
3.3.3. Τρίκαλα .....	21
3.3.4. Κοπεγχάγη.....	21
3.4.Η Κοζάνη «Έξυπνη Πόλη» .....	23
3.4.1. Project «Κοζάνη – Έξυπνη Πόλη» .....	23
3.4.2.Προτάσεις του σχεδίου «Κοζάνη – Έξυπνη Πόλη» .....	23
4.EnergyPlan .....	25
4.1. Τι είναι το EnergyPlan .....	25
4.2 Smart Energy Systems.....	25

4.3. Υπολογιστική προσέγγιση και μοντελοποίηση .....	26
4.4. Δεδομένα εισόδου .....	26
4.4.1. Ζήτηση.....	27
4.4.2. Παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας .....	29
4.4.3 Κόστη.....	31
4.4.4. Διαχείριση περίσσειας ενέργειας και στρατηγικές προσομίωση .....	31
4.4.5 Δεδομένα Εξόδου .....	32
5.Η Περίπτωση της Κοζάνης .....	32
5.1. Δεδομένα και κατανομές ζήτησης ενέργειας.....	33
5.1.1.Ηλεκτρική Ενέργεια .....	33
5.1.2.Θερμική Ενέργεια .....	35
5.1.3. Κατανομή Εξωτερικής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	37
5.2. Δεδομένα παραγωγής ενέργειας .....	39
5.2.1.. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μεταβλητού χαρακτήρα.....	39
5.2.2. Βιομάζα .....	43
6 Παρουσίαση Συγκριτικών Σεναρίων.....	45
6.1. Προτεινόμενες Τεχνολογίες Παραγωγής Ενέργειας.....	45
6.1.1. Τεχνολογίες Παραγωγής Ενέργειας κοινές για όλα τα σενάρια .....	45
6.1.2. Προτάσεις για Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας.....	47
6.2. Παρουσίαση Σεναρίων .....	49
6.2.1. Σενάριο 1.....	49
6.2.2. Σενάριο 2.....	54
6.2.3. Σενάριο 3.....	59
6.2.4. Σενάριο 4.....	64
6.2.5. Σενάριο 5.....	69
6.3. Αξιολόγηση, Σύγκριση Σεναρίων και Συμπεράσματα .....	74
6.4. Προτάσεις και Βελτιώσεις για το μέλλον .....	80
7. Συμπεράσματα.....	81
Κατάλογος Σχημάτων.....	82
Κατάλογος Πινάκων.....	84
Κατάλογος Εικόνων.....	85
Βιβλιογραφική Αναφορά .....	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 Κόστη Τεχνολογιών.....	90

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 Λοιπά Κόστη .....	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 Μέθοδος Υπολογισμού LCOE Θερμότητας .....	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4 Μέθοδος Υπολογισμού LCOE Ηλεκτρισμού .....	92
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 Υπολογισμός Πιθανής Αλλαγής στο Τιμολόγιο Θέρμανσης.....	92

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο « Η μεταμόρφωση της Κοζάνης σε Έξυπνη και Βιώσιμη Πόλη με έμφαση στην αξιοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για κάλυψη Ηλεκτρικών και Θερμικών αναγκών μετά την απολιγνιτοποίηση» εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» που προσφέρεται από τον Τομέα Ρευστών της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αντικείμενο της αποτελεί η μελέτη και η μοντελοποίηση μέσω του προγράμματος EnergyPlan του ενεργειακού συστήματος της πόλης της Κοζάνης το οποίο θα καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες αποκλειστικά από 100% Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, εξαιρουμένου του τομέα των μεταφορών.

Αρχικά, μελετώνται οι ενεργειακές ανάγκες της πόλης τόσο στη ζήτηση του ηλεκτρισμού όσο και στις θερμότητες. Έπειτα, εκτιμάται το δυναμικό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας της περιοχής και με βάση αυτό προτείνονται τεχνολογίες οι οποίες θα αξιοποιήσουν στο έπακρο το δυναμικό αυτό καλύπτοντας τις ενεργειακές ανάγκες της πόλης. Στη συνέχεια, μέσω του EnergyPlan, το δυναμικό και οι προτεινόμενες τεχνολογίες μοντελοποιούνται με τον βέλτιστο τρόπο, με σκοπό την ενεργειακή, την περιβαλλοντική και την οικονομική βιωσιμότητα. Στο τέλος, τα αποτελέσματα αξιολογούνται, ενώ παράλληλα προτείνονται ιδέες και βελτιώσεις για το ενεργειακό σύστημα.

Τα δημογραφικά και μετεωρολογικά δεδομένα αντλήθηκαν από στατιστικές και μετεωρολογικές υπηρεσίες. Τα τεχνολογικά δεδομένα αντλήθηκαν από την βιβλιογραφία καθώς και από τεχνικές εταιρίες κατασκευής μηχανών παραγωγής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές.

## **Abstract**

The present thesis entitled “The transformation of Kozani to a Smart and Sustainable City with high exploitation of Renewable Energy Sources to cover Electrical and Thermal needs after the decarbonization” was devised under the course “Renewable Energy Sources” that is offered by the Fluids Sector of the Mechanical Engineering Faculty of the National Technical University of Athens. Its object is the study and modeling through the EnergyPlan program of the energy system of the city of Kozani which will cover its energy needs exclusively from 100% Renewable Energy Sources, excluding the transport sector.

Initially, the energy needs of the city in both electricity and heat demand are studied. Then, the potential of the Renewable Energy Sources of the region is evaluated and based on this, technologies are proposed which will make the most of this potential by covering the energy needs of the city. Then, through EnergyPlan, the potential and the proposed technologies are modeled in the best way, with the aim of energy, environmental and economic sustainability. In the end, the results are evaluated, while at the same time ideas and improvements for the energy system are proposed.

Demographic and meteorological data were obtained from statistical and meteorological services. The technological data were extracted from the literature as well as from technical companies manufacturing energy generating machines from Renewable Sources.

### **Συνομεύσεις – Αρκτικόλεξα**

ΑΕΠ : Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν

ΑΗΣ : Ατμοηλεκτρικός Σταθμός

ΑΠΕ : Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΔΕΔΔΗΕ : Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΕΗ : Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

ΕΕ : Ευρωπαϊκή Ένωση

ΕΛΣΤΑΤ : Ελληνική Στατιστική Αρχή

ΕΣΕΚ : Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα

ΜΥΗΣ : Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός

ΤΠΕ : Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών

CHP : Combined Heat and Power

COP : Coefficient of Performance

IEA : International Energy Agency

HDD : Heating Degree Days

LCOE : Levelized Cost of Energy

LED : Light-Emitting Diode

PV : Photovoltaics

## 1.Εισαγωγή

### 1.1 Σκοπός της Εργασίας

Η ευρεία χρήση των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας τα τελευταία 100 χρόνια οδήγησε σε πολύ σοβαρά προβλήματα το οικοσύστημα του πλανήτη. Από τη δεκαετία του 1990, με την παρατήρηση της κλιματικής αλλαγής και του φαινομένου του θερμοκηπίου καθώς και της επικείμενης εξάντλησης των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, το ενδιαφέρον στράφηκε πιο έντονα από ποτέ στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με σκοπό την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και την αντιστροφή της υπερθέρμανσης του πλανήτη.



Στην Ελλάδα, η μεγαλύτερη και πιο πρόσφατη προσπάθεια για την μη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, είναι η απόφαση για την παύση χρήσης του λιγνίτη για παραγωγή ενέργειας σε εθνικό επίπεδο μέχρι το 2028. Η απόφαση αυτή, δεν μπορεί παρά να αποτελεί μια αναμενόμενη ενέργεια για την αντιμετώπιση των συνεπειών της χρήσης των ορυκτών καυσίμων και για την στροφή προς έναν «πράσινο» ενεργειακό κόσμο. Παρ'όλα αυτά, η απολιγνιτοποίηση επιφέρει μεγάλες δυσκολίες προσαρμογής στις περιοχές όπου υπήρχαν εδώ και πάνω από 50 χρόνια τα λιγνιτωρυχεία και οι μονάδες λιγνιτοπαραγωγής, δηλαδή στη Δυτική Μακεδονία και στην Αρκαδία. Παράλληλα, η παύση χρήσης του λιγνίτη για ορυκτό καύσιμο οδηγεί αρχικά στην παύση της ενεργειακής ανεξαρτησίας της χώρας.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η προσπάθεια για τη δημιουργία ενός εναλλακτικού πλάνου για την μετά-λιγνίτη εποχή στην Ελλάδα. Η πόλη της Κοζάνης, μια πόλη που εδώ και 50 και πλέον χρόνια είναι ταυτισμένη με τον λιγνίτη, διατρέχει τον κίνδυνο να ερημώσει τόσο κοινωνικά όσο και οικονομικά μετά την εφαρμογή της απολιγνιτοποίησης. Έτσι, στόχος της εργασίας αυτής είναι η εκπόνηση ενός ρεαλιστικού και άμεσα εκτελέσιμου σχεδίου για την κοινωνική και οικονομική αναζωογόνηση της πόλης, η οποία ταυτόχρονα θα αποτελέσει εθνικό και ευρωπαϊκό πρότυπο και παράδειγμα για την πράσινη και βιώσιμη ενέργεια καθώς και για την ενεργειακή αυτονομία της.

Ένας ακόμα στόχος της μελέτης αυτής είναι η ενθάρρυνση της δημιουργίας σύγχρονων συστημάτων ενέργειας τα οποία θα είναι ευέλικτα ως προς την παρακολούθηση και τον χειρισμό τους. Με αυτό το σκεπτικό επιλέχθηκε και το πρόγραμμα EnergyPlan ως ένα εργαλείο το οποίο μπορεί να προσφέρει μια αναλυτική και ολιστική προσέγγιση ενός νέου τύπου συστήματος ενέργειας το οποίο θα αποτελείται από 100% Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, θα καλύπτει νέες τεχνολογίες για την χρήση της περίσσειας της ηλεκτρικής ενέργειας για παραγωγή θερμότητας, ενώ παράλληλα θα έχει στόχο την ελαχιστοποίηση του καυσίμου, της βιομάζας δηλαδή, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής άρα και πώλησης της ενέργειας, αλλά κυρίως την ουσιαστική βιωσιμότητα του συστήματος λαμβάνοντας υπόψιν το διαθέσιμο δυναμικό της βιομάζας.

## 1.2 Δομή της Εργασίας

Στην *πρώτη ενότητα* της εργασίας αυτής αναλύεται ο σκοπός της εργασίας καθώς και η δομή που αυτή έχει.

Στη *δεύτερη ενότητα* δίνονται γενικές πληροφορίες για την πόλη και τον Δήμο της Κοζάνης, γίνεται μια ιστορική αναδρομή της εξόρυξης του λιγνίτη και της λιγνιτοπαραγωγής καθώς και τις συνέπειες που αυτές είχαν στην πόλη, ενώ αναλύεται και το ευρωπαϊκό και εθνικό πλαίσιο της απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.

Στην *τρίτη ενότητα* αναλύονται οι έννοιες «Έξυπνη Πόλη» και «Βιώσιμη Πόλη», δίνονται παραδείγματα αυτών, ενώ παρουσιάζεται και το project «Κοζάνη – Έξυπνη Πόλη».

Στην *τέταρτη ενότητα* γίνεται ανάλυση της λειτουργίας του προγράμματος EnergyPlan που χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση και την προσομοίωση του συστήματος ενέργειας της πόλης της Κοζάνης.

Στην *πέμπτη ενότητα* παρουσιάζονται τα δεδομένα και η κατανομή της ζήτησης της ηλεκτρικής και της θερμικής ενέργειας για την πόλη της Κοζάνης, όπως και τα δεδομένα για το δυναμικό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ενώ γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στη σημαντικότητα της βιομάζας, το διαθέσιμο δυναμικό της περιοχής και την προοπτική των ενεργειακών καλλιεργειών.

Στην *έκτη ενότητα* παρουσιάζονται διαφορετικά σενάρια για την υλοποίηση του ενεργειακού συστήματος, αναλύονται και αποτυπώνονται γραφικά τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του προγράμματος και στο τέλος γίνεται η αξιολόγηση και η σύγκριση αυτών και γίνονται προτάσεις και πιθανές βελτιώσεις για την εξέλιξη του σχεδίου αυτού.

Στην *έβδομη ενότητα* παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης.

## 2.Κοζάνη

### 2.1. Γενικά

Η Κοζάνη είναι πόλη της Δυτικής Μακεδονίας, έδρα του δήμου Κοζάνης και πρωτεύουσα της Περιφερειακής Ενότητας Κοζάνης στη Δυτική Μακεδονία. Επίσης, αποτελεί την έδρα της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας. Είναι χτισμένη ανάμεσα στις οροσειρές του Βερμίου, του Μπούρινου και των Πιερίων, 15 χιλιόμετρα βορειοδυτικά της λίμνης του Πολυφύτου, σε υψόμετρο 720 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας.[1] Απέχει 120 χιλιόμετρα από τη Θεσσαλονίκη και 470 χιλιόμετρα από την Αθήνα. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 είχε πληθυσμό 41.066 κατοίκους.[2]

Ο δήμος Κοζάνης έχει έδρα την πόλη της Κοζάνης, ενώ ιστορική του έδρα είναι η πόλη της Αιανής. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 είχε πληθυσμό 71.388 κατοίκους.

Η πόλη της Κοζάνης καθώς και η ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας είναι γνωστή από το 1950 ως η περιοχή με τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην ηλεκτρική ενέργεια της Ελλάδας. Μεγάλο μέρος του πληθυσμού εργάζεται στα ατμοηλεκτρικά εργοστάσια της Δ.Ε.Η. τα οποία παράγουν ηλεκτρισμό με πρώτη ύλη το λιγνίτη καθώς και στα λιγνιτωρυχεία της λεκάνης Πτολεμαΐδος και Κοζάνης, καθώς εκεί βρίσκεται ένα από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα λιγνίτη της Ευρώπης.

Η περιοχή της Κοζάνης είναι επίσης γνωστή για την παραγωγή μαρμάρου, φρούτων και του κρόκου Κοζάνης.

Στην πόλη της Κοζάνης βρίσκονται το πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας και το Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας. [3]

## 2.2. Εκμετάλλευση κοιτασμάτων λιγνίτη και Ατμοηλεκτρικά Εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

### 2.2.1. Λιγνιτωρυχεία

Το ξεκίνημα της συστηματικής έρευνας για την εντόπιση και την εξόρυξη λιγνίτη στην ευρύτερη περιοχή της Πτολεμαΐδας και της Κοζάνης έγινε περί το 1938. Το 1955 συστάθηκε η εταιρεία ΛΙΠΤΟΛ (το 1975 συγχωνεύθηκε με τη ΔΕΗ) η οποία είχε ως κύριο στόχο την εκμετάλλευση και την εξόρυξη λιγνίτη στην περιοχή με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και για άλλες παραγωγές στη βιομηχανία. Ενδεικτικά, το 1959 η παραγωγή του λιγνίτη στην περιοχή ανερχόταν σε 1.3 εκατομμύρια τόνους, ενώ το 2006 έφτασε τους 49 εκατομμύρια τόνους (λαμβάνοντας υπόψιν και το ορυχείο στη Φλώρινα). Συνολικά η ΔΕΗ παράγει ετήσια περίπου 63 εκατομμύρια τόνους λιγνίτη το χρόνο κάτι που την κατατάσσει δεύτερη στην παραγωγή του στην Ευρωπαϊκή Ένωση, πέμπτη στην Ευρώπη και έκτη στον κόσμο. [4]

Σήμερα, τα λιγνιτωρυχεία καλύπτουν μια έκταση περίπου 170 χιλιάδων στρεμμάτων. Η περιοχή αυτή η οποία απαλλοτριώθηκε από τη Δ.Ε.Η. ήταν κυρίως αγροτική. Επίσης, στην έκταση αυτή υπήρχαν αρκετά χωριά των οποίων ο πληθυσμός μετακινήθηκε και μετεγκαταστάθηκε.

Για την εξόρυξη του λιγνίτη χρησιμοποιούνται 42 καδοφόροι εκσκαφείς, 16 αποθέτες, 225 km περίπου ταινιόδρομοι (με πλάτος 1,0 - 2,4 μέτρα) και 1.000 περίπου ντιζελοκίνητα μηχανήματα.



*Εικόνα 2.1 Λιγνιτωρυχεία Κοζάνης*

### 2.2.2.Ενεργειακές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι πρώτες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή εγκαταστάθηκαν από τη ΛΙΠΤΟΛ το 1959 και είχαν συνολική ισχύ 43 MW.

Τα έτη 1959-1965 τέθηκε σε λειτουργία ο ΑΗΣ Πτολεμαΐδας της ΔΕΗ με τρεις μονάδες ισχύος (70,125 και 125 MW), ενώ σε αυτές προστέθηκε το 1981 και τέταρτη μονάδα ισχύος 300 MW , ανεβάζοντας εν τέλει τη συνολική ισχύ του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας στα 620 MW.

Το 1981 επίσης ολοκληρώνεται και ο ΑΗΣ Καρδιάς με 4 μονάδες (300,300,325 και 325 MW), δηλαδή συνολικής ισχύος 1250 MW.

Τα έτη 1984 έως 1987 τίθενται σε λειτουργία και οι ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου Κοζάνης και ο ΑΗΣ Αμυνταίου.

Ο ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου Κοζάνης αποτελούταν από 4 μονάδες (300,300,310 και 310 MW), στις οποίες προστέθηκε και μια πέμπτη ισχύος 375 MW το 1997 ανεβάζοντας την συνολική ισχύ του ΑΗΣ στα 1595 MW.[5]

Ο ΑΗΣ Αμυνταίου αποτελούταν από 2 μονάδες ισχύος 300 MW η καθεμία, έχοντας δηλαδή 600 MW συνολική εγκατεστημένη ισχύ.

Τέλος, το 2003 τέθηκε σε λειτουργία και ο ΑΗΣ Μελίτης-Αχλάδας με μια μόνο μονάδα ισχύος 330 MW.

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ	$10+33 = 43$
ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ	$70 + 2 \times 125 + 300 = 620$
ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	$2 \times 300 + 2 \times 325 = 1.250$
ΑΗΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	$2 \times 300 + 2 \times 310 + 375 = 1.595$
ΑΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	$2 \times 300 = 600$
ΑΗΣ ΜΕΛΙΤΗΣ-ΑΧΛΑΔΑΣ	$1 \times 330 = 330$
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>4.438</b>

Πίνακας 2.1: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην περιοχή Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου-Κοζάνης



Εικόνα 2.2 ΑΗΣ Καρδιάς

## 2.3. Επιπτώσεις λιγνιτοπαραγωγής

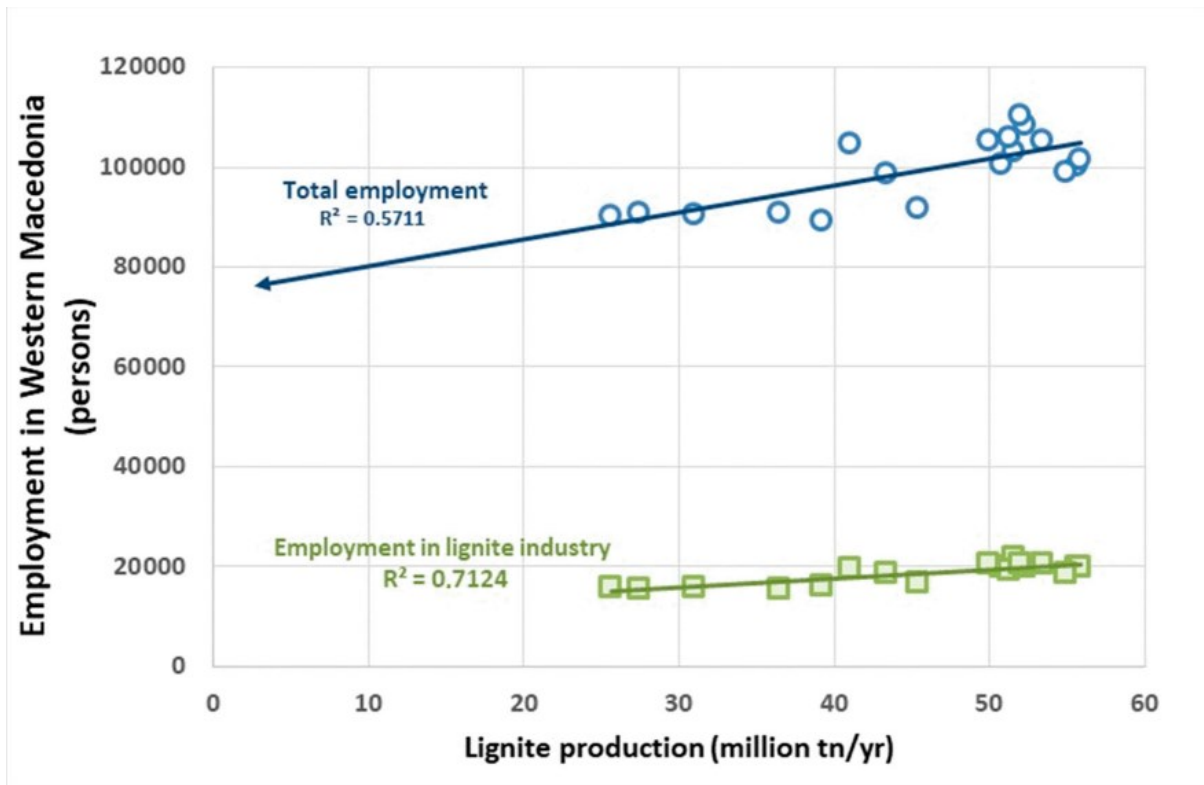
### 2.3.1. Οικονομικές επιπτώσεις

Η εξόρυξη του λιγνίτη και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τους ΑΗΣ άλλαξε άρδην την περιοχή τόσο της Κοζάνης, όσο και της Πτολεμαΐδας και του Αμύνταιου. Μια κυρίως αγροκτηνοτροφική περιφέρεια μετατράπηκε σε ταχύτατους ρυθμούς σε μια βιομηχανική ζώνη. Οι αγρότες της περιοχής μετατράπηκαν σε εργάτες τόσο στα λιγνιτωρυχεία όσο και στους ΑΗΣ. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, στην περιφερειακή ενότητα της Κοζάνης το 2017 εργάζονταν πάνω από 5 χιλιάδες άτομα στον τομέα της Εξόρυξης/Ενέργειας από τη ΔΕΗ, ενώ σύμφωνα με άλλες

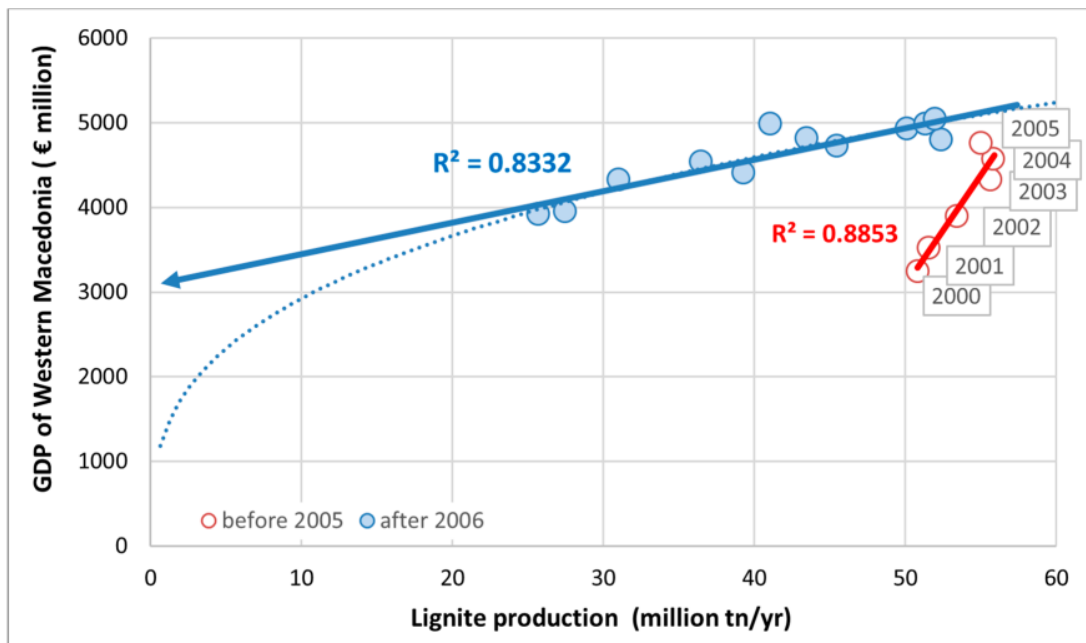
εκτιμήσεις οι θέσεις εργασίες στον ιδιωτικό τομέα γύρω από την παραγωγή ενέργειας ήταν γύρω στις 15 χιλιάδες.[6]

Επιπρόσθετα παρατηρείται πως η εκμετάλλευση του λιγνίτη στη Δυτική Μακεδονία αύξησε τόσο την απασχόληση όσο και το ΑΕΠ της περιοχής.[7]

Παράλληλα από το 1993 στην πόλη της Κοζάνης λειτουργεί δίκτυο τηλεθέρμανσης το οποίο τροφοδοτείται από τους ΑΗΣ της περιοχής. Η τηλεθέρμανση καλύπτει σχεδόν όλα τα νοικοκυριά της πόλης (27.222) και έχει ετήσιο φορτίο 357.655 MWh με πολύ χαμηλές απώλειες (4.8%). Έτσι η τιμή της θερμικής ενέργειας για τους καταναλωτές είναι πολύ χαμηλή στο επίπεδο των 43 €/MWh.[8] [9]



Εικόνα 2.3 Απασχολούμενα άτομα στη Δυτική Μακεδονία-Παραγωγή λιγνίτη



Εικόνα 2.4 ΑΕΠ Δυτικής Μακεδονίας- Παραγωγή Λιγνίτη

## 2.3.2. Κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

### 2.3.2.1. Εκκενώσεις οικισμών

Από το 1972 έχουν εκκενωθεί δεκάδες χωριά για την εκμετάλλευση του λιγνίτη στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας και ως αποτέλεσμα αυτού έχουν μετεγκατασταθεί από τον μόνιμο τόπο κατοικίας τους χιλιάδες άνθρωποι, με χαρακτηριστικά παραδείγματα τους οικισμούς Καρδιά, Εξοχή, Χαραυγή και Κόμανος.[10]

### 2.3.2.2. Ρύπανση και δημόσια υγεία

Η καύση του λιγνίτη καθώς και η εξόρυξη και η μεταφορά του, ευθύνεται μέχρι και σήμερα για το 30% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα. Εκτός από τα αέρια του θερμοκηπίου, η καύση του λιγνίτη απελευθερώνει και άλλες τοξικές ουσίες και βαρέα μέταλλα. Οι ουσίες αυτές συνδέονται με ασθένειες του αναπνευστικού αλλά και καρκίνους.

Σύμφωνα με μελέτες, στην περιφερειακή ενότητα της Κοζάνης τα σωματίδια PM10 της ατμόσφαιρας μετρήθηκαν 20% πάνω από το επιτρεπτό όριο.[11]

Σύμφωνα επίσης με πρόσφατες έρευνες, στην Κοζάνη και στην Πτολεμαΐδα παρατηρήθηκε αύξηση των ασθενειών της ρινίτιδας και της μολυσματικής βρογχίτιδας, ενώ μόνο για το έτος 2009 οι θάνατοι λόγω ρύπανσης του αέρα στη Δυτική Μακεδονία ήταν 461.[12] [13] [14]

## 2.4 Απολιγνιτοποίηση

### 2.4.1. Οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την καθαρή ενέργεια και την κλιματική αλλαγή

Στο πλαίσιο της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) διαμόρφωσε και παρουσίασε το 2019 το νομοθετικό πακέτο «Καθαρή Ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους» ή αλλιώς «Clean Energy for all Europeans». Πρόκειται για ένα σχέδιο με σαφείς στόχους την μετάβαση σε ένα ενεργειακό μίγμα με πλήρη απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.[15]

Η στρατηγική της ΕΕ είναι στην ουσία η επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2050, θέτοντας ενδιάμεσους στόχους για το 2030. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, η ΕΕ δημοσίευσε τον Δεκέμβριο του 2019 την «Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία» ή αλλιώς «European Green Deal», ένα σύνολο πρωτοβουλιών και αναπτυξιακών στρατηγικών με σκοπό την επανεξέταση των υφιστάμενων νόμων σχετικά με το κλίμα, καθώς επίσης και την δημιουργία νομοθεσίας για την γεωργία, την κυκλική οικονομία, την ανακαίνιση κτιρίων και την βιοποικιλότητα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι κύριοι στόχοι της ΕΕ για την ενέργεια και το κλίμα είναι:

- Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 50-55% μέχρι το 2030
- Η συμμετοχή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην τελική κατανάλωσης ενέργειας τουλάχιστον 32% μέχρι το 2030
- Η βελτίωση της Ενεργειακής Αποδοτικότητας τουλάχιστον κατά 32,5% μέχρι το 2030
- Η εκπόνηση και η κατάθεση από κάθε κράτος μέλος της ΕΕ Εθνικών Σχεδίων για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) για την περίοδο 2021-2030, καθώς και η ανάπτυξη μακροχρόνιων στρατηγικών για την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050. [16]

### 2.4.2. Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ)

Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) θέτει τη στρατηγική της Ελλάδας προς μια κλιματικά ουδέτερη ΕΕ λαμβάνοντας υπόψιν τα χαρακτηριστικά του ενεργειακού συστήματος της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα οι βασικοί στόχοι που προβλέπει είναι:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 42% μέχρι το 2030 σε σύγκριση με τις εκπομπές αερίων το 1990 και κατά τουλάχιστον 56% σε σύγκριση με αυτές του 2005
- Αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ σε 35% τουλάχιστον στην τελική κατανάλωση ενέργειας και σε 61-64% στην ηλεκτροπαραγωγή έως το 2030
- Βελτίωση της Ενεργειακής Αποδοτικότητας κατά τουλάχιστον 38% μέχρι το 2030 σε σχέση με αυτής του 2007



- Μηδενικό ποσοστό της χρήσης του λιγνίτη ως καύσιμο στην ηλεκτροπαραγωγή έως το 2028.

Για τον τελευταίο στόχο της απολιγνιτοποίησης τέθηκε ακριβές χρονοδιάγραμμα το οποίο προβλέπει της απόσυρση όλων των λιγνιτικών μονάδων συνολικής ισχύος 3,35 GW έως το 2023 κι την αλλαγή καυσίμου εντός του 2028 στη νέα λιγνιτική μονάδα «Πτολεμαΐδα V» η οποία θα έχει εγκατεστημένη ισχύ 610 MW και θα συνδεθεί με το δίκτυο το 2022.

#### 2.4.3 Η προοπτική της απολιγνιτοποίησης στην Κοζάνη

Η εξάρτηση από τον λιγνίτη στην πόλη της Κοζάνης έχει διαμορφώσει σε πολύ μεγάλο βαθμό την ζωή στην πόλη σε όλους τους τομείς. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2.3.1. , η Κοζάνη εδώ και 50 πλέον χρόνια έχει ταυτιστεί με την εξόρυξη του λιγνίτη και τη λειτουργία των ΑΗΣ στην ευρύτερη περιοχή. Η συστηματική απασχόληση των κατοίκων της πόλης γύρω από την εξόρυξη και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι εκκενώσεις χωριών και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την καύση του λιγνίτη έχουν προσδιορίσει πλέον την Κοζάνη.

Η απολιγνιτοποίηση είναι μια διαδικασία η οποία έχει τη δυνατότητα να αναγεννήσει την πόλη και να ανεβάσει την ποιότητα ζωής μέσα σε αυτήν. Παρ'όλα αυτά, είναι μια διαδικασία η οποία αν δεν εκτελεστεί με τρόπο μεθοδικό λαμβάνοντας υπόψιν όλους τους οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες, μπορεί να νεκρώσει την Κοζάνη τόσο κοινωνικά όσο και οικονομικά.

Ήδη από την δημοσιοποίηση του ΕΣΕΚ, έχουν υπάρξει διάφορες αντιδράσεις από την τοπική κοινωνία με κύριο γνώμονα το κομμάτι της επικείμενης ανεργίας , την κάλυψη του δικτύου της τηλεθέρμανσης καθώς και προβληματισμούς γύρω από το ποια μορφή μπορεί να πάρει μια πόλη η οποία εδώ και 50 χρόνια ζει από τον λιγνίτη.

Σε αυτήν την εργασία δίνεται έμφαση στον τρόπο με τον οποίο μπορεί μια πόλη η οποία ήταν σύμβολο της απαρχαιωμένης ρυπογόνου ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του άνθρακα, να μετατραπεί σε μια πόλη πρότυπο γύρω από τις έννοιες της πράσινης ενέργειας, της αυτονομίας και της βιωσιμότητας. Μέχρι και σήμερα υπάρχουν ήδη προτάσεις για την αποκατάσταση και εκμετάλλευση των 170 χιλιάδων στρεμμάτων στα οποία βρίσκονται σήμερα τα λιγνιτωρυχεία της περιοχής και την εγκατάσταση πάρκων παραγωγής ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες μαζί με την εγκατάσταση λεβήτων φυσικού αερίου θα καλύπτουν τις ανάγκες της Κοζάνης και της Πτολεμαΐδας για ηλεκτρισμό και θέρμανση. Παραταύτα, σε αυτήν την εργασία προτείνεται μια λύση για την μετατροπή της Κοζάνης τόσο σε μια «έξυπνη» και «βιώσιμη» πόλη (Smart and Sustainable city) όσο και στην πρώτη πόλη της Ελλάδας η οποία θα καλύπτει τις ανάγκες της για ηλεκτρισμό και θέρμανση αποκλειστικά από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με τη χρήση λογισμικών και «έξυπνων συστημάτων» (Smart Systems). Η πρόταση αυτή έχει σκοπό

τόσο να αναγεννήσει την κοινωνική και οικονομική ζωή της πόλης, όσο και να λειτουργήσει ως πρότυπο και οδηγός προς μια παγκόσμια ενεργειακή πολιτική με 100% Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

## 3. Έξυπνη και Βιώσιμη Πόλη

### 3.1.«Έξυπνη Πόλη»

#### 3.1.1. Ορισμός «Έξυπνης Πόλης»

Η έννοια της «έξυπνης πόλης» εμφανίστηκε πρώτη φορά τη δεκαετία του 1960 στις Η.Π.Α. και στις εφημερίδες και στα μέσα μαζικής ενημέρωσης, ενώ γύρω στο 1990 ξεκίνησε να αποκτά ακόμα μεγαλύτερη προβολή. Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για το τι είναι μια «έξυπνη πόλη» οι οποίοι μπορούν να συνοψιστούν στον παρακάτω ορισμό:

«Έξυπνη πόλη είναι η πόλη η οποία χρησιμοποιεί πληροφοριακές και υπολογιστικές τεχνολογίες με σκοπό να μετατρέψει τις υποδομές της (υπηρεσίες, εκπαίδευση, υγεία, δημόσια ασφάλεια, μεταφορές και άλλες) σε πιο αποτελεσματικές και διασυνδεδεμένες. Ταυτόχρονα, είναι μια πόλη η οποία προσπαθεί να μετατραπεί σε περισσότερο αποδοτική, βιώσιμη, ισότιμη και φιλική προς το περιβάλλον με την ενεργό συμμετοχή ενεργών και συνειδητοποιημένων πολιτών.» [17] [18]

Σύμφωνα με μελέτη της Γενικής Διεύθυνσης Εσωτερικής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 2014 δίνεται ένας πιο ολιστικός ορισμός της «έξυπνης πόλης» ως παρακάτω:

«η έξυπνη πόλη βασίζεται ουσιαστικά στη χρήση τεχνολογιών (ιδίως Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών / ΤΠΕ) για τη βελτίωση στην ανταγωνιστικότητα και τη διασφάλιση ενός πιο βιώσιμου μέλλοντος με συμβιωτική σύνδεση δικτύων ανθρώπων, επιχειρήσεων, τεχνολογιών, υποδομών κατανάλωσης ενέργειας και χώρων. Μια έξυπνη πόλη είναι μια πόλη που επιδιώκει να αντιμετωπίσει δημόσια ζητήματα μέσω λύσεων που βασίζονται στις ΤΠΕ, με βάση μια πολυτομεακή κοινοτική συνεργασία. Αυτές οι λύσεις αναπτύσσονται και βελτιώνονται μέσω των πρωτοβουλιών της «έξυπνης πόλης», είτε ως ξεχωριστά έργα. είτε (συνηθέστερα) ως ένα δίκτυο αλληλοεπικάλυψης δραστηριοτήτων».

Η «έξυπνη πόλη» επίσης, αποτελείται από έξι χαρακτηριστικά τα οποία αλληλοσυνδέονται και αυτά είναι:

- Έξυπνη διακυβέρνηση
- Έξυπνη διαβίωση
- Έξυπνη κινητικότητα
- Έξυπνη οικονομία
- Έξυπνοι άνθρωποι
- Έξυπνο περιβάλλον

Για την επιτυχία της «έξυπνης πόλης» μπορούν λοιπόν να οριστούν οι εξής προϋποθέσεις:

- Ισότητα (πρόσβαση στο διαδίκτυο σε όλους ανεξαρτήτως)
- Αλληλεγγύη (προς τους πολίτες και ιδιαίτερα προς τους πολίτες των περιοχών που υστερούν)
- Συμμετοχή των πολιτών
- Ποιότητα υπηρεσιών και προγραμμάτων
- Εμπιστοσύνη στις υπηρεσίες [19] [20] [21] [22]

## 3.2.Βιώσιμη Πόλη

### 3.2.1.Ορισμός Βιώσιμης Πόλης

Η βιώσιμη ή πράσινη πόλη μπορεί αρχικά να οριστεί ως μια υποκατηγορία της «έξυπνης πόλης» μαζί με τις ψηφιακές πόλεις, τις εικονικές πόλεις, τις ευρυζωνικές πόλεις και τις πόλεις της πληροφορίας. Ως βιώσιμη ή πράσινη πόλη, ορίζεται η πόλη η οποία έχει σχεδιαστεί με γνώμονα το κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό της αντίκτυπο καλύπτοντας τις ανάγκες του υπάρχοντος πληθυσμού χωρίς να διακινδυνεύει την δυνατότητα στην κάλυψη των ίδιων αναγκών για τις επόμενες γενιές. Σύμφωνα με τους στόχους Βιωσιμότητας των Ενωμένων Εθνών, βιώσιμες πόλεις θεωρούνται οι πόλεις που είναι αφοσιωμένες στο να πετύχουν πράσινη-οικολογική, οικονομική και κοινωνική βιωσιμότητα. Μια βιώσιμη πόλη μπορεί να επιτευχθεί μέσα από την προσπάθεια για μείωση των αναγκών για ενέργεια, παράλληλα με τη μείωση των απορριμμάτων και την μόλυνση του περιβάλλοντος. Αυτό μπορεί να συμβεί με μέσα όπως η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και η ανακύκλωση. [23] [24] [25]

## 3.3.Παραδείγματα Έξυπνων και Βιώσιμων Πόλεων

### 3.3.1. Άμστερνταμ

Η πόλη του Άμστερνταμ είναι η πρώτη εφαρμογή της «έξυπνης πόλης» στην Ευρώπη. Ξεκίνησε το 1994 ως μια προσπάθεια για τη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ των πολιτών και της κοινοτικής αρχής. Η επικοινωνία αυτή θα γινόταν κυρίως μέσω διαδικτύου κι έτσι εγκαταστάθηκαν πολλοί τερματικοί σταθμοί και μόντεμ σε δημόσιους χώρους όπως βιβλιοθήκες. Το αρχικό αυτό πείραμα είχε πολύ μεγάλη επιτυχία και απήχηση έτσι ώστε αύξησε πολύ το ενδιαφέρον των πολιτών για το διαδίκτυο.

Η μεγάλη επιτυχία του πειράματος οδήγησε σε μεγαλύτερες ανάγκες από τους πολίτες για περισσότερες υπηρεσίες από την «έξυπνη πόλη» του Άμστερνταμ. Έτσι, από το 2009, αναπτύχθηκε η πρωτοβουλία για τη δημιουργία της «Έξυπνης Πόλης του Άμστερνταμ» (Amsterdam Smart City (ACS)). Η ACS αναπτύχθηκε από τις δημοτικές αρχές της πόλης σε συνεργασία με ιδιωτικές εταιρίες, ερευνητικά ιδρύματα και οργανώσεις πολιτών. Η

πρωτοβουλία χρηματοδοτείται από τον Δήμο (20%) , από τον ιδιωτικό τομέα (ιδιωτικός πάροχος ηλεκτρισμού Liander) και από ευρωπαϊκά κονδύλια (40%).

Οι κύριοι στόχοι της πρωτοβουλίας ήταν η μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας, η παροχή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα κατά 40% μέχρι το 2025 και η γενικότερη βελτίωση της οικονομίας και της ποιότητας ζωής στην πόλη. Μερικά από τα έργα της ACS στην πόλη του Άμστερνταμ είναι:

- η δημιουργία πλατφόρμας ανοικτών δεδομένων
- η τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων
- οι ανακαινίσεις κτηρίων και οι τεχνολογίες «Έξυπνων κτηρίων» για την εξοικονόμηση ενέργειας
- η χρήση ενεργειακών μετρητών για την παρακολούθηση της οικιακής ενεργειακής κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο.[26]

### 3.3.2. Βαρκελώνη

Η πόλη της Βαρκελώνης, μέσω το Δήμου της Βαρκελώνης το 2011 συγκρότησε ένα στρατηγικό σχέδιο έτσι ώστε να συντονιστεί και να αναπτυχθεί ένα πλάνο ώστε η πόλη να μετατραπεί σε «έξυπνη πόλη». Το 2014 της απονεμήθηκε το βραβείο της πρώτης Ευρωπαϊκής πρωτεύουσας της καινοτομίας (iCapital), για την εισαγωγή της χρήσης νέων τεχνολογιών με τη συμμετοχή των πολιτών.

Το στρατηγικό σχέδιο για την πόλη της Βαρκελώνης προέβλεπε την ανάπτυξη της βιωσιμότητας και την αυτονομία της ενέργειας (με τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας), τη δημιουργία ανοικτών βάσεων δεδομένων και ευέλικτων έξυπνων υπηρεσιών, ενώ παράλληλα ενθάρρυνε και τις διασυνδέσεις ερευνητών τόσο από δημόσιους όσο και ιδιωτικούς τομείς με εμβάθυνση στους παραπάνω τομείς.

Μερικά από τα πιο σημαντικά έργα που υλοποιήθηκαν στην πόλη είναι:

- η εγκατάσταση δημόσιου φωτισμού τεχνολογίας LED μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας
- η εγκατάσταση έξυπνων κάδων απορριμμάτων οι οποίοι λειτουργούν με κενό αέρος για την μείωση της μυρωδιάς καθώς και της ηχορύπανσης από τα απορριμματοφόρα
- η δημιουργία συστήματος κοινής χρήσης δημόσιων ποδηλάτων
- ο εξοπλισμός του δικτύου μεταφορών με υβριδικά λεωφορεία και οι «έξυπνες στάσεις» με οθόνες οι οποίες τροφοδοτούνται από Φωτοβολταϊκά πάνελ

- η εγκατάσταση αισθητήρων οι οποίοι προσφέρουν δεδομένα για την θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία και την ατμοσφαιρική πίεση βοηθώντας έτσι στην μείωση της χρήσης του νερού για την άρδευση κατά 25%. [27] [28]

### 3.3.3. Τρίκαλα

Το 2004 η πόλη των Τρικάλων ανακηρύχθηκε ως η «πρώτη Ψηφιακή πόλη της Ελλάδας», ενώ το 2008 δημιουργήθηκε η ανώνυμη δημοτική εταιρεία e-Trikala με σκοπό τη δημιουργία υπηρεσιών και υποδομών με σκοπό τη μετατροπή της πόλης σε ψηφιακή με βάση τις Τεχνολογίες Πληροφοριών και Υπηρεσιών.

Μερικά από τα πιο σημαντικά έργου του δήμου Τρικκαίων στην πόλη των Τρικάλων είναι:

- η εγκατάσταση ειδικών μηχανημάτων τύπου ATM τα οποία παρέχουν νυχθημερόν τη δυνατότητα στους πολίτες να εκτυπώνουν δημόσια έγγραφα και πιστοποιητικά
- η δωρεάν πρόσβαση για τους πολίτες σε δίκτυο Wi-Fi σε όλο το εμπορικό κέντρο της πόλης
- η υλοποίηση Συστήματος Έξυπνου Φωτισμού τεχνολογίας LED για τη διαχείριση του δημόσιου φωτισμού και την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας έως και 60%
- η υλοποίηση Συστήματος Έξυπνης Διαχείρισης Στάθμευσης με τη χρήση αισθητήρων για την εύρεση και την απεικόνιση θέσεων στάθμευσης στο κέντρο της πόλης
- η δημιουργία Συστήματος Παρακολούθησης Περιβαλλοντικών Συνθηκών μέσω αισθητήρων
- η δημιουργία συστήματος για την παρακολούθηση της πληρότητας των κάδων απορριμμάτων με σκοπό τη βελτίωση των δρομολογίων των απορριματοφόρων και της πιο άμεσης αποκομιδής των απορριμμάτων. [29]

### 3.3.4. Κοπεγχάγη

#### 3.3.4.1. Δανία και Βιωσιμότητα

Τελευταίο και πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα για τη συγκεκριμένη εργασία αποτελεί η πρωτεύουσα της Δανίας, η Κοπεγχάγη. Στην Δανία το 1994 διεξήχθη το πρώτο Ευρωπαϊκό Συνέδριο για τις Βιώσιμες πόλεις, στην πόλη της χώρας Άαλμποργκ, όπου και εγκρίθηκε η πρωτοβουλία «Καταστατικό των Ευρωπαϊκών Βιώσιμων Πόλεων προς την Βιωσιμότητα» ή αλλιώς Καταστατικό του Άαλμποργκ (Aalborg Charter). Η πρωτοβουλία αυτή είχε σκοπό την κατανόηση της έννοιας της βιωσιμότητας και την ανάπτυξη ενός πλαισίου στο οποίο αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε τοπικό επίπεδο (πόλεις και δήμους) και έχει υπογραφεί από πάνω από 3 χιλιάδες τοπικές κοινότητες σε πάνω από 40 χώρες.

Από τότε μέχρι και σήμερα η Δανία, κυρίως μέσω του πανεπιστημίου του Aalborg, έχει κάνει πολύ μεγάλη έρευνα σχετικά με τις βιώσιμες πόλεις εφαρμόζοντας τεχνικές και ιδέες τόσο

στην πόλη του Άαλμποργκ, όσο και στην Κοπεγχάγη, αναπτύσσοντας παράλληλα και διάφορα εργαλεία για την μοντελοποίηση ενεργειακών μοντέλων για βιώσιμες πόλεις με 100% παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας όπως για παράδειγμα το EnergyPlan.[30] [31]

#### 3.3.4.2. Η περίπτωση της Κοπεγχάγης

Η Κοπεγχάγη είναι μια από τις πιο βιώσιμες και ενεργειακά αποδοτικές πόλεις στον κόσμο. Έχει στόχο να γίνει η πρώτη πρωτεύουσα του κόσμου με ουδέτερες εκπομπές άνθρακα μέχρι το 2025. Ένας ενδιαμέσος στόχος που είχε τεθεί ήταν η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, ο οποίος έχει επιτευχθεί ήδη από το 2011, ενώ μάλιστα η Κοπεγχάγη έχει μειώσει τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα κατά 50% σε σχέση με τις τιμές του 1995.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά παραδείγματα της βιωσιμότητας στην πόλη της Κοπεγχάγης είναι:

- η ανάπτυξη του δικτύου μεταφοράς καθώς και η δημιουργία υποδομών για τη χρήση ποδηλάτων από τους πολίτες με αποτέλεσμα το 62% περίπου των πολιτών να χρησιμοποιούν ποδήλατο για να μεταβούν στην εργασία τους ή στο εκπαιδευτικό τους ίδρυμα
- η ανάπτυξη δικτύου αισθητήρων με σκοπό την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτηρίων, καθώς και την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και της κατανάλωσης νερού
- η διατήρηση και η δημιουργία πράσινων χώρων με το 25% της πόλης να αποτελείται από πράσινο, ενώ επίσης έχει εισαχθεί η καινοτομία των «πράσινων ταρατσών» αυξάνοντας ακόμα περισσότερο το πράσινο της πόλης και παράλληλα μειώνοντας την περιβαλλοντική μόλυνση, την θερμοκρασία και την κατανάλωση του νερού
- η δημιουργία ενός από τα μεγαλύτερα δίκτυα τηλεθέρμανσης στον κόσμο με τη χρήση σταθμών συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας τα οποία χρησιμοποιούν κυρίως βιομάζα ή απορρίμματα, το οποίο καλύπτει τη θέρμανση του 98% περίπου των κατοικιών
- η δημιουργία ενός νέου δικτύου τηλεψύξης το οποίο εκμεταλλεύεται το κρύο νερό του λιμανιού της πόλης μειώνοντας έτσι κατά 70% την κατανάλωση ενέργειας συγκριτικά με τα παραδοσιακά συστήματα κλιματισμού[32] [33]

Σε όλα τα παραπάνω είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί πως η Δανία είναι μια από τις χώρες με την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (3η στην Ευρωπαϊκή Ένωση). Χαρακτηριστικά το 2018 το 33% της κατανάλωσης της ενέργειας ήταν από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (μέσος όρος Ευρωπαϊκής Ένωσης το 18%) , ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν το 61% (μέσος όρος Ευρωπαϊκής Ένωσης το 32%).

Επιπρόσθετα, οι στόχοι της Δανίας είναι η ολοκληρωτική παύση χρησιμοποίησης γαιάνθρακα (λιγνίτη) για την παραγωγή ενέργειας μέχρι το 2030, η παύση χρησιμοποίησης ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας μέχρι το 2035 και η 100% κάλυψη των ενεργειακών αναγκών από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μέχρι το 2050.[34]

Από τα παραπάνω γίνεται σαφής η σύνδεση της πόλης της Κοπεγχάγης και η ανάδειξη της ως πόλης-πρότυπο, ως μια από τις πιο βιώσιμες και πράσινες πόλεις του κόσμου, με τον στόχο της συγκεκριμένης εργασίας για την μετατροπή της Κοζάνης σε μια «έξυπνη, βιώσιμη και πράσινη πόλη» οι οποία θα καλύπτει αρχικά τις ανάγκες της για ηλεκτρισμό και θέρμανση αποκλειστικά από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

### 3.4. Η Κοζάνη «Έξυπνη Πόλη»

#### 3.4.1. Project «Κοζάνη – Έξυπνη Πόλη»

Τον Σεπτέμβριο του 2019 με πρωτοβουλία της Δημοτικής Αρχής της Κοζάνης δημιουργήθηκε Ομάδα Εργασίας με στόχο την εκπόνηση, τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του project «Κοζάνη – Έξυπνη Πόλη». Η Ομάδα Εργασίας, η οποία αποτελείται από επιστήμονες και συντονίζεται από στελέχη του Δήμου Κοζάνης, είχε συλλογικό σκοπό να παρέχει τεχνογνωσία και ιδέες με στόχο να δημιουργηθεί ένα πλάνο το οποίο θα μετατρέψει την Κοζάνη σε «Έξυπνη Πόλη» δίνοντας την καινούργια ζωή τόσο οικονομικά όσο και κοινωνικά στην εποχή της απολιγνιτοποίησης, αυξάνοντας σημαντικά την ποιότητα ζωής των πολιτών. Για την εκπόνηση του σχεδίου αυτού λήφθηκαν υπόψιν υπάρχοντα σχέδια όπως :

- Το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Κοζάνης 2014-2019
- Το Επιχειρησιακό Σχέδιο Στρατηγικής Βιώσιμης Αστικής Ανάπτυξης (ΕΣΣΒΑΑ) Δήμου Κοζάνης
- Το Στρατηγικό Σχέδιο Μάρκετινγκ Δήμου Κοζάνης
- Το Σχέδιο Δράσης για την Αειφόρο Ενέργεια του Δήμου Κοζάνης
- Το Επιχειρησιακό Σχέδιο «ΚΟΖΑΝΗ 2020+»
- Το Σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας (ΣΒΑΚ) Δήμου Κοζάνης

Παράλληλα ο Δήμος Κοζάνης συμμετείχε στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα STARDUST – Holistic and Integrated Urban Model for Smart Cities, το οποίο αποτελεί ένα πρόγραμμα το οποίο προετοιμάζει 7 πόλεις για την μετατροπή τους σε «Έξυπνες Πόλεις» όντας φιλικές προς στο περιβάλλον και επικεντρωμένες στους πολίτες.

#### 3.4.2. Προτάσεις του σχεδίου «Κοζάνη – Έξυπνη Πόλη»

Οι προτάσεις του σχεδίου «Κοζάνη – Έξυπνη Πόλη» κινούνται γύρω από πέντε βασικούς άξονες:

- Περιβάλλον και Ενέργεια (Smart Environment)
- Κινητικότητα – Μεταφορές (Smart Mobility)
- Έξυπνη Διαβίωση (Smart Living)

- Έξυπνοι Πολίτες (Smart People)
- Ηλεκτρονική Διακυβέρνηση (Smart Government)

Παρακάτω θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι προτάσεις για αυτούς τους άξονες, με έμφαση στο Smart Environment και το Smart Mobility.

#### *3.4.2.1. Smart Environment*

Οι προτάσεις οι οποίες εκπονήθηκαν έχουν άμεση προτεραιότητα την έξυπνη χρήση της ενέργειας, τον έλεγχο κατανάλωσης της ενέργειας, την ενεργειακή ανακαίνιση των κτηρίων, τον έλεγχο του φωτισμού, την ανακύκλωση και την έξυπνη διαχείριση απορριμμάτων και αποβλήτων. Μερικές από τις προτάσεις αυτές είναι οι παρακάτω:

- Αλλαγή του φωτισμού της πόλης με λαμπτήρες τεχνολογίας LED και έξυπνη διαχείριση του φωτισμού με αισθητήρες με στόχο την μείωση έως και 80% της ηλεκτρικής κατανάλωσης ενέργειας για τον δημόσιο φωτισμό
- Ευφυές σύστημα ενεργειακής κατανάλωσης και ενεργειακή αναβάθμιση κτηρίων με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας
- Πρότυπα πράσινα σχολεία με συστήματα ελέγχου της ενέργειας, εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών στις στέγες και φύτευση στους εξωτερικούς χώρους
- Επανασχεδιασμός διακομιδής απορριμμάτων και ανακύκλωσης και ευαισθητοποίηση πολιτών σχετικά με την ανακύκλωση
- Έλεγχος και διαχείριση του συστήματος ύδρευσης και των υπόγειων δεξαμενών υδάτων με χρήση αισθητήρων

#### *3.4.2.2. Smart Mobility*

Οι προτάσεις γύρω από τον άξονα των μεταφορών και της κινητικότητας έχουν προτεραιότητα την μείωση της κυκλοφοριακής κίνησης και τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Μερικές από τις προτάσεις είναι οι παρακάτω:

- Σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και εξέταση της δημιουργίας αυτόνομων σταθμών φόρτισης από την ηλιακή ενέργεια
- Αντικατάσταση οχημάτων του στόλου του Δήμου με ηλεκτρικά οχήματα
- Σύστημα ελεγχόμενης και ευφυής στάθμευσης
- Τοποθέτηση αισθητήρων κίνησης στους φωτεινούς σηματοδότες
- Δημιουργία νέων ποδηλατοδρόμων με σκοπό την ενθάρρυνση των πολιτών για την ενσωμάτωση αυτού σαν μέσο καθημερινής μετακίνησης

#### *3.4.2.3. Smart Living-Smart People-Smart Government*

Παρακάτω φαίνονται μερικές από τις υπόλοιπες προτάσεις του σχεδίου σχετικά με τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών κυρίως μέσω ηλεκτρονικών και ψηφιακών μέσων και υπηρεσιών:



- Ανάπτυξη δημοσίων υπηρεσιών και κοινοτική χαρτογράφηση
- Έξυπνες διαβάσεις
- Ηλεκτρονικές υπηρεσίες Φροντίδων Υγείας στους Δημότες
- Φύτευση δέντρων
- Εκπαιδευτικά σεμινάρια σε μαθητές και εκπαιδευτικούς σχετικά με την τεχνολογία
- Εφαρμογή για κινητά του Δήμου Κοζάνης
- Λογισμικό διαχείρισης των δωρεάν wi-fi spot του Δήμου Κοζάνης[35]

## 4. EnergyPlan

Για την εφαρμογή και την μοντελοποίηση του μετασχηματισμού της πόλης της Κοζάνης σε μια πόλη η οποία καλύπτει σε βαθμό 100% τις ενεργειακές τις ανάγκες από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας επιλέχθηκε το εργαλείο EnergyPlan[36].

### 4.1. Τι είναι το EnergyPlan

Το EnergyPlan είναι ένα μοντέλο ανάλυσης ενεργειακών συστημάτων το οποίο αναπτύχθηκε το 1999 από την Ομάδα Έρευνας Σχεδιασμού Βιώσιμης Ενέργειας (Sustainable Energy Planning Research Group) στο πανεπιστήμιο του Aalborg και το οποίο επεκτείνεται σε συνεχή βάση μέχρι και σήμερα. Πρόκειται για ένα ντετερμινιστικό μοντέλο το οποίο σκοπεύει να εντοπίσει την βέλτιστη σχεδίαση και λειτουργία ενός συστήματος ενέργειας χρησιμοποιώντας ωριαίες προσομοιώσεις σε περίοδο ενός έτους. Πρόκειται για ένα εργαλείο το οποίο διατίθεται ελεύθερα προς χρήση και θεωρείται ως ένα από το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία για ενεργειακά συστήματα τα οποία έχουν μεγάλη διεύθυνση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.[37]

Το EnergyPlan είναι αρχικώς σχεδιασμένο για να μοντελοποιεί εθνικά ενεργειακά συστήματα και έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές τέτοιες περιπτώσεις ( Δανία, Γερμανία, Ιρλανδία, Νορβηγία, Κίνα, Νότια Ευρώπη κ.α.) [38] [39] [40] [41] [42] [43]

Παρ'όλα αυτά έχει χρησιμοποιηθεί για να μοντελοποιήσει και πόλεις και νησιά όπως τα Κανάρια Νησιά της Ισπανίας, το Aalborg της Δανίας, την Cuenca του Εκουαδόρ και το Bozen-Bolzano της Ιταλίας. [44] [45] [46] [47]

### 4.2 Smart Energy Systems

Βασικός στόχος του EnergyPlan είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος με 100% Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Σήμερα ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να οριστεί ως ένα «Έξυπνο Ενεργειακό Σύστημα» έχοντας τους ακόλουθες αρχές:

- Να είναι ένα σύστημα με 100% Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- Να καταναλώνει βιοενέργεια (π.χ. βιομάζα) με βιώσιμο τρόπο
- Να χρησιμοποιεί όλα τα διαφορετικά ενεργειακά υποσυστήματα για να αυξάνει την αποδοτικότητα και να μειώνει το κόστος

- Να είναι οικονομικά βιώσιμο συγκριτικά με ένα σύστημα με βάση τα ορυκτά καύσιμα[48]

Για την επίτευξη των παραπάνω αρχών είναι πολύ σημαντική η δημιουργία, η ύπαρξη και η συνεργασία:

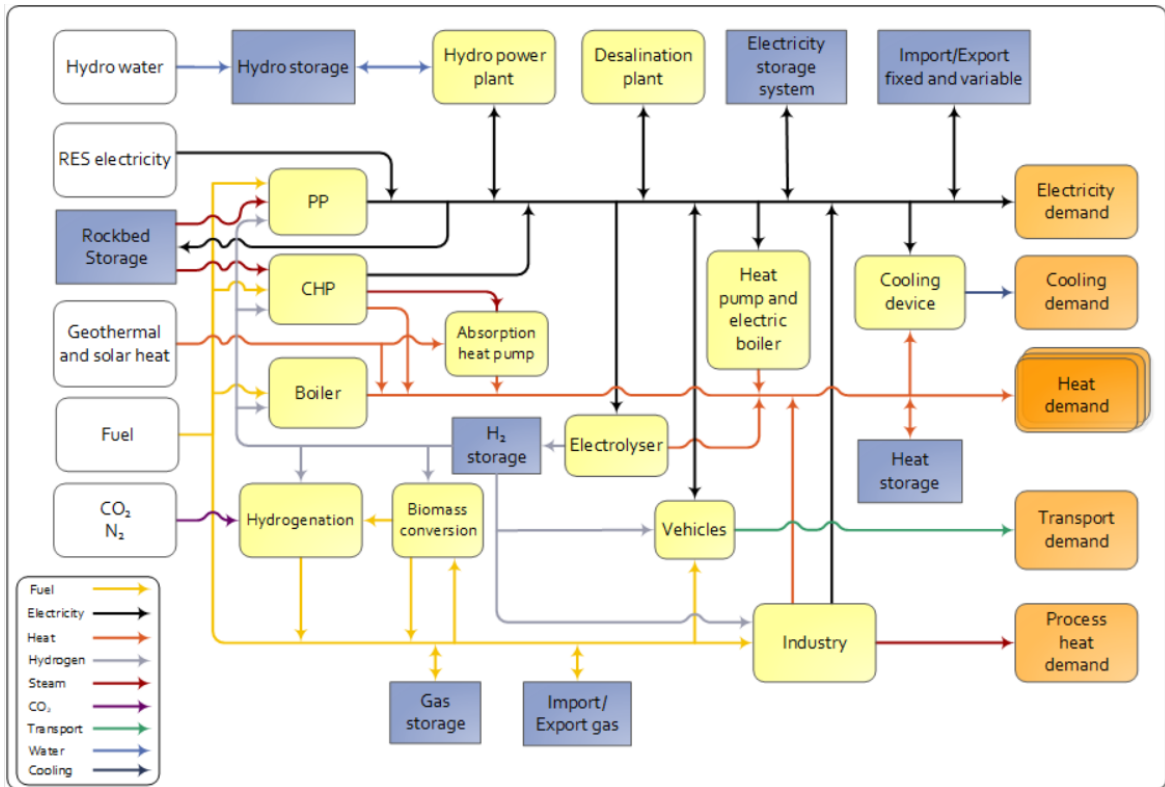
- Έξυπνων δικτύων τα οποία παρακολουθούν διαρκώς την παραγωγή καθώς και την κατανάλωση της ενέργειας
- Δικτύων τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης
- Συσκευές αποθήκευσης τόσο ηλεκτρικής όσο και θερμικής ενέργειας
- Συσκευών μετατροπής ηλεκτρικής σε θερμική ενέργεια συνδεδεμένες στα δίκτυα τηλεθέρμανσης και ψύξης
- Ηλεκτρικών οχημάτων

#### 4.3. Υπολογιστική προσέγγιση και μοντελοποίηση

Το EnergyPlan είναι ένα μοντέλο το οποίο χρησιμοποιεί αναλυτική προσέγγιση και αποτελείται αποκλειστικά από ντετερμινιστικές και όχι στοχαστικές μεταβλητές. Είναι προγραμματισμένο στη γλώσσα προγραμματισμού Delphi Pascal η οποία αποτελεί μια επέκταση της γλώσσας προγραμματισμού Pascal. Το μοντέλο δέχεται δεδομένα σε ένα φιλικό για τον χρήστη περιβάλλον και διενεργεί ωραίους υπολογισμούς με σκοπό να εξισορροπήσει τη ζήτηση και την κατανάλωση τόσο για την ηλεκτρική όσο και για τη θερμική ενέργεια με βάση διάφορες στρατηγικές τις οποίες μπορεί να επιλέξει ο χρήστης (εξισορρόπηση θερμικής ή/και ηλεκτρικής ζήτησης ενέργειας και με τεχνικά ή οικονομικά χαρακτηριστικά).

#### 4.4. Δεδομένα εισόδου

Το EnergyPlan δέχεται διάφορα δεδομένα είτε με ωραίες κατανομές είτε με ετήσιες συνολικές τιμές τα οποία αφορούν τη ζήτηση, την παραγωγή, τις συσκευές αποθήκευσης ενέργειας και τα κόστη. Το συνολικό τεχνολογικό και ροϊκό μοντέλο του προγράμματος φαίνεται στην αρχική σελίδα του EnergyPlan και είναι το παρακάτω:



Εικόνα 4.1 Τεχνολογικό και ροϊκό μοντέλο του EnergyPlan

#### 4.4.1. Ζήτηση

Τα πρώτα δεδομένα που καλείται να εισάγει ο χρήστης στο μοντέλο για τον σχεδιασμό του συστήματος είναι οι συνολικές ετήσιες τιμές της ζήτησης για την ηλεκτρική και τη θερμική ενέργεια, την ψύξη, τα καύσιμα και τις μεταφορές. Μαζί με αυτές τις τιμές ο χρήστης πρέπει να εισάγει και τις ετήσιες ωριαίες κατανομές αυτών. Οι κατανομές αυτές αποτελούνται από αρχεία με 8784 τιμές, μια για κάθε ώρα ενός δίσεκτου έτους (366 ημέρες).

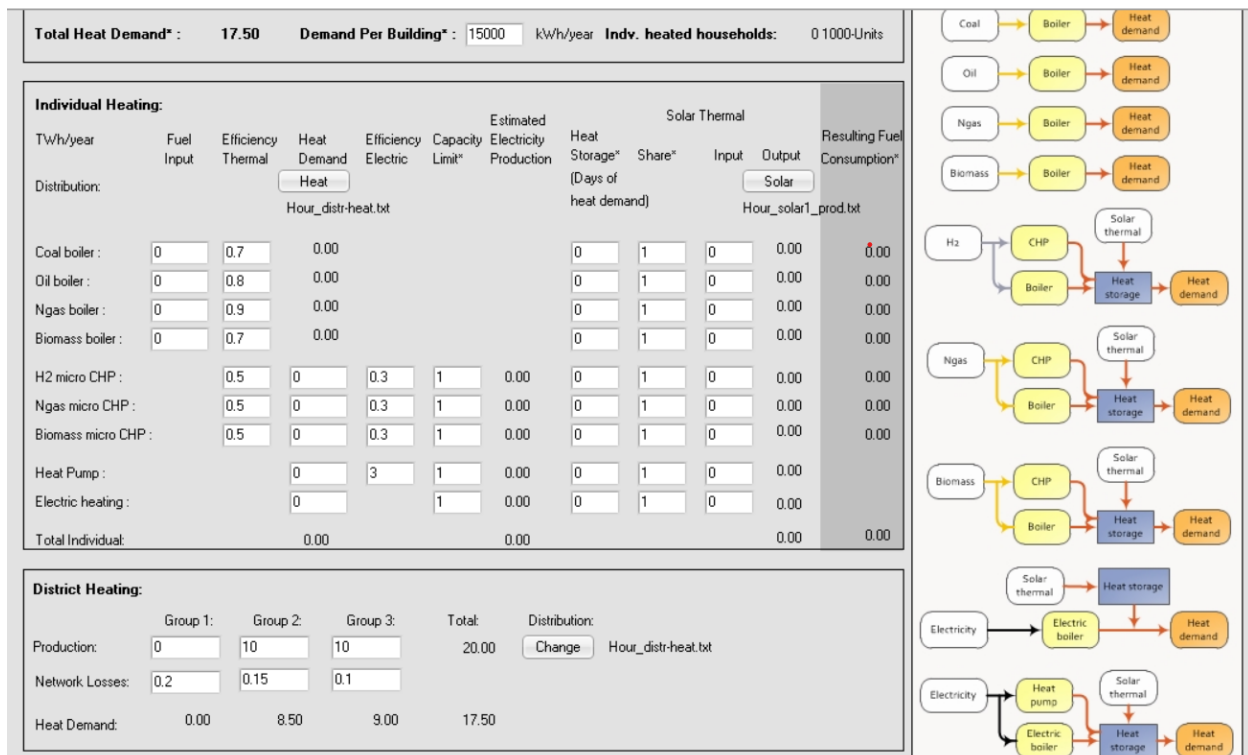
Παρακάτω φαίνεται η καρτέλα εισαγωγής δεδομένων για την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας:

### Electricity Demand and Fixed Import/Export

Electricity demand:	<input type="text" value="20"/>	TWh/year	<input type="button" value="Change distribution"/>	Hour_electricity.txt
Additional electricity demand	<input type="text" value="0"/>	TWh/year	<input type="button" value="Change distribution"/>	const.txt
Electric heating (IF included)	- <input type="text" value="0"/>	TWh/year	Subtract electric heating using distribution from 'individual' window	
Electric cooling (IF included)	- <input type="text" value="0"/>	TWh/year	Subtract electric cooling using distribution from 'cooling' window	
Elec. for Biomass Conversion	0.00	TWh/year	(Transferred from Biomass Conversion TabSheet)	
Elec. for Transportation	0.00	TWh/year	(Transferred from Transport TabSheet)	
Sum (excluding electric heating and cooling)	20.00	TWh/year		
Electric heating (individual)	0.00	TWh/year		
Electricity for heat pumps (individual)	0.00	TWh/year		
Electric cooling	0.00	TWh/year		
Flexible demand (1 day)	<input type="text" value="0"/>	TWh/year	Max-effect	<input type="text" value="1000"/> MW
Flexible demand (1 week)	<input type="text" value="0"/>	TWh/year	Max-effect	<input type="text" value="1000"/> MW
Flexible demand (4 weeks)	<input type="text" value="0"/>	TWh/year	Max-effect	<input type="text" value="1000"/> MW
Fixed Import/Export	<input type="text" value="0"/>	TWh/year	<input type="button" value="Change distribution"/>	Hour_Tysklandsexport.txt
Total electricity demand*	20.00	TWh/year		

Εικόνα 4.2 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ενδιαφέρον για την συγκεκριμένη μελέτη παρουσιάζει επίσης και η καρτέλα εισαγωγής των δεδομένων για την ζήτηση της θερμικής ενέργειας, καθώς όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων τόσο και ατομική ζήτηση σε κάθε νοικοκυριό όσο και για τα στοιχεία και τις ανάγκες του δικτύου τηλεθέρμανσης το οποίο χωρίζεται σε 3 ομάδες ανάλογα με τον τρόπο που παρέχεται η θερμική ενέργεια στο δίκτυο(χωρίς Σταθμό Συμπαγωγής Ενέργειας, με Μικρό Σταθμό Συμπαγωγής Ενέργειας, με Μεγάλο Σταθμό Συμπαγωγής Ενέργειας):



Εικόνα 4.3 Ζήτηση Θερμικής Ενέργειας και δίκτυο τηλεθέρμανσης

#### 4.4.2. Παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας

Στα δεδομένα εισόδου για την παραγωγή της ενέργειας ο χρήστης καλείται να εισάγει την εγκατεστημένη ισχύ, τους συντελεστές απόδοσης και την ωριαία κατανομή παραγωγής ενέργειας (για τις ΑΠΕ) για όλες τις μορφές παραγωγής ενέργειας. Αναφέρονται χαρακτηριστικά μερικές από αυτές:

- Λέβητες θερμότητας
- Θερμοηλεκτρικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Θερμοηλεκτρικά εργοστάσια με μονάδες συμπαραγωγής για παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας
- Ανανεώσιμες Πηγές Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (Αιολικά, Φωτοβολταϊκά, Υδροηλεκτρικά)
- Ηλιακοί Σταθμοί Παραγωγής Θερμικής Ενέργειας
- Αντλίες Θερμότητας

Μπορεί επίσης να οριστεί η δυνατότητα του συστήματος να συναλλάσσει ενέργεια με το δίκτυο καθώς και η ποσόστωση των καυσίμων που θα χρησιμοποιούνται.

Στις δύο παρακάτω εικόνες φαίνονται οι καρτέλες εισαγωγής δεδομένων για την παραγωγή στο EnergyPlan:

	Group 1:	Group 2:	Group 3:	Total:	Unit:
Electricity Production:					
District Heating Production:	0.00	10.00	10.00	20.00	TWh/year

Group 1 represents district heating systems with no CHP  
 Group 2 represents district heating systems based on small CHP plants  
 Group 3 represents district heating systems based on large CHP extraction plants

**Boilers**

Thermal Capacity		5000	5000	MJ/s
Boiler Efficiency	0.9	0.9	0.9	
Fixed Boiler share		0	0	Percent

**Combined Heat and Power (CHP)**

CHP Condensing Mode Operation\*

Electric Capacity (PP1)		4000	MW-e
Electric Efficiency (PP1)		0.45	

CHP Back Pressure Mode Operation\*

Electric Capacity		1000	1500	MW-e
Thermal Capacity	Auto	1250	1875	MJ/s
Electric Efficiency		0.4	0.4	
Thermal Efficiency		0.5	0.5	

CHP plants are modelled as a combination of CHP back pressure and condensing plants so the Max CHP3 is the PP1 Capacity, which is:

**Industrial CHP**

CHP Electricity	0	0	0	0.00	TWh/year
CHP Heat Produced	0	0	0	0.00	TWh/year
CHP Heat Demand	0	0	0	0.00	TWh/year
CHP Heat Delivered*	0.00	0.00	0.00	0.00	TWh/year

Distribution Hour\_cshpel.txt

Εικόνα 4.4 Παραγωγή ενέργειας από λήπτες θερμότητας και θερμοηλεκτρικά εργοστάσια

**Variable Renewable Electricity**

Renewable Energy Source	Capacity: MW	Stabilisation share	Distribution profile*	Estimated Production TWh/year	Correction factor	Estimated Post Correction production	Estimated capacity factor
Wind	1000	0	Change hour_wind_1.txt	2.07	0	2.07	0.24
Photo Voltaic	500	0	Change Hour_solar_prod1	0.35	0	0.35	0.08
Offshore Wind	0	0	Change hour_wind_2.txt	0.00	0	0.00	0.00
River Hydro	0	0	Change const.txt	0.00	0	0.00	0.00
Tidal	0	0	Change hour_tidal_power	0.00	0	0.00	0.00
Wave Power	0	0	Change Hour_wave_200	0.00	0	0.00	0.00
CSP Solar Power	0	0	Change Hour_solar_prod1	0.00	0	0.00	0.00

**Concentrated Solar Power**

Annual solar input	0	TWh/year	Change hour_solar_prod1.txt
Storage capacity	0	GWh	
Storage efficiency (losses)	0.5	Percent pr. hour	
Power capacity	0	MW-e	
Power efficiency	0.3		Estimated Production TWh/year 0.00, Estimated Storage loss TWh/year 0.00
Stabilisation Share	0		

Εικόνα 4.5 Παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ

Όσον αφορά τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να οριστούν για την αποθήκευση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας η ισχύς, η χωρητικότητα και ο συντελεστής απόδοσης των συσκευών αποθήκευσης ενέργειας.

#### 4.4.3 Κόστη

Τελευταίο δεδομένο εισαγωγής από τον χρήστη είναι τα κόστη εγκατάστασης, τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης καθώς και τα μεταβλητά κόστη για την παραγωγή ενέργειας για κάθε τεχνολογία.

Παρακάτω φαίνεται μια από τις καρτέλες εισαγωγής δεδομένων για τα κόστη στο EnergyPlan:

Prod. type	Investment		Period	O. and M.	Total Inv. Costs	Annual Costs (MEUR/year)	
	Unit	MEUR pr. Unit	Years	% of Inv.	MEUR	Investment	Fixed Opr. and M.
Wind	1000 MW-e	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
Wind offshore	0 MW-e	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
Photo Voltaic	500 MW-e	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
Wave power	0 MW-e	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
Tidal Power	0 MW	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
CSP Solar Power	0 MW	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
River of hydro	0 MW-e	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
Hydro Power	0 MW-e	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
Hydro Storage	0 GWh	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
Hydro Pump	0 MW-e	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
Geothermal Electr.	0 MW-e	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
Geothermal Heat	0 TWh/year	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
Solar thermal	0 TWh/year	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
Heat Storage Solar	0 GWh	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
Indust. Excess Heat	0 TWh/year	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0

Εικόνα 4.6 Κόστη στο EnergyPlan

Δίνεται επίσης η δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει την κατανομή στις τιμές της αγοράς και πώλησης της εξωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και την απόκριση της αγοράς στις εισαγωγές και εξαγωγές αυτής.

#### 4.4.4. Διαχείριση περίσσειας ενέργειας και στρατηγικές προσομοίωση

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η επιλογή που δίνει το EnergyPlan στον χρήστη για το πως θα διαχειριστεί την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα υπερκαλύπτει την ζήτηση και η περίσσεια αυτής δεν μπορεί να δοθεί εξολοκλήρου ούτε στις συσκευές αποθήκευσης, ούτε και στο δίκτυο, τότε εμφανίζεται περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας. Για την περίπτωση αυτή το EnergyPlan δίνει διάφορες επιλογές διαχείρισης της ενέργειας αυτής της οποίας ο χρήστης μπορεί να θέσει σε σειρά προτεραιότητας. Αναφέρονται ενδεικτικά οι παρακάτω:

- Μείωση παραγωγής στους σταθμούς συμπαραγωγής και αντικατάσταση από λέβητες θερμότητας
- Μείωση παραγωγής στους λέβητες θερμότητας και ενεργοποίηση του Ηλεκτρικού Λέβητα Θέρμανσης
- Μείωση παραγωγής στους σταθμούς συμπαραγωγής μαζί με μείωση παραγωγής από τις ΑΠΕ

Τέλος, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει την στρατηγική με την οποία θα εκτελεστεί η προσομοίωση.

Το EnergyPlan ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία υπολογισμών:

- 1) Υπολογισμοί από τις καρτέλες εισαγωγής δεδομένων
- 2) Αρχικοί υπολογισμοί που δεν περιλαμβάνουν την εξισορρόπηση της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας
- 3α) Στρατηγική Τεχνικής Βελτιστοποίησης του ενεργειακού συστήματος  
ή
- 3β) Στρατηγική Οικονομικής Βελτιστοποίησης του ενεργειακού συστήματος
- 4) Διαχείριση περίσσειας ενέργειας και υπολογισμοί για καύσιμα και κόστη

Αξίζει να διευκρινιστεί πως η Στρατηγική Τεχνικής Βελτιστοποίησης στοχεύει στην εξισορρόπηση της ενέργειας (θερμικής ή/και ηλεκτρικής) ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση του καυσίμου και την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η Στρατηγική Οικονομικής Βελτιστοποίησης στοχεύει στην εξισορρόπηση της ενέργειας λαμβάνοντας υπόψιν τις τιμές της εξωτερικής αγοράς για την ηλεκτρική ενέργεια ψάχνοντας να βρει την βέλτιστη οικονομικά λύση.

#### 4.4.5 Δεδομένα Εξόδου

Τα δεδομένα εξόδου του EnergyPlan είναι ωραίες, μηνιαίες και ετήσιες που αφορούν την διαφορά παραγωγής και ζήτησης, την εισαγωγή και εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την παραγωγή ενέργειας από όλες τις πηγές. Επίσης παρουσιάζονται τα συνολικά ετήσια κόστη για το σύστημα καθώς και οι συνολικές ετήσιες καταναλώσεις καυσίμων.

## 5.Η Περίπτωση της Κοζάνης

Στο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση της μελέτης της περίπτωσης της Κοζάνης ως μια πόλη με 100% Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και η μοντελοποίηση της στο EnergyPlan. Εξηγείται πως συλλέχθηκαν τα δεδομένα εισόδου για το πρόγραμμα, ποιες τεχνολογίες θα χρησιμοποιηθούν,



τα διαφορετικά σενάρια που επιλέχθηκαν, καθώς και η τελική παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

## 5.1. Δεδομένα και κατανομές ζήτησης ενέργειας

### 5.1.1. Ηλεκτρική Ενέργεια

Για την εύρεση της συνολικής ετήσιας ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια στο Δήμο Κοζάνης χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ από την απογραφή του 2011. Σύμφωνα με αυτά, ένα μέσο νοικοκυριό στην Ελλάδα καταναλώνει 3.750 KWh ηλεκτρικής ενέργειας. Έπειτα τόσο από τα δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ όσο και από τα δεδομένα του δικτύου τηλεθέρμανσης Κοζάνης βρέθηκε πως στον Δήμο Κοζάνης υπάρχουν περίπου 28 χιλιάδες νοικοκυριά. [2] [49]

Στη συνέχεια, από τα δεδομένα της IEA (Διεθνής Οργάνωση Ενέργειας) για την Ελλάδα για το 2019, βρέθηκε σε ποιο ποσοστό καταναλώνει ο κάθε τομέας ηλεκτρική ενέργεια.

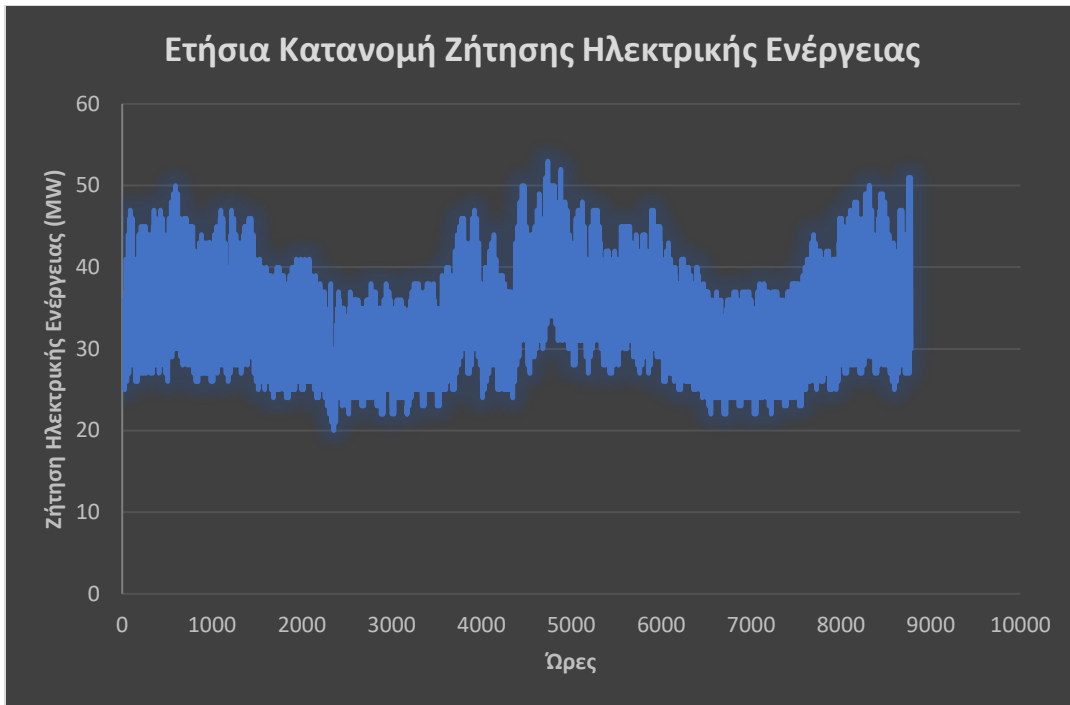
Έτσι από την αναγωγή του ετήσιου ποσού κατανάλωσης ενέργειας από νοικοκυριά στην Κοζάνη βρέθηκε η συνολική ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια (εξαιρώντας τις μεταφορές) για τον Δήμο της Κοζάνης. Τα στοιχεία αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	Βιομηχανία	Μεταφορές	Νοικοκυριά	Εμπορικές και Δημόσιες Υπηρεσίες	Γεωργία
Ετήσια Κατανάλωση (GWh)	74	1	105	108	14
Ποσοστό κατανάλωσης ανά τομέα	24.5%	0.4%	34.6%	35.7%	4.7%

Πίνακας 5.1 Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά Τομέα

Όσον αφορά την κατανομή της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, βρέθηκε η ωριαία κατανομή της ζήτησης για το έτος 2019 και πάλι από στοιχεία της IEA και αυτή ανάχθηκε στα παραπάνω δεδομένα της Κοζάνης.

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η κατανομή της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας για ένα έτος, καθώς και 3 μέρες του Απριλίου και 3 ημέρες του Αυγούστου:



Διάγραμμα 5.1 Ετήσια κατανομή ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας



Διάγραμμα 5.2 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας για 3 ημέρες (Απρίλιος και Αύγουστος)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι εκτιμήσεις για την κατανομή της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας:

	Μέγιστη	Ημερομηνία και ώρα Μέγιστης	Ελάχιστη	Ημερομηνία και ώρα Ελάχιστης	Μέση
Ζήτηση (MW)	53	17 Ιουλίου 11:00 π.μ.	20	9 Απριλίου 03:00 π.μ.	34

Πίνακας 5.2 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η συνολική ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκε 0.30 Twh.

### 5.1.2.Θερμική Ενέργεια

Για τον υπολογισμό της ετήσιας ζήτησης για θερμική ενέργεια στην Κοζάνη βρέθηκε από τα δεδομένα του δικτύου τηλεθέρμανσης η ετήσια διανομή της στους καταναλωτές.[50]

Έπειτα από τα στοιχεία του ΙΕΑ για την κατανάλωση θερμικής ενέργειας ανά τομέα στην Ελλάδα υπολογίστηκε η συνολική ζήτηση θερμικής ενέργειας για την Κοζάνη. Τα στοιχεία του ΙΕΑ φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

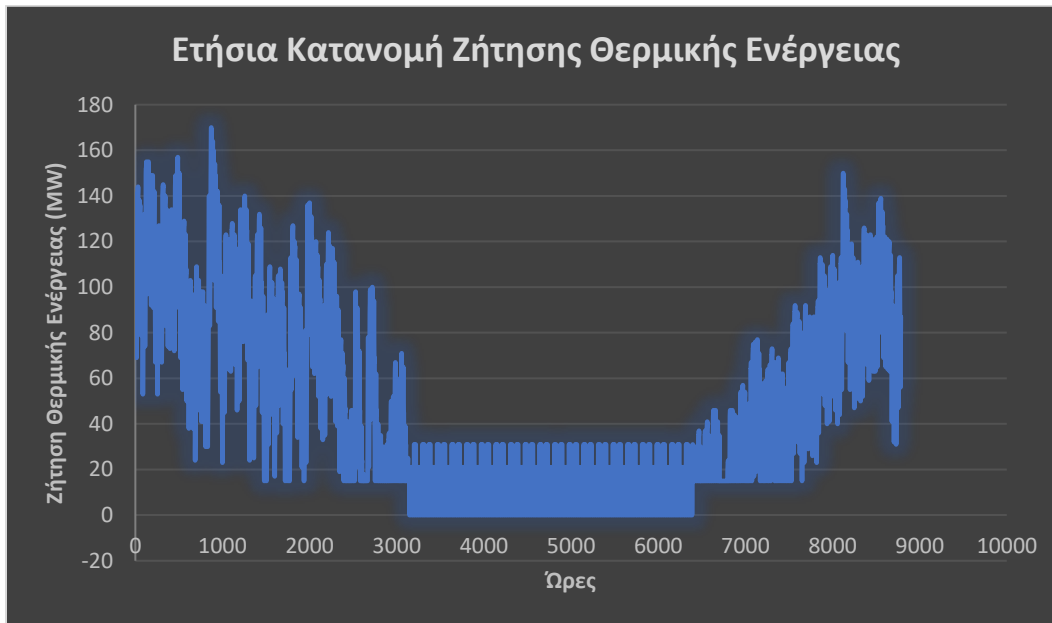
	Βιομηχανία	Μεταφορές	Νοικοκυριά	Εμπορικές και Δημόσιες Υπηρεσίες	Γεωργία
Ετήσια Κατανάλωση (GWh)	0.214338575	0.844849123	0.357	0.045344651	0.010232419
Ποσοστό κατανάλωσης ανά τομέα	14.56%	57.40%	24.26%	3.08%	0.70%

Πίνακας 5.3 Κατανάλωση Θερμικής Ενέργειας ανά Τομέα

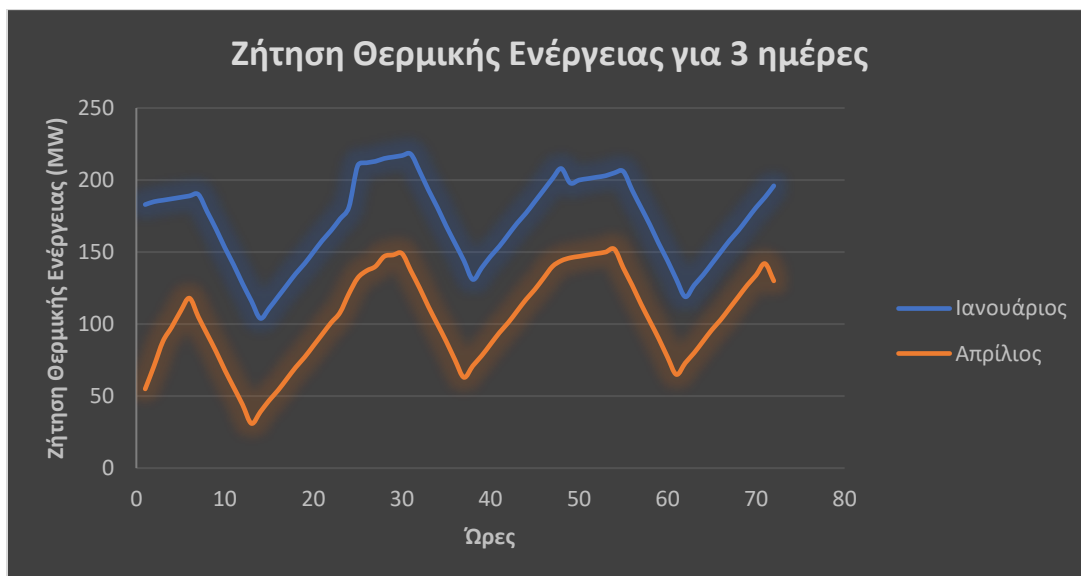
Από τον παραπάνω πίνακα αφαιρώντας το ποσοστό για της μεταφορές και για την βιομηχανία υπολογίστηκε η συνολική ετήσια ανάγκη για θερμική ενέργεια στην Κοζάνη.

Όσον αφορά την κατανομή της ζήτησης της θερμότητας χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία για την ωραία κατανομή των θερμοκρασιών στην Κοζάνη καθώς και για της μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες.[51] [52] Από της τιμές αυτές και με την λογική για της Heating Degree Days (HDD) υπολογίστηκε η ωραία κατανομή της ζήτησης της θερμικής ενέργειας. Αξίζει να αναφερθεί πως θεωρήθηκε πως ένα σταθερό για όλο το έτος 10% ζήτησης της θερμικής ενέργειας για τη θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης.

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η κατανομή της ζήτησης της θερμικής ενέργειας για όλο το έτος, καθώς και η ωραία κατανομή για 3 ημέρες του Ιανουαρίου και για 3 ημέρες του Απριλίου:



Διάγραμμα 5.3 Κατανομή Ζήτησης Θερμικής Ενέργειας ωριαία για ένα έτος



Διάγραμμα 5.4 Κατανομή Ζήτησης Θερμικής Ενέργειας ωριαία για 3 ημέρες (Ιανουάριος και Απρίλιος)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι εκτιμήσεις για την κατανομή της ζήτησης της θερμικής ενέργειας:

	Μέγιστη	Ημερομηνία και ώρα Μέγιστης	Ελάχιστη	Ημερομηνία και ώρα Ελάχιστης	Μέση
Ζήτηση (MW)	170	6 Φεβρουαρίου 06:00 π.μ.	0	Νυχτερινές ώρες των θερινών μηνών.	49

Πίνακας 5.4 Ζήτηση Θερμικής Ενέργειας

Η συνολική ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκε 0.43 Twh.

#### 5.1.3. Κατανομή Εξωτερικής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

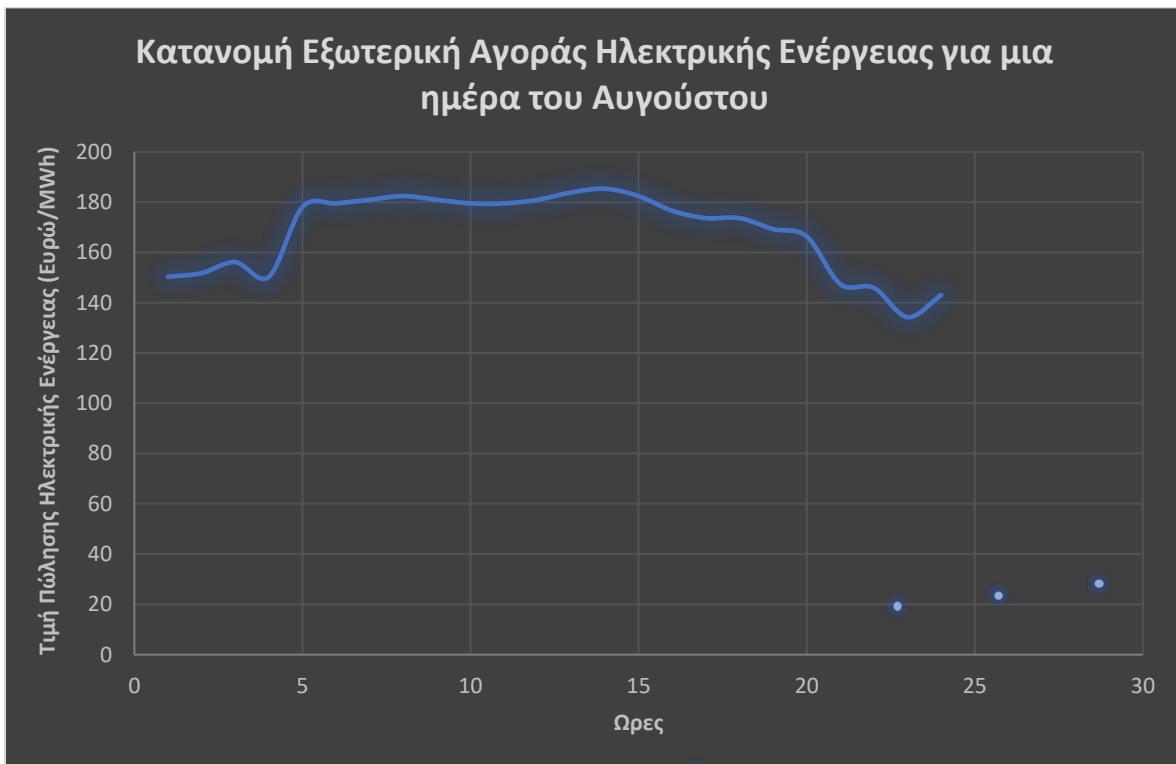
Το ενεργειακό σύστημα της Κοζάνης που προσομοιώνεται στο EnergyPlan έχει όπως και στην πραγματικότητα τη δυνατότητα να πουλάει και να αγοράζει ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο στο οποίο είναι διασυνδεδεμένο. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία ενός συστήματος το οποίο θα είναι πλήρως ανεξάρτητο όσον αφορά την αγορά ηλεκτρισμού από το δίκτυο, θα έχει δηλαδή μηδενικές εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αδυναμία βέβαια των τωρινών συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο οδηγεί συχνά σε περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μεταβλητού χαρακτήρα. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα η ενέργεια αυτή, όταν δεν δύναται να αξιοποιηθεί με διαφορετικό τρόπο (αποθήκευση ή μετατροπή σε θερμότητα), να πωλείται στο δίκτυο. Οι ετήσιες αυτές πωλήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζονται τελικά στο ετήσιο κόστος του συστήματος ενέργειας όπως αυτό παρουσιάζεται και στην ενότητα 6.

Για την μοντελοποίηση της παραπάνω πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητο η εισαγωγή της κατανομής της εξωτερικής αγοράς. Στην προκειμένη περίπτωση κατασκευάστηκε προσεγγιστικά μια τυπική κατανομή της τιμής της Μεγαβατώρας με μέση τιμή 140 €/MWh, ελάχιστη τιμή 90 €/MWh και μέγιστη τιμή 185 €/MWh όπως φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα:



Διάγραμμα 5.5 Κατανομή Εξωτερικής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας για όλο το έτος



Διάγραμμα 5.6 Κατανομή Εξωτερική Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας για μια ημέρα του Αυγούστου

## 5.2. Δεδομένα παραγωγής ενέργειας

Στη συγκεκριμένη μελέτη, καθώς και στα σενάρια που θα παρουσιαστούν αργότερα, γίνεται πρόταση για χρήση και εγκατάσταση διαφόρων τεχνολογιών παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας. Οι τεχνολογίες που προτείνονται είναι:

- Ανεμογεννήτριες (Wind Turbines)
- Φωτοβολταϊκά (PV)
- Μικρό Υδροηλεκτρικό Εργοστάσιο (River Hydro Power Plant)
- Ατμοηλεκτρικός σταθμός συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με καύση βιομάζας (CHP Plant)
- Λέβητας θερμότητας με καύση βιομάζας (Boiler)
- Ηλεκτρικός λέβητας θερμότητας (Electric Boiler)
- Μεγάλες αντλίες θερμότητας (Large Heat Pumps)
- Ηλιοθερμικός σταθμός (Solar Thermal Plant)

Σε όλα τα σενάρια που προτείνονται, θεωρείται απαραίτητη η εγκατάσταση του σταθμού συμπαραγωγής με καύση βιομάζας, καθώς αυτή είναι η μόνη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία μπορεί να ρυθμιστεί από το σύστημα και δεν εξαρτάται από εξωτερικές συνθήκες. Αυτό αφενός αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της ζήτησης και αφετέρου μετατρέπει την Κοζάνη σε ένα απόλυτα αυτόνομο ενεργειακό σύστημα το οποίο δεν χρειάζεται την εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο για την κάλυψη των αναγκών του.

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι παραπάνω τεχνολογίες, οι κατανομές για την παραγωγή ενέργειας από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μεταβλητού χαρακτήρα (αιολικά, ηλιακά και υδροηλεκτρικά), καθώς και ο σημαντικός ρόλος της βιομάζας στο σύστημα της 100% παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ.

### 5.2.1.. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μεταβλητού χαρακτήρα

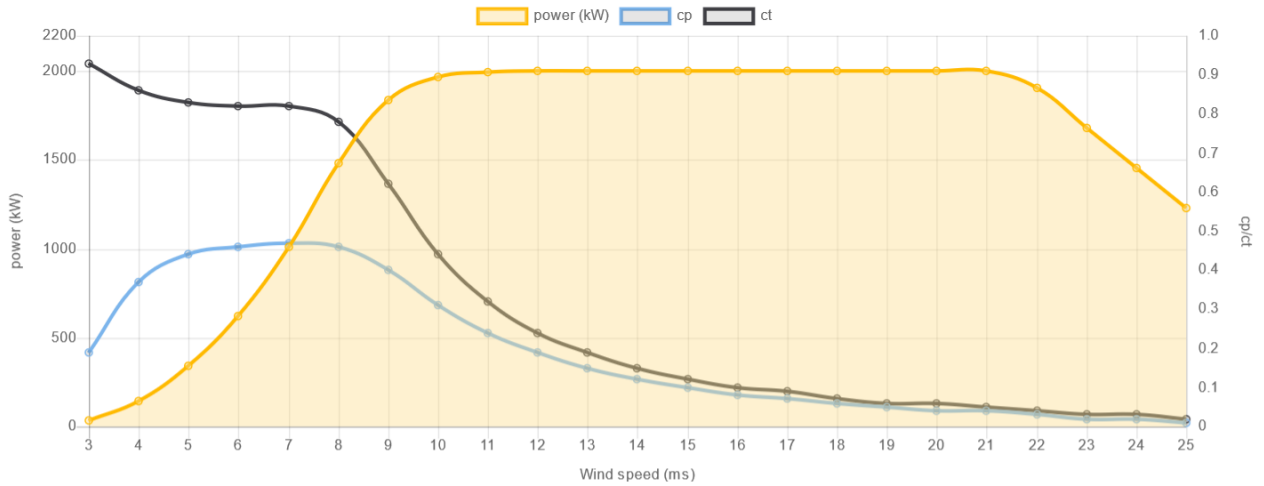
- *Ανεμογεννήτριες-Αιολική Ενέργεια*

Για την μοντελοποίηση των ανεμογεννητριών που προτείνεται να εγκατασταθούν στο σύστημα, είναι αρχικά απαραίτητα τα ωριαία ανεμολογικά στοιχεία για την περιοχή της Κοζάνης[53]. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στοιχεία για τα δεδομένα αυτά:

Μέση Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Μέγιστη Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Capacity Factor
4.8	22.5	13 %

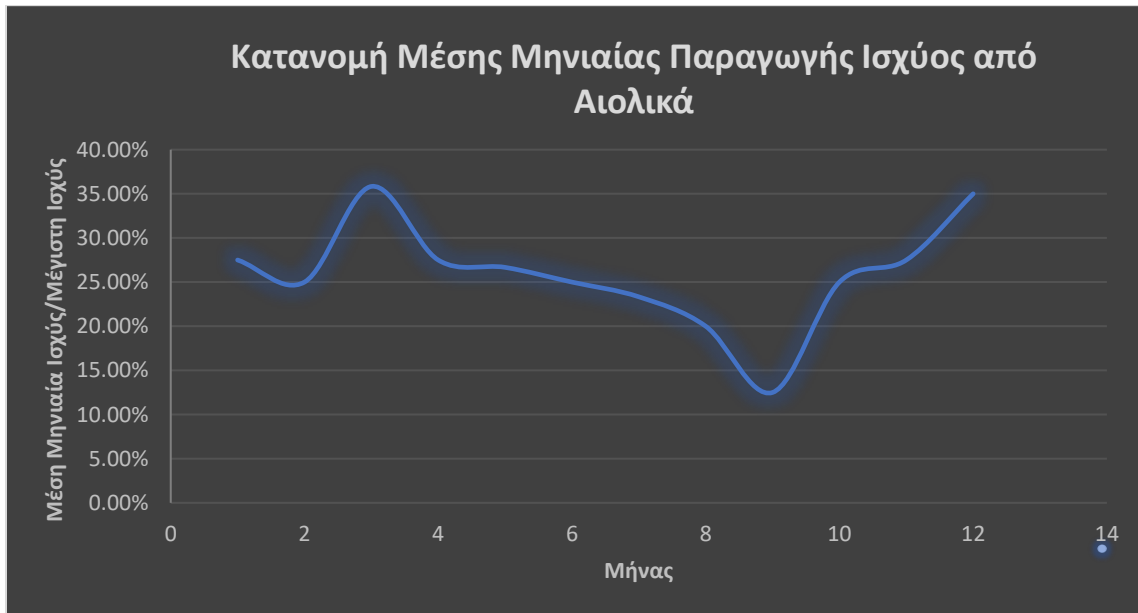
Πίνακας 5.5 Ανεμολογικά Στοιχεία

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα επιλέχθηκε η ανεμογεννήτρια Gamesa G114-2.0MW (ονομαστική ισχύς 2MW) η οποία προτείνεται για χαμηλές και μέτριες ταχύτητες ανέμου. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας αυτής:



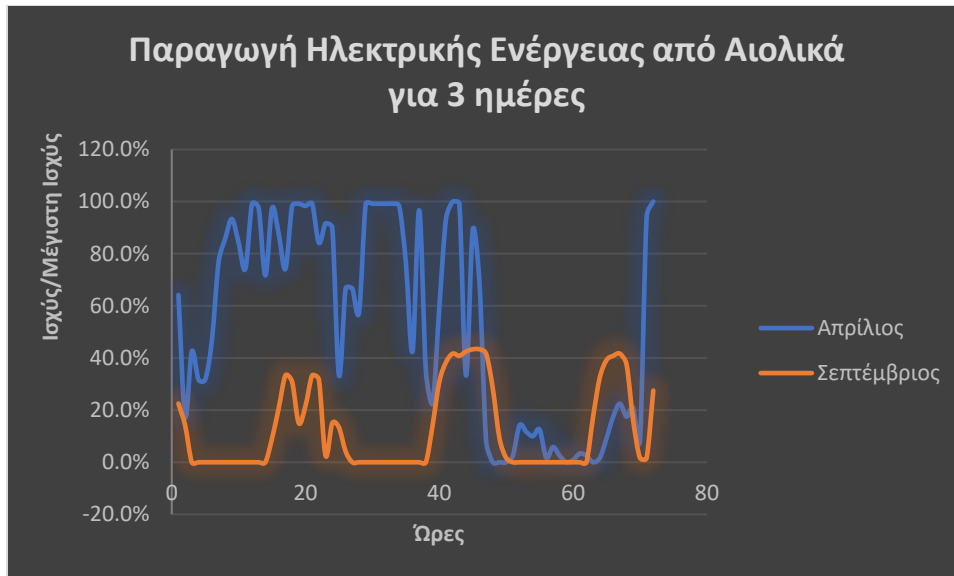
Εικόνα 5.1 Καμπύλη ισχύος Gamesa G114-2.0MW

Έπειτα, αντιστοιχήθηκε η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας με τα ανεμολογικά δεδομένα για την περιοχή της Κοζάνης και δημιουργήθηκε η ωριαία κατανομή της παραγωγής ενέργειας από την ανεμογεννήτρια. Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η κατανομή αυτή για το ένα έτος, καθώς και η κατανομή για 3 ημέρες του Απριλίου και του Σεπτεμβρίου:



Διάγραμμα 5.7 Μέση Μηνιαία Ισχύς / Μέγιστη Ισχύς (Αιολικά)

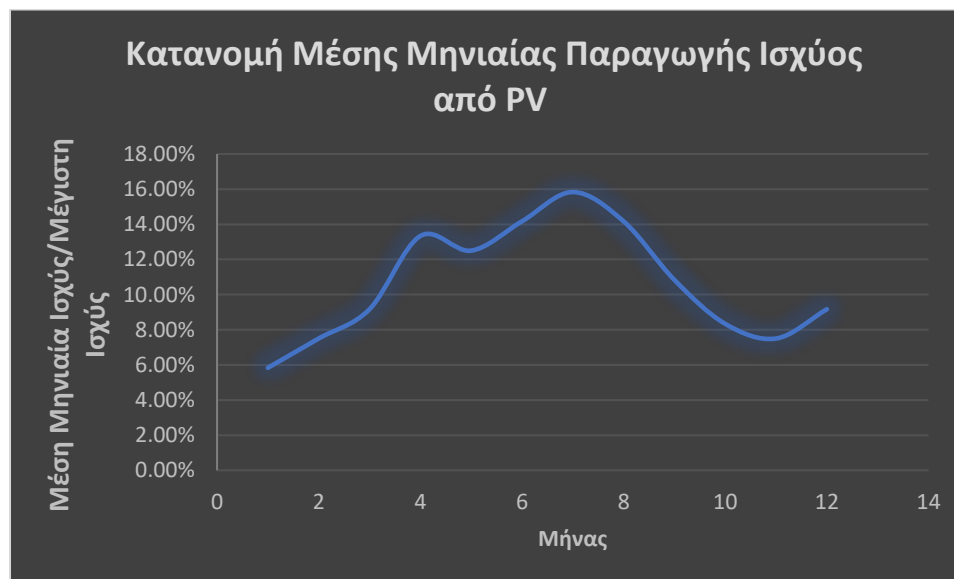




Διάγραμμα 5.8 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Αιολικά (Απρίλιος-Σεπτέμβριος)

- Ηλιακή Ενέργεια

Για την μοντελοποίηση των Φωτοβολταϊκών που προτείνεται να εγκατασταθούν στο σύστημα είναι απαραίτητα τα στοιχεία της ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της Κοζάνης. Τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν από την πλατφόρμα PVGIS του EuScienceHub [54]. Επιλέχθηκε σύστημα παρακολούθησης του ανέμου με κατακόρυφο άξονα περιστροφής, βέλτιστη κλίση 520 και PV τεχνολογίας crystalline-silicon. Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η κατανομή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για ολόκληρο το έτος καθώς και για 3 ημέρες του Ιανουαρίου και του Ιουλίου:



Διάγραμμα 5.9 Μέση Μηνιαία Ισχύς / Μέγιστη Ισχύς (PV)

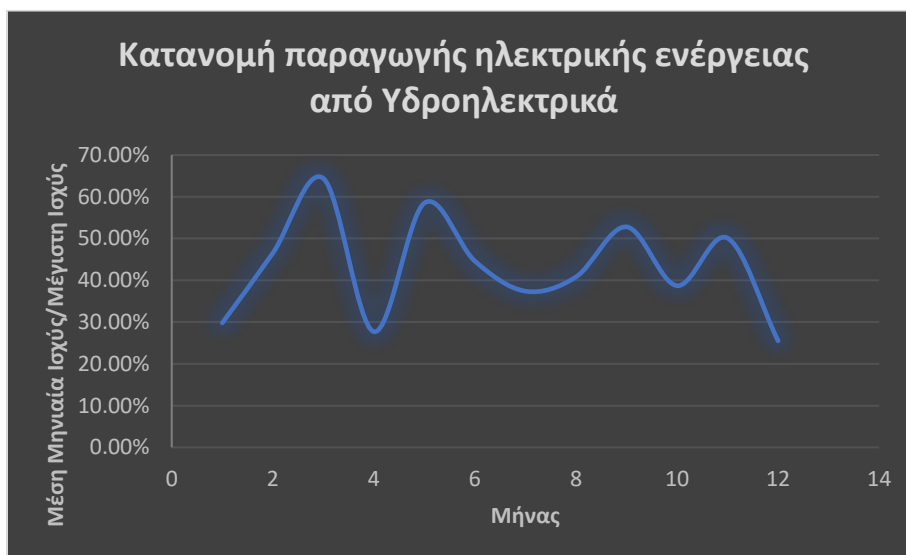


Διάγραμμα 5.10 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από PV (Ιανουάριος-Ιούλιος)

- Μικρό Υδροηλεκτρικό Εργοστάσιο

Για την μοντελοποίηση του μικρού υδροηλεκτρικού εργοστασίου, αρχικά συλλέχθηκαν τα δεδομένα για τις μέσες μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεως στην περιοχή της Κοζάνης τα τελευταία έτη.[51]

Έτσι, θεωρήθηκε μηνιαία σταθερή κατανομή μέσα στο έτος για την παραγωγή ενέργειας από το Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο η οποία φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 5.11 Μέση Μηνιαία Ισχύς / Μέγιστη Ισχύς (Υδροηλεκτρικά)

### 5.2.2. Βιομάζα

Η βιομάζα είναι μια από τις πιο σημαντικές πηγές ανανεώσιμης ενέργειας. Ο ρόλος της βιομάζας στα συστήματα με 100% παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ είναι κομβικός, καθώς αποτελεί το καύσιμο με το οποίο επιτυγχάνεται η σταθερότητα και αξιοπιστία του συστήματος να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της ζήτησης.

Με σκοπό τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής και της ελάττωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, η χρήση των ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας πρόκειται να μειωθεί δραματικά. Η βιομάζα ως καύσιμο, θα πάρει το ρόλο της αντικατάστασης των ορυκτών καυσίμων με στόχο την μείωση των εκπομπών κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Η καύση της βιομάζας εκλύει περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (150% των εκπομπών του λιγνίτη και 300-400% των εκπομπών του φυσικού αερίου)[56], παρ'όλα αυτά λογίζεται ουδέτερη ως προς τις εκπομπές άνθρακα καθώς αυτές θα συνέβαιναν έτσι κι αλλιώς μέσα στον κύκλο ζωής της βιομάζας. Παραταύτα, όπως και για κάθε ΑΠΕ, στις εκπομπές του άνθρακα προστίθενται και αυτές που δημιουργούνται για την καλλιέργεια, την επεξεργασία και τη μεταφορά της βιομάζας.

Η βιομάζα θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με δεδομένο πως κάθε χρόνο καίγεται το περισσότερο όση βιομάζα δημιουργείται. Το δεδομένο αυτό είναι πολύ σημαντικό και πρέπει να τονιστεί πως η αλόγιστη καύση της βιομάζας όχι μόνο σε εθνικό αλλά σε τοπικό επίπεδο, δεν μπορεί να θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας ούτε και βιώσιμη επιλογή.[57] [58]

Στη συγκεκριμένη μελέτη η ετήσια κατανάλωση της βιομάζας θεωρείται ως το πιο σημαντικό κριτήριο αποδοτικότητας και βιωσιμότητας των σεναρίων. Στόχος είναι για κάθε λύση που προτείνεται η κατανάλωση της βιομάζας να μην ξεπερνά το διαθέσιμο ετήσιο δυναμικό της περιοχής της Κοζάνης.

#### 5.2.2.1 Δυναμικό Βιομάζας στην Περιοχή της Κοζάνης

Η εύρεση του δυναμικού της βιομάζας σε μια περιοχή είναι περίπλοκη και τα στοιχεία παρουσιάζουν αποκλίσεις μεταξύ τους. Παραταύτα, σύμφωνα με στοιχεία από τις δημόσιες επιχειρήσεις τηλεθέρμανσης τόσο στην Πτολεμαΐδα, όσο και στο Αμύνταιο, αλλά και από την έρευνα της LDK σε συνεργασία με την WWF για εναλλακτικές λύσεις τηλεθέρμανσης στην Πτολεμαΐδα, οι εκτιμήσεις για το διαθέσιμο δυναμικό της βιομάζας στην ευρύτερη περιοχή της Κοζάνης κυμαίνονται μεταξύ 104 με 279 χιλιάδες τόνους ανά έτος. Η μέση κατώτερη θερμογόνοος ικανότητα για την βιομάζα λαμβάνεται περίπου 18.5 MJ/kg. Επομένως, το διαθέσιμο ενεργειακό δυναμικό βιομάζας στην περιοχή κυμαίνεται μεταξύ 513 GWh/έτος και 1474 GWh/έτος. Η κύρια πηγή για το δυναμικό αυτό είναι τα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών (67% περίπου), τα υπολείμματα δενδρώδων καλλιεργειών (14% περίπου) και η δασική ξυλεία (11% περίπου). [59] [60] [61] [62]

#### 5.2.2.2.Ενεργειακή καλλιέργεια αγριαγκινάρας στα λιγνιτωρυχεία

Η μεγάλη απόκλιση στα στοιχεία για το διαθέσιμο δυναμικό της βιομάζας είναι μια ακόμα αιτία που στην εργασία αυτή δίνεται προτεραιότητα στην ελαχιστοποίηση της χρήσης της βιομάζας. Παρ'όλα αυτά, ένας άλλος τρόπος για να αυξηθεί η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας από την καύση της βιομάζας είναι οι ενεργειακές καλλιέργειες. Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι μια λύση για την αύξηση της ενέργειας από ΑΠΕ η οποία έχει δημιουργήσει αντιπαράθεση σχετικά με το αν είναι βιώσιμη περιβαλλοντικά καθώς οι ενεργειακές καλλιέργειες δεσμεύουν καλλιεργήσιμη γη η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί με σκοπό την καλλιέργεια τροφής.

Οι εκτάσεις των λιγνιτωρυχείων στην περιοχή της Κοζάνης θεωρούνται ως ένα από τα σημεία μεγαλύτερου ενδιαφέροντος για την καλλιέργεια αγριαγκινάρας. Η αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus* L.) είναι ένα πολυετές φυτό το οποίο είναι ιδανικό για ενεργειακή καλλιέργεια το οποίο λόγω της ανθεκτικότητάς του δύναται να καλλιεργηθεί σε κλιματικές συνθήκες με χαμηλή βροχόπτωση και ξηρά καλοκαίρια, όπως είναι οι κλιματικές συνθήκες της Μεσογείου.[63]

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια στην περιοχή της Νότιας Ευρώπης, η μέση συγκομιδή από την καλλιέργεια της αγριαγκινάρας για περιοχές με ετήσια βροχόπτωση 500 mm (η περιοχή της Κοζάνης έχει μέση ετήσια βροχόπτωση 490mm) είναι 14.2 τόνοι/εκτάριο/έτος. Επίσης, η μέση κατώτερη θερμογόνος ικανότητα της αγριαγκινάρας υπολογίζεται πως είναι 17 MJ/kg. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η καλλιέργεια της αγριαγκινάρας μπορεί να αποφέρει ενεργειακά 241.4 GJ/ha/έτος.[64] [65] [66]

#### Καλλιεργήσιμη αγριαγκινάρα (Cultivated Cardoon)

Ετήσια Συγκομιδή (tn/ha/year)	Κατώτερη Θερμογόνος Ικανότητα (MJ/kg)	Ετήσια Ενεργειακή Συγκομιδή (GJ/ha/year)
14.2	17	241.4

Πίνακας 5.6 Καλλιέργεια Αγριαγκινάρας

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2, τα λιγνιτωρυχεία στην ευρύτερη περιοχή της Κοζάνης καταλαμβάνουν αυτή τη στιγμή μια τεράστια έκταση 17 χιλιάδων εκταρίων (170 χιλιάδες στρέμματα). Υπάρχουν διάφορες προτάσεις σχετικά με την αποκατάσταση των εκτάσεων αυτών όπως είναι η δημιουργία αγροτικών εκτάσεων, η φύτευση δασικών περιοχών, η εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών πάρκων (PV) και άλλες.[7]

Στην εργασία αυτή προτείνεται η χρήση περίπου του 25% των εκτάσεων αυτών για την ενεργειακή καλλιέργεια της αγριαγκινάρας. Η χρήση 4 χιλιάδων εκταρίων θα απέδιδε ετησίως 268 GWh περίπου. Όπως θα φανεί και παρακάτω η ενέργεια αυτή μπορεί να καλύψει σχεδόν

τις μισές ενεργειακές ανάγκες της Κοζάνης για βιομάζα, αυξάνοντας παράλληλα την ενεργειακή αυτονομία της πόλης.

Όσον αφορά το κόστος της καλλιέργειας, αυτό από τη βιβλιογραφία μπορεί να υπολογιστεί στα 150 Ευρώ ανά εκτάριο.[64] Έτσι, σύμφωνα και με τα παραπάνω προκύπτει η ιδιαίτερα ελκυστική τιμή, συγκριτικά με τα 70 ευρώ ανά τόνο της τιμής της αγοράς της βιομάζας[60], περί τα 10 Ευρώ ανά τόνο καλλιεργήσιμης αγριαγκινάρας.

## 6 Παρουσίαση Συγκριτικών Σεναρίων

### 6.1. Προτεινόμενες Τεχνολογίες Παραγωγής Ενέργειας

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται οι τεχνολογίες Ανανεώσιμης Ενέργειας που προτείνονται σε αυτήν την μελέτη για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της πόλης Κοζάνης μέσα από πέντε διαφορετικά σενάρια τα οποία θα συγκριθούν με ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά. Αξίζει να τονιστεί πως ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην κάλυψη των αναγκών του δικτύου τηλεθέρμανσης της πόλης, καθώς είναι αυτό που έχει τη μεγαλύτερη ετήσια ζήτηση καθώς και την μεγαλύτερη αιχμή τους χειμερινούς μήνες. Παράλληλα, οι τεχνολογίες θερμικής ενέργειας ποικίλλουν και καθώς τα δίκτυα τηλεθέρμανσης παγκοσμίως αρχίζουν να γίνονται η πιο συμφέρουσα τόσο οικονομικά όσο και ενεργειακά, στην εργασία αυτή δίνεται ιδιαίτερο βάρος στο πως το δίκτυο τηλεθέρμανσης της πόλης θα παραμείνει σε χαμηλή τιμή για τους καταναλωτές τροφοδοτούμενο πλέον από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

#### 6.1.1. Τεχνολογίες Παραγωγής Ενέργειας κοινές για όλα τα σενάρια

Τα πέντε σενάρια τα οποία θα παρουσιαστούν παρακάτω έχουν κοινά και ως βάση τους τις παρακάτω τεχνολογίες παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας με τα παρακάτω χαρακτηριστικά. Οι τιμές για την εγκατεστημένη ισχύ και χωρητικότητα της κάθε τεχνολογίας προέκυψαν μετά από προσομοιώσεις σύμφωνα με τις ανάγκες της ζήτησης αλλά και την επίδραση που θα είχε η περαιτέρω αύξηση αυτών των τιμών στην ετήσια κατανάλωση της βιομάζας παράλληλα με την αύξηση του κόστους. Οι τεχνολογίες αυτές φαίνονται παρακάτω:

- *Ατμοηλεκτρικός σταθμός συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με καύση βιομάζας (CHP Plant)*

Εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς: 45 ή 53 MW

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης: 40%

Θερμικός βαθμός απόδοσης: 50%

Συνολικός βαθμός απόδοσης: 90%

Ελάχιστη Ισχύς Λειτουργίας: 15 ή 18 MW

- *Λέβητας θερμότητας με καύση βιομάζας (Boiler)*

Εγκατεστημένη ισχύς: 50-130 MW  
Βαθμός Απόδοσης: 90%

- *Ανεμογεννήτριες (Wind Turbines) / (Εκτός του Σεναρίου 1)*

Εγκατεστημένη ισχύς: 70 MW  
Capacity factor: 26%

- *Φωτοβολταϊκά (PV) / (Εκτός του Σεναρίου 1)*

Εγκατεστημένη ισχύς: 70 MW  
Capacity factor: 16%  
Τεχνολογία παρακολούθησης ηλίου : Vertical Axis Sun Tracking technology

- *Μικρό Υδροηλεκτρικό Εργοστάσιο (River Hydro Power Plant)*  
Εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς: 4.2 MW



*Εικόνα 6.1 ΜΥΗΣ Ιλαρίωνα*

- *Συστοιχίες μπαταριών λιθίου (Lithium-Ion Batteries)*

Εγκατεστημένη Χωρητικότητα: 60 MWh  
Ισχύς Φόρτισης/Αποφόρτισης: 15 MW

- Σύστημα Αποθήκευσης Θερμικής Ενέργειας (Thermal Energy Storage)

Εγκατεστημένη Χωρητικότητα: 100 Mwh

Οι προτεινόμενες θέσεις εγκατάστασης των παραπάνω τεχνολογιών για το CHP , το Boiler , τα PV και τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι οι εκτάσεις των λιγνιτωρυχείων της περιοχής. Για τις θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών προτείνονται οι περιοχές που έχουν ήδη αδειοδοτηθεί από τη ΔΕΔΔΗΕ και υπερκαλύπτουν τις ανάγκες αυτής της μελέτης.[67] Το Μικρό Υδροηλεκτρικό Εργοστάσιο αφορά το ΜΥΗΣ Ιλαρίωνα στο φράγμα του Ιλαρίωνα του ποταμού Αλιάκμονα.[68]

## 6.1.2. Προτάσεις για Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας

### 6.1.2.1. Ηλεκτρικός Λέβητας Θερμότητας (Electric Boiler)

Ένα σύγχρονο σύστημα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ έχει ως κύριο στόχο να εκμεταλλεύεται την περίσσεια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΑΠΕ και να την μετατρέπει σε θερμότητα για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του συστήματος. Οι ηλεκτρικοί λέβητες θερμότητας (Electric Boilers) μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο σε ένα τέτοιο σύστημα λαμβάνοντας υπόψιν και τις σχεδόν μηδενικές απώλειες (0-1%) για την μετατροπή της ηλεκτρικής σε θερμική ενέργεια καθώς και τα αρκετά χαμηλά κόστη λειτουργείας του. Η εγκατεστημένη ισχύς του Ηλεκτρικού Λέβητα Θερμότητας σε κάθε περίπτωση προκύπτει έπειτα από τις θερμικές ανάγκες και δυνατότητες του κάθε σεναρίου.



Εικόνα 6.2 Ηλεκτρικός Λέβητας Θερμότητας [72]

#### 6.1.2.2. Μεγάλες Αντλίες Θερμότητας (Large Heat Pumps)

Όπως ακριβώς και για τους ηλεκτρικούς λέβητες θερμότητας, οι Μεγάλες Αντλίες Θερμότητας μπορούν να αποτελέσουν ένα πολύ σημαντικό στοιχείο για τα σύγχρονα έξυπνα συστήματα παραγωγής ενέργειας καθώς μπορούν να συνδέσουν την ηλεκτρική με τη θερμική ενέργεια. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ιδιαίτερη αύξηση των εγκατεστημένων αντλιών θερμότητας οι οποίες χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες δικτύων τηλεθέρμανσης, τόσο σε εργοστάσια και σχολεία όσο και σε ολόκληρες πόλεις.[69] Τέτοια παραδείγματα βρίσκουμε στο δίκτυο τηλεθέρμανσης της Βιέννης και του Ντράαμεν, καθώς και στη συνοικία Φορλανίνι του Μιλάνου και άλλα.[70] [71]

Στη μελέτη αυτή προτείνεται η εγκατάσταση δύο (2) μεγάλων αντλιών θερμότητας ηλεκτρικής ισχύος 10 MW η καθεμία, οι οποίες θα χρησιμοποιούν για μέσο θερμότητας το νερό των υπονόμων της πόλης και θα έχουν συντελεστή θερμικής απόδοσης (COP) ίσο με 3.2.



Εικόνα 6.3 Αντλίες Θερμότητας για το δίκτυο τηλεθέρμανσης του Ντράαμεν [71]



### 6.1.2.3. Ηλιοθερμικός σταθμός (Solar Thermal Plant)

Οι Ηλιοθερμικοί σταθμοί συνδεδεμένοι με δίκτυα τηλεθέρμανσης (Solar Thermal Plants) έχουν παρουσιάσει άνθηση τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερα στη Βόρεια Ευρώπη. Στην Ευρώπη αυτή τη στιγμή υπάρχουν γύρω στα 1100 MW εγκατεστημένης θερμικής ενέργειας από ηλιοθερμικούς σταθμούς. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα εγχειρήματα τηλεθέρμανσης σε πόλεις της Δανίας όπως είναι το Silkeborg, το Vojens και το Gram όπου εκεί βρίσκονται εγκατεστημένοι μεγαλύτεροι ηλιακοί θερμικοί σταθμοί με εγκατεστημένη ισχύ τα 110, τα 49 και τα 31 MW αντίστοιχα. Οι σταθμοί αυτοί καλύπτουν μεγάλο ποσοστό της ζήτησης των δικτύων τηλεθέρμανσης (20-50%) καθώς έχουν και πολύ μεγάλα φρεάτια εποχικής αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας.[73]



Εικόνα 6.4 Ηλιοθερμικός Σταθμός στο Gram της Δανίας

## 6.2. Παρουσίαση Σεναρίων

### 6.2.1. Σενάριο 1

Στο Σενάριο 1 εξετάζεται η περίπτωση της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της πόλης της Κοζάνης με την εγκατάσταση ενός Ατμοηλεκτρικού Σταθμού Συμπαγωγής Ενέργειας με καύση βιομάζας, ενός Λέβητα Θερμότητας με καύση βιομάζας και του ΜΥΗΣ Ιλαρίωνα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σεναρίου αυτού φαίνονται στους παρακάτω πίνακα:

Σενάριο 1	CHP Plant	ΜΥΗΣ	Μπαταρίες
Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς	51 MW	4.2MW	15MW/60MWh

Πίνακας 5.7 Σενάριο 1 Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς

Σενάριο 1	CHP Plant	Boiler	Θερμική Αποθήκευση
Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς	63 MW	118 MW	100 MWh

Πίνακας 5.8 Σενάριο 1 Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς

Στους παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ετήσιες παραγωγές ενέργειας από κάθε τεχνολογία:

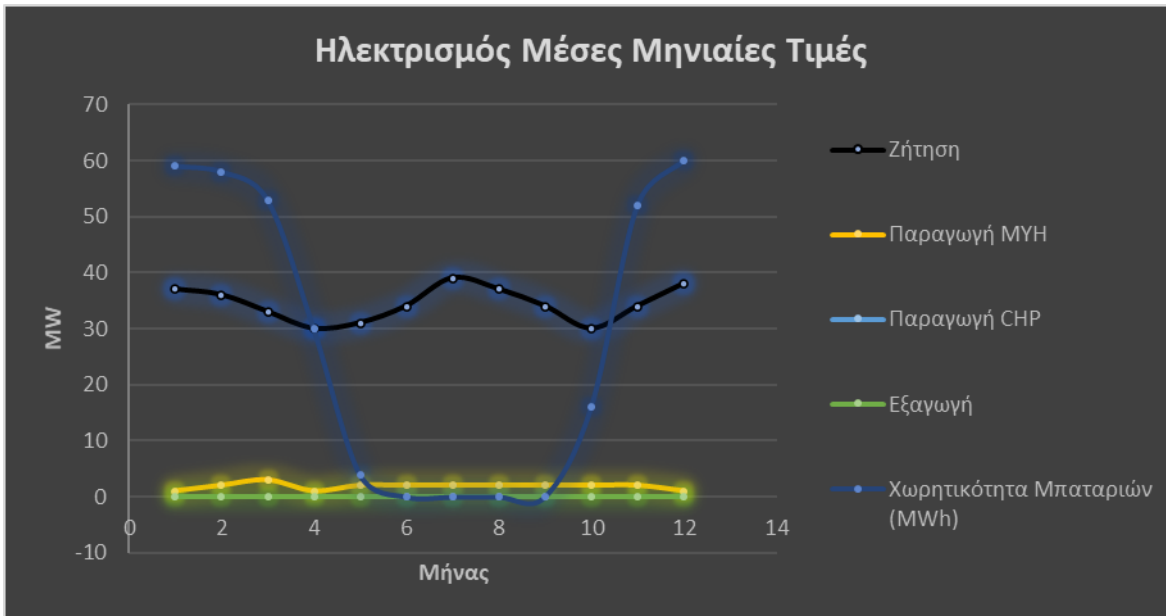
Σενάριο 1	Ζήτηση	CHP Plant	ΜΥΗΣ	Εξαγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας
Ετήσια Ηλεκτρική Ενέργεια (TWh)	0.30	0.29	0.02	0

Πίνακας 5.9 Σενάριο 1 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Εξαγωγή

Σενάριο 1	Ζήτηση	CHP Plant	Boiler
Ετήσια Θερμική Ενέργεια (TWh)	0.43	0.28	0.15

Πίνακας 5.10 Σενάριο 1 Ετήσια Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας

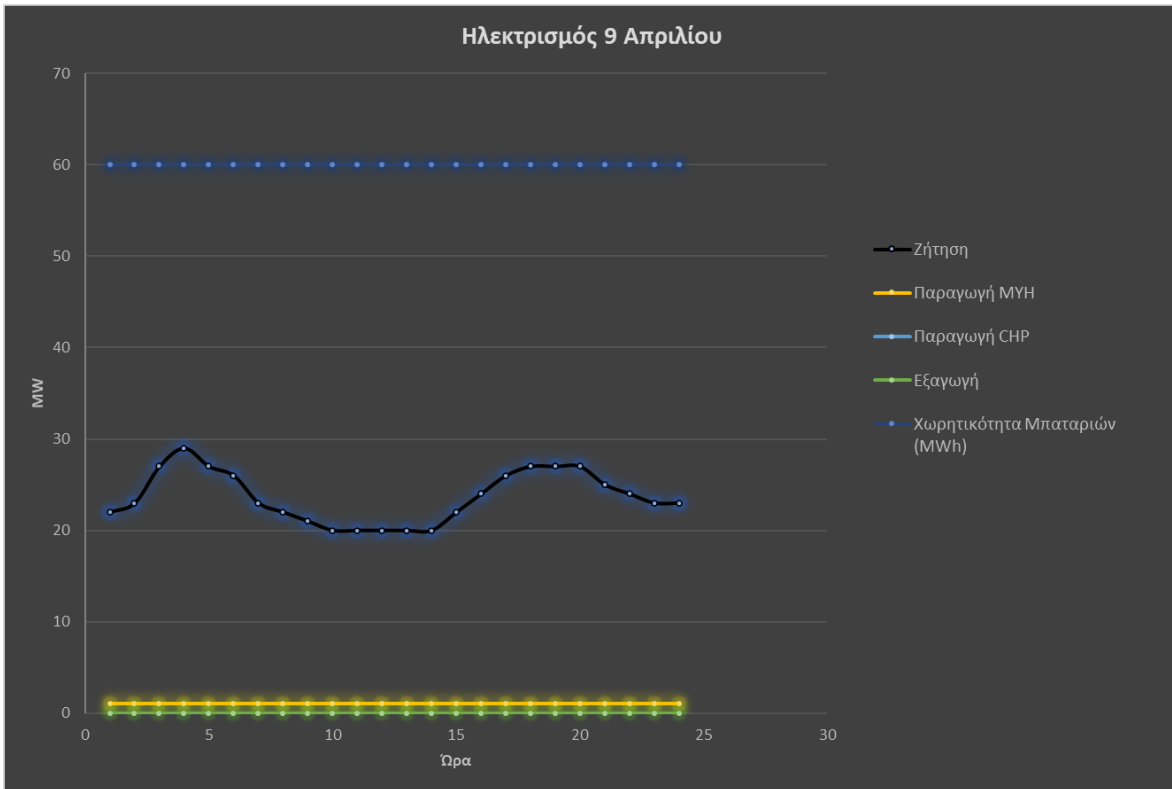
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η συμπεριφορά του συστήματος όπως αυτό μοντελοποιήθηκε στο EnergyPlan:



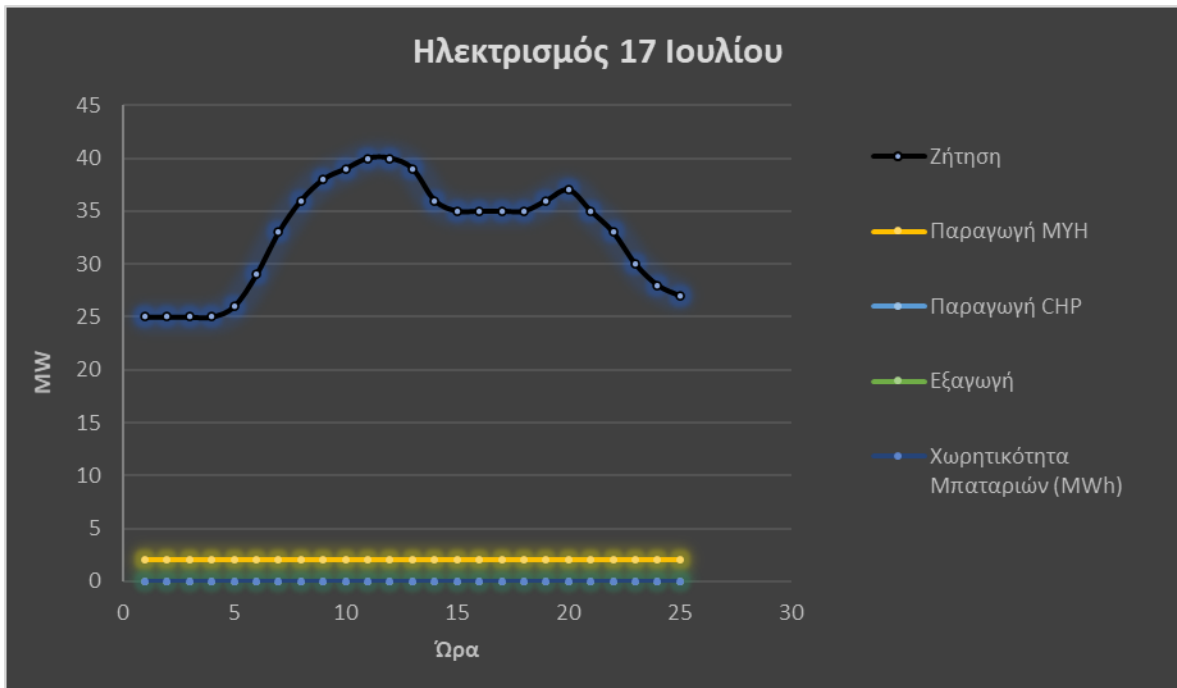
Διάγραμμα 6.1 Σενάριο 1 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ηλεκτρισμός



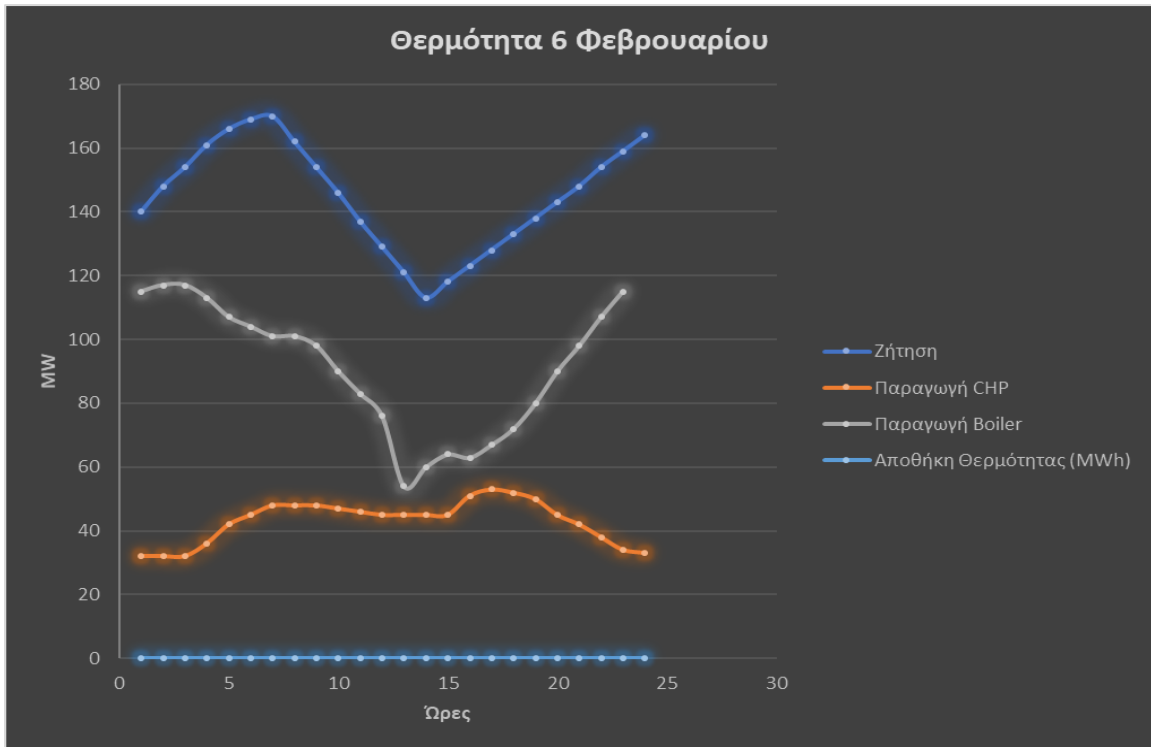
Διάγραμμα 6.2 Σενάριο 1 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Θερμότητα



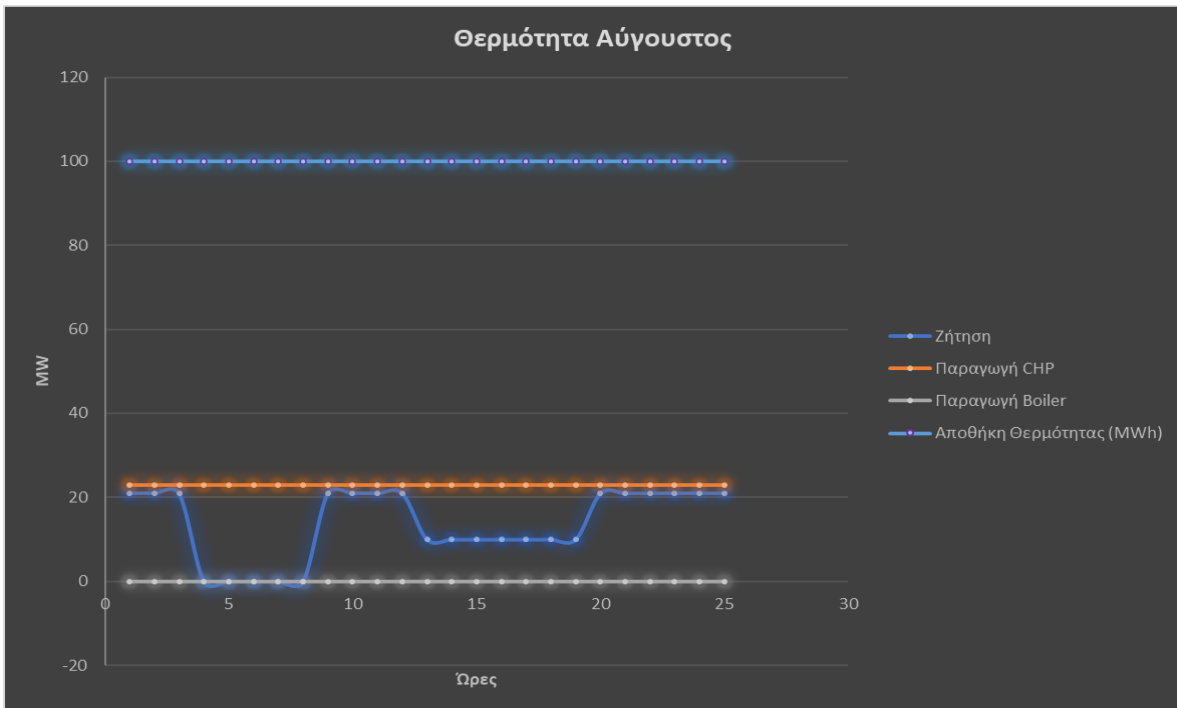
Διάγραμμα 6.3 Σενάριο 1 Ηλεκτρισμός 9 Απριλίου



Διάγραμμα 6.4 Σενάριο 1 Ηλεκτρισμός 17 Ιουλίου



Διάγραμμα 6.5 Σενάριο 1 Θερμότητα 6 Φεβρουαρίου



Διάγραμμα 6.6 Σενάριο 1 Θερμότητα Τυπική Ημέρα Αυγούστου

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα τελικά συνολικά αποτελέσματα για το Σενάριο 1:

Σενάριο	Κατανάλωση Βιομάζας (TWh/Έτος)	Κόστος Βιομάζας για Αγορά και Καλλιέργεια (Εκατομμύρια €/Έτος)	LCOE Θερμότητας (€/ MWth)	Πιθανή αλλαγή στο τιμολόγιο Θέρμανσης	LCOE Ηλεκτρισμού (€/ MWeI)	Ετήσιο Κόστος (Εκατομμύρια €/Έτος)	Κόστος Επένδυσης (Εκατομμύρια €/Έτος)
1	0.87	10.72	55.18	+28%	33.42	40	13

Πίνακας 5.11 Σενάριο 1 Τελικά Αποτελέσματα

### 6.2.2. Σενάριο 2

Στο Σενάριο 2 εξετάζεται η περίπτωση της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της πόλης της Κοζάνης με την εγκατάσταση ενός Ατμοηλεκτρικού Σταθμού Συμπαραγωγής Ενέργειας με καύση βιομάζας, ενός Λέβητα Θερμότητας με καύση βιομάζας, ενός Ηλεκτρικού Λέβητα Θερμότητας, Ανεμογεννητριών και Φωτοβολταϊκών και του ΜΥΗΣ Ιλαρίωνα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σεναρίου αυτού φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Σενάριο 2	CHP Plant	Ανεμογεννήτριες	PV	ΜΥΗΣ	Μπαταρίες
Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς	45 MW	70 MW	70 MW	4.2MW	15MW/60MWh

Πίνακας 5.12 Σενάριο 2 Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς

Σενάριο 2	CHP Plant	Boiler	Ηλεκτρικός Λέβητας Θερμότητας	Θερμική Αποθήκευση
Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς	56 MW	77 MW	84 MW	100 MWh

Πίνακας 5.13 Σενάριο 2 Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς

Στους παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ετήσιες παραγωγές ενέργειας από κάθε τεχνολογία:

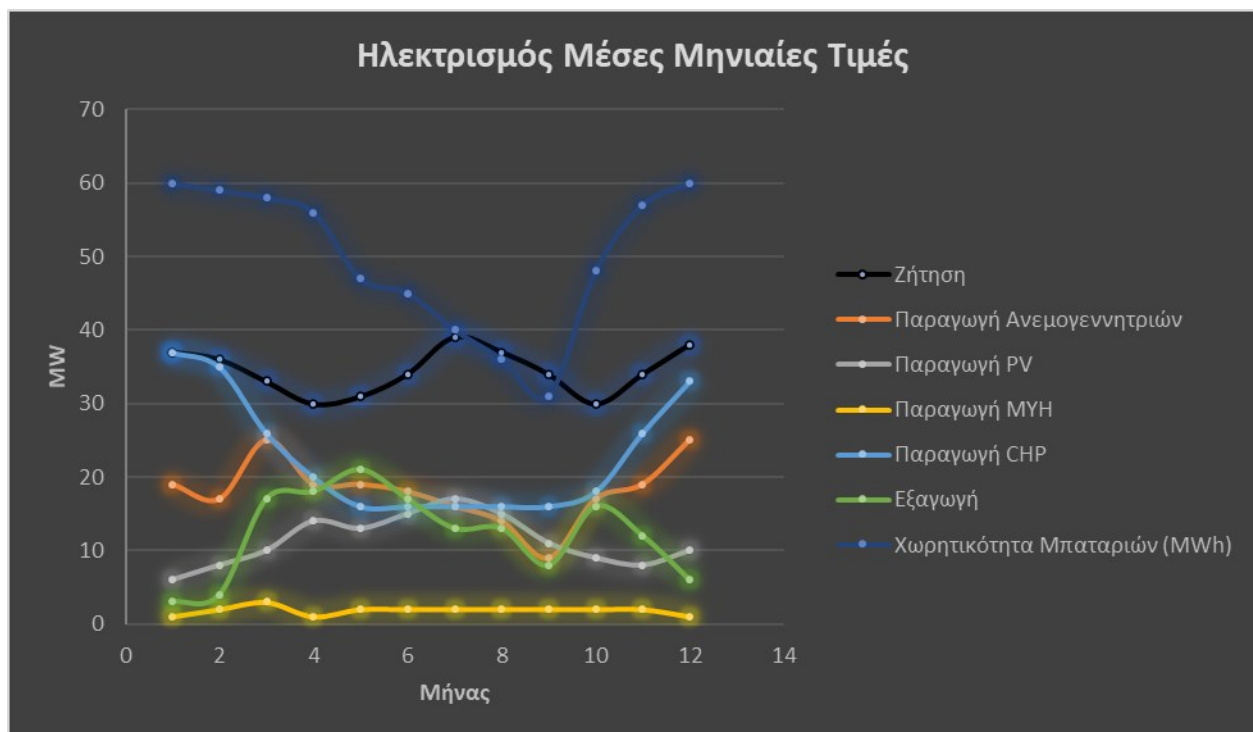
Σενάριο 2	Ζήτηση	CHP Plant	Ανεμογεννήτριες	PV	ΜΥΗΣ	Εξαγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας
Ετήσια Ηλεκτρική Ενέργεια (TWh)	0.30	0.21	0.16	0.10	0.02	0.12

Πίνακας 5.14 Σενάριο 2 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Εξαγωγή

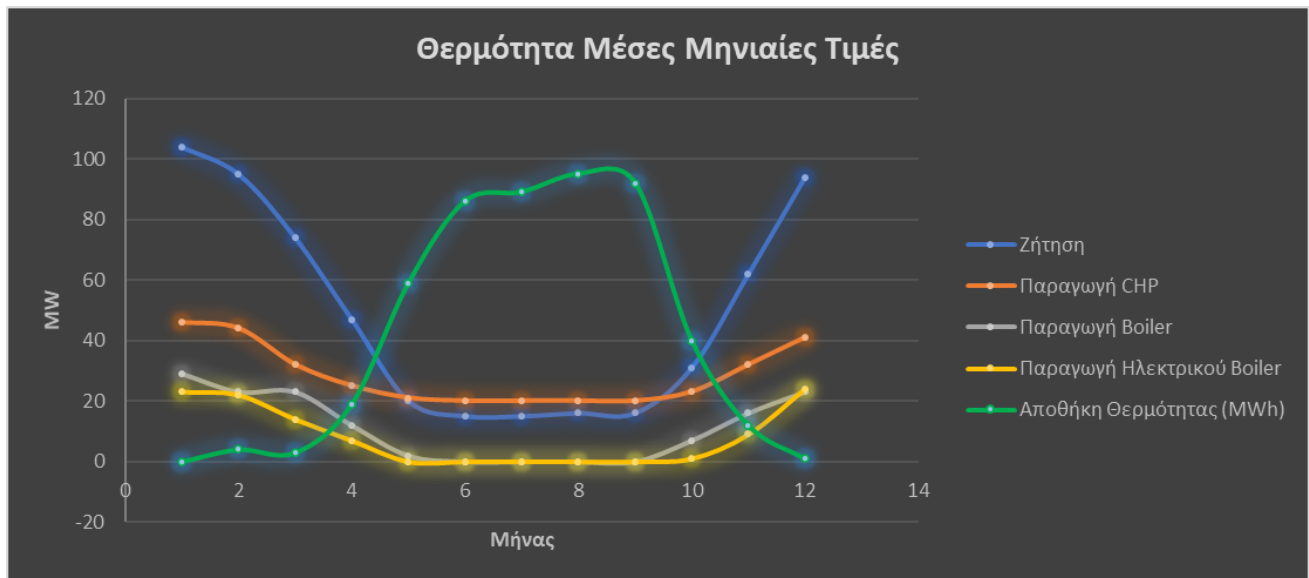
Σενάριο 2	Ζήτηση	CHP Plant	Boiler	Ηλεκτρικός Λέβητας
Ετήσια Θερμική Ενέργεια (TWh)	0.43	0.25	0.1	0.07

Πίνακας 5.15 Σενάριο 2 Ετήσια Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας

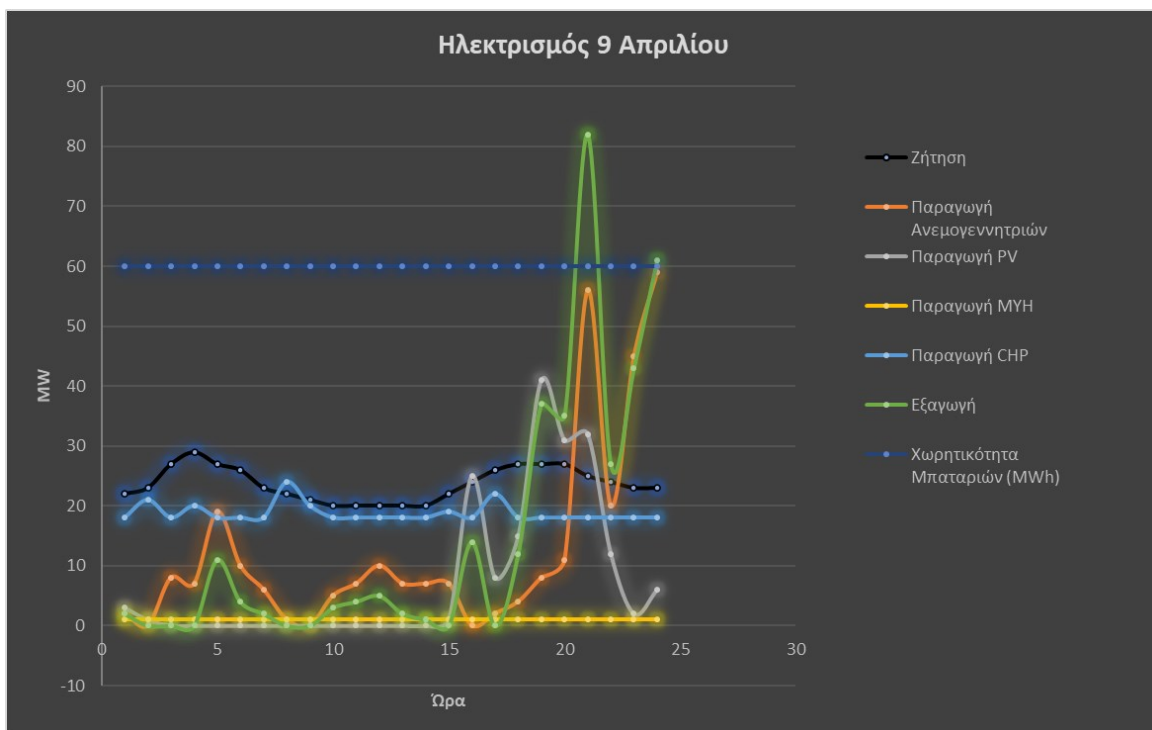
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η συμπεριφορά του συστήματος όπως αυτό μοντελοποιήθηκε στο EnergyPlan:



Διάγραμμα 6.7 Σενάριο 2 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ηλεκτρισμός

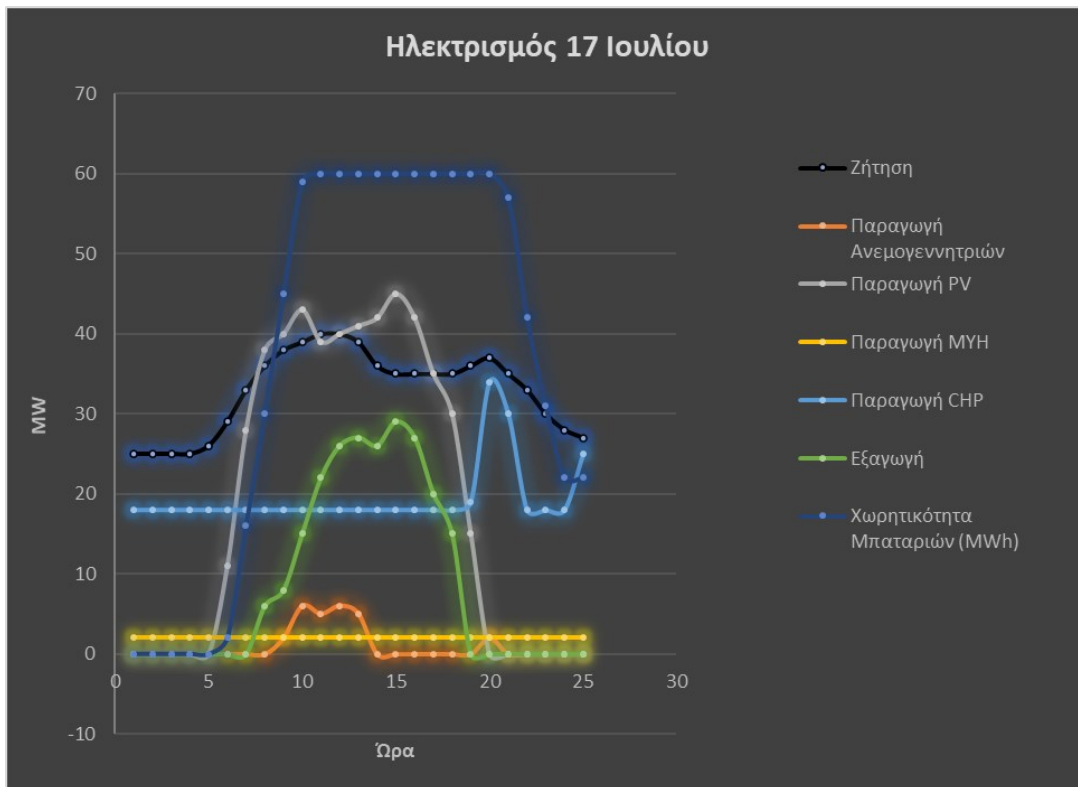


Διάγραμμα 6.8 Σενάριο 2 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Θερμότητα

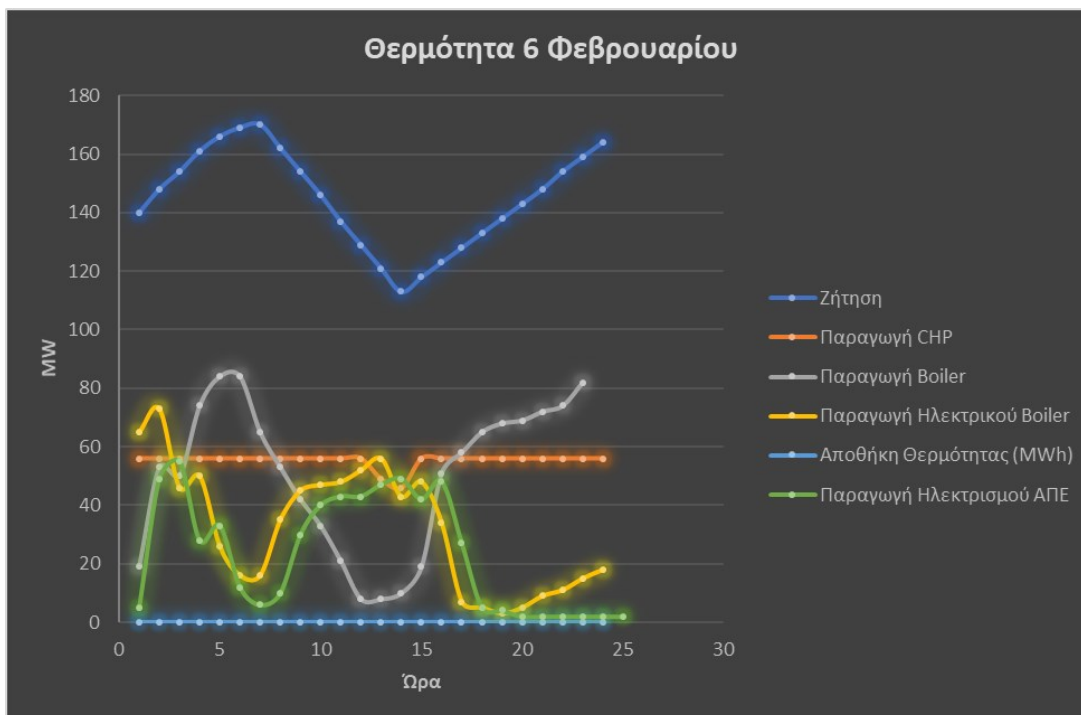


Διάγραμμα 6.9 Σενάριο 2 Ηλεκτρισμός 9 Απριλίου

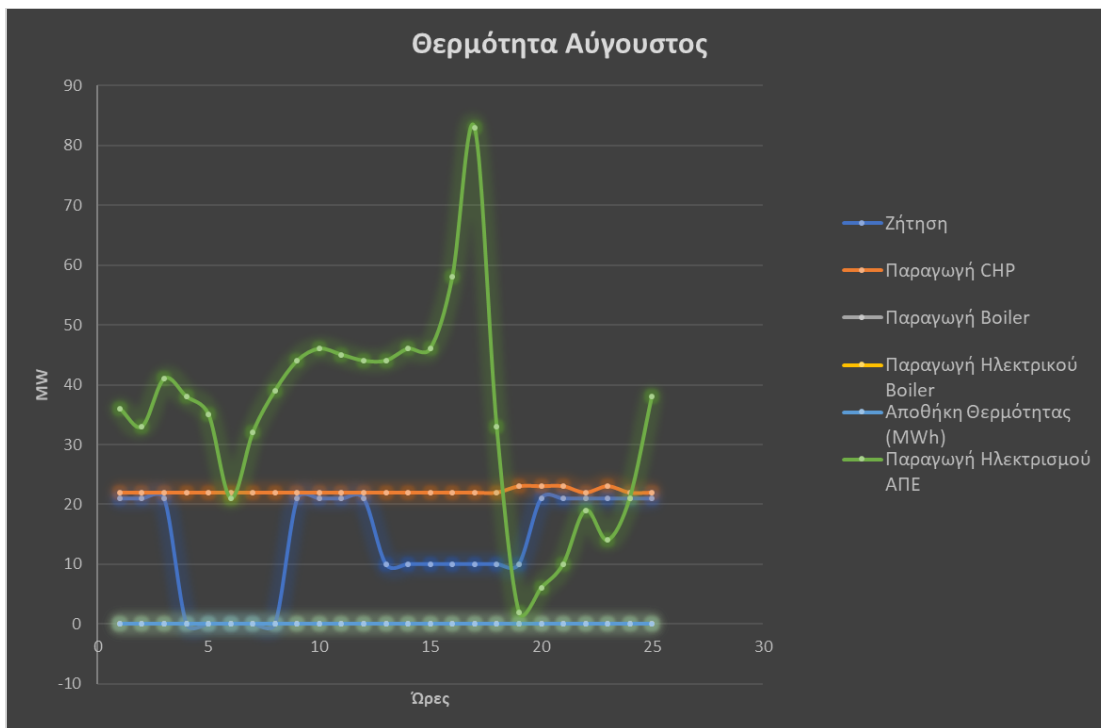




Διάγραμμα 6.10 Σενάριο 2 Ηλεκτρισμός 17 Ιουλίου

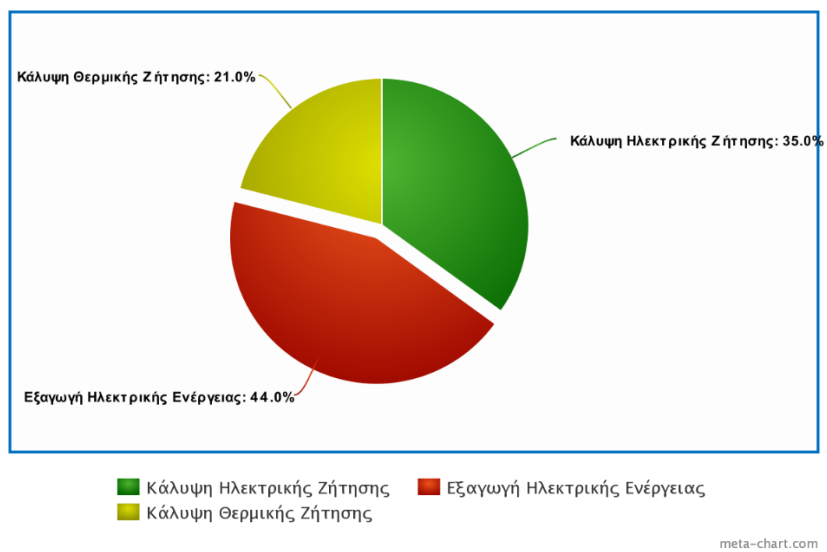


Διάγραμμα 6.11 Σενάριο 2 Θερμότητα 6 Φεβρουαρίου



Διάγραμμα 6.12 Σενάριο 2 Θερμότητα Τυπική Ημέρα Αυγούστου

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από τις μεταβλητές ΑΠΕ ( Ανεμογεννήτριες, ΡV, ΜΥΗΣ):



Διάγραμμα 6.13 Σενάριο 2 Χρήση Μεταβλητών ΑΠΕ

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα τελικά συνολικά αποτελέσματα για το Σενάριο 2:

Σενάριο	Κατανάλωση Βιομάζας (TWh/Έτος)	Κόστος Βιομάζας για Αγορά και Καλλιέργεια (Εκατομμύρια €/Έτος)	LCOE Θερμότητας (€/ MWth)	Πιθανή αλλαγή στο τιμολόγιο Θέρμανσης	LCOE Ηλεκτρισμού (€/ MWeI)	Ετήσιο Κόστος (Εκατομμύρια €/Έτος)	Κόστος Επένδυσης (Εκατομμύρια €/Έτος)
2	0.63	7.45	30.28	-18%	56.08	29	21

Πίνακας 5.16 Σενάριο 2 Τελικά Αποτελέσματα

### 6.2.3. Σενάριο 3

Στο Σενάριο 3 εξετάζεται η περίπτωση της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της πόλης της Κοζάνης με την εγκατάσταση ενός Ατμοηλεκτρικού Σταθμού Συμπαγωγής Ενέργειας με καύση βιομάζας, ενός Λέβητα Θερμότητας με καύση βιομάζας, δυο Μεγάλων Αντλιών Θερμότητας, Ανεμογεννητριών και Φωτοβολταϊκών και του ΜΥΗΣ Ιλαρίωνα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σεναρίου αυτού φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Σενάριο 3	CHP Plant	Ανεμογεννήτριες	PV	ΜΥΗΣ	Μπαταρίες
Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς	45 MW	70 MW	70 MW	4.2MW	15MW/60MWh

Πίνακας 5.17 Σενάριο 3 Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς

Σενάριο 3	CHP Plant	Boiler	Μεγάλες Αντλίες Θερμότητας	Θερμική Αποθήκευση
Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς	56 MW	78 MW	64 MW	100 MWh

Πίνακας 5.18 Σενάριο 3 Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι ετήσιες παραγωγές ενέργειας από κάθε τεχνολογία:

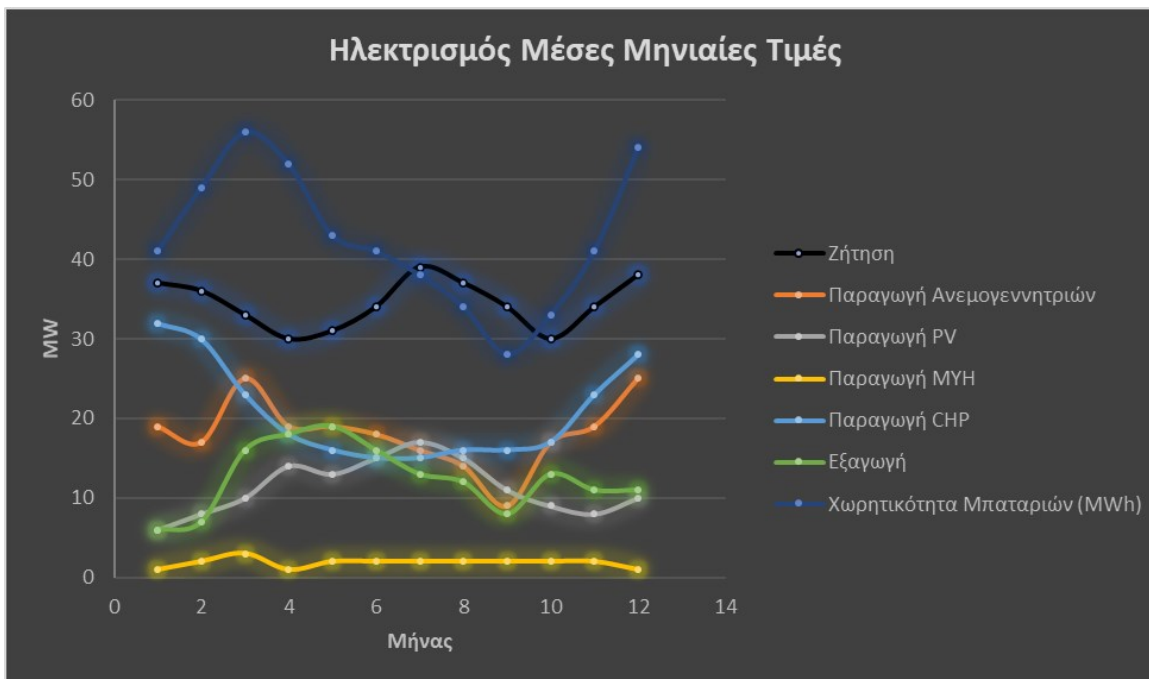
Σενάριο 3	Ζήτηση (μαζί με τις ανάγκες των αντλιών θερμότητας)	CHP Plant	Ανεμογεννήτριες	PV	ΜΥΗΣ	Εξαγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας
Ετήσια Ηλεκτρική Ενέργεια (TWh)	0.36	0.19	0.16	0.10	0.02	0.11

Πίνακας 5.19 Σενάριο 3 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Εξαγωγή

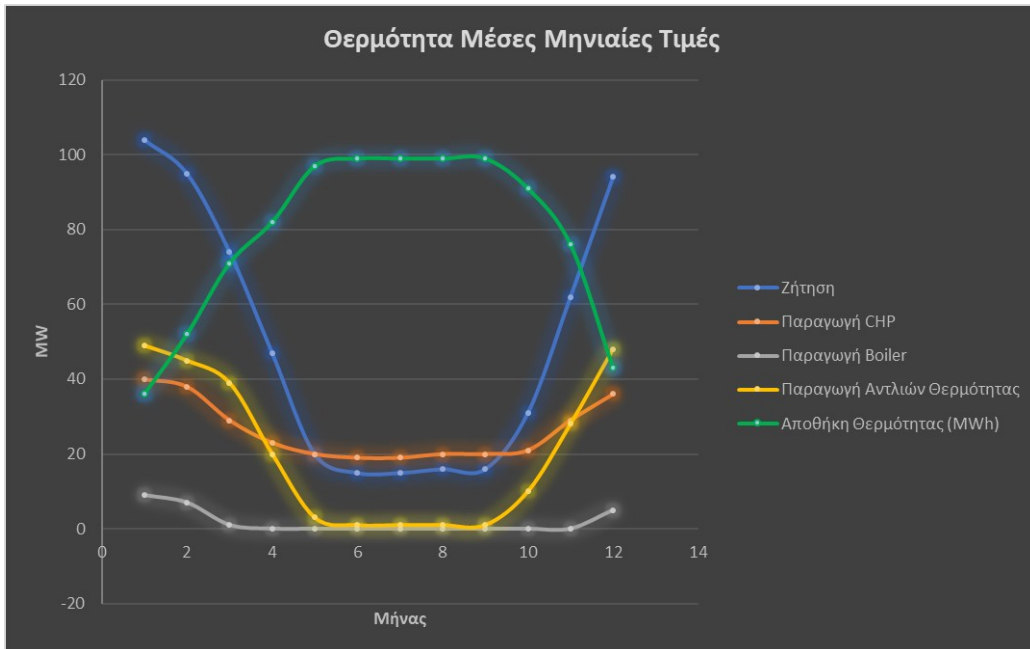
Σενάριο 3	Ζήτηση	CHP Plant	Boiler	Μεγάλες Αντλίες Θερμότητας
Ετήσια Θερμική Ενέργεια (TWh)	0.43	0.23	0.02	0.18

Πίνακας 5.20 Σενάριο 3 Ετήσια Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας

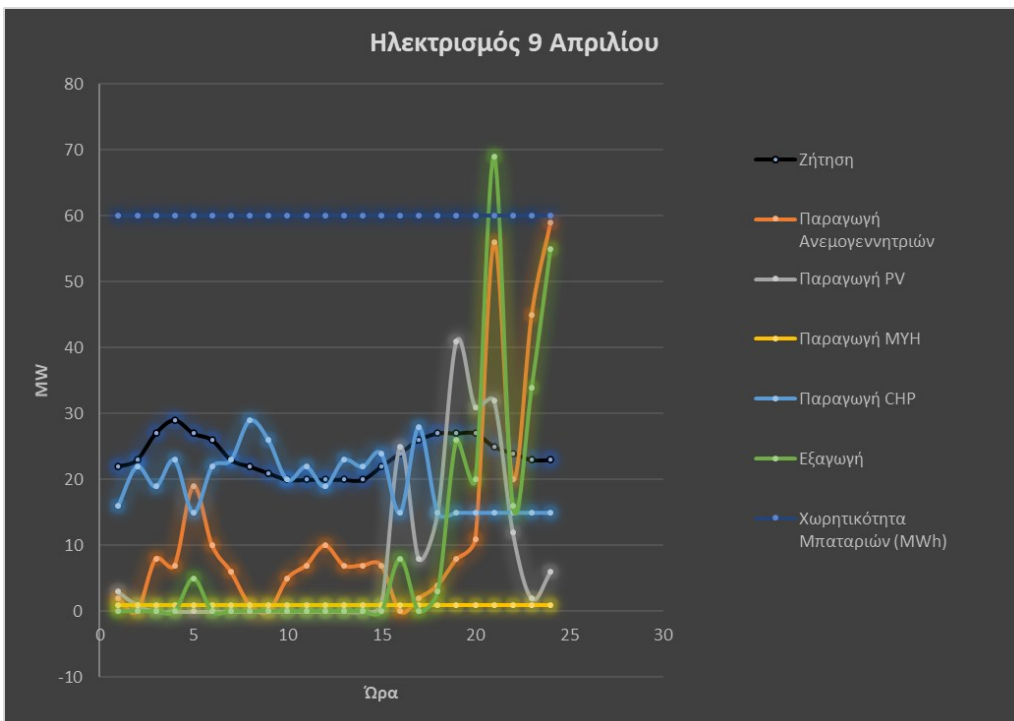
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η συμπεριφορά του συστήματος όπως αυτό μοντελοποιήθηκε στο EnergyPlan:



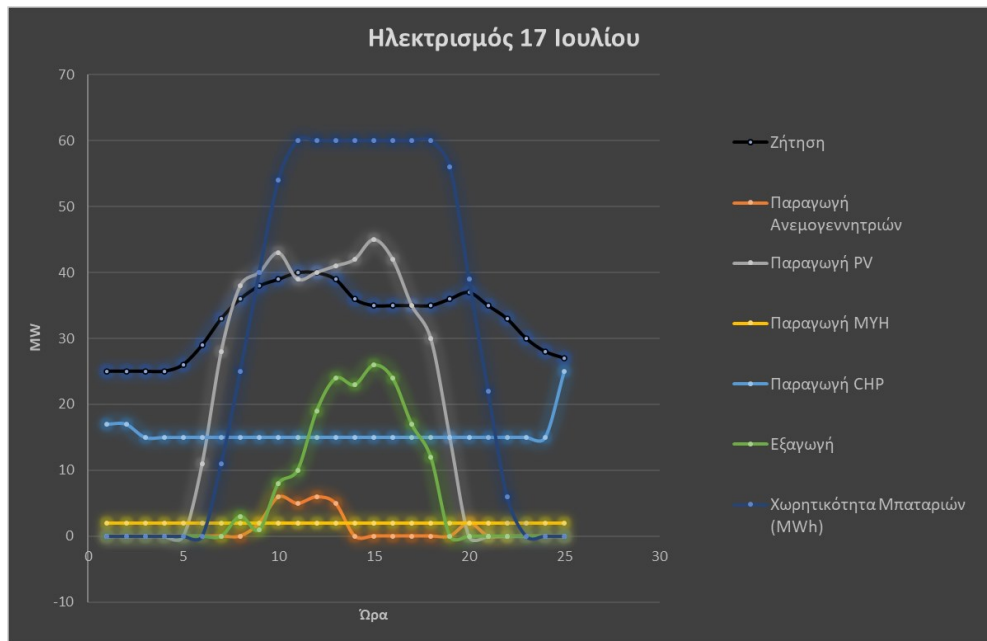
Διάγραμμα 6.14 Σενάριο 3 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ηλεκτρισμός



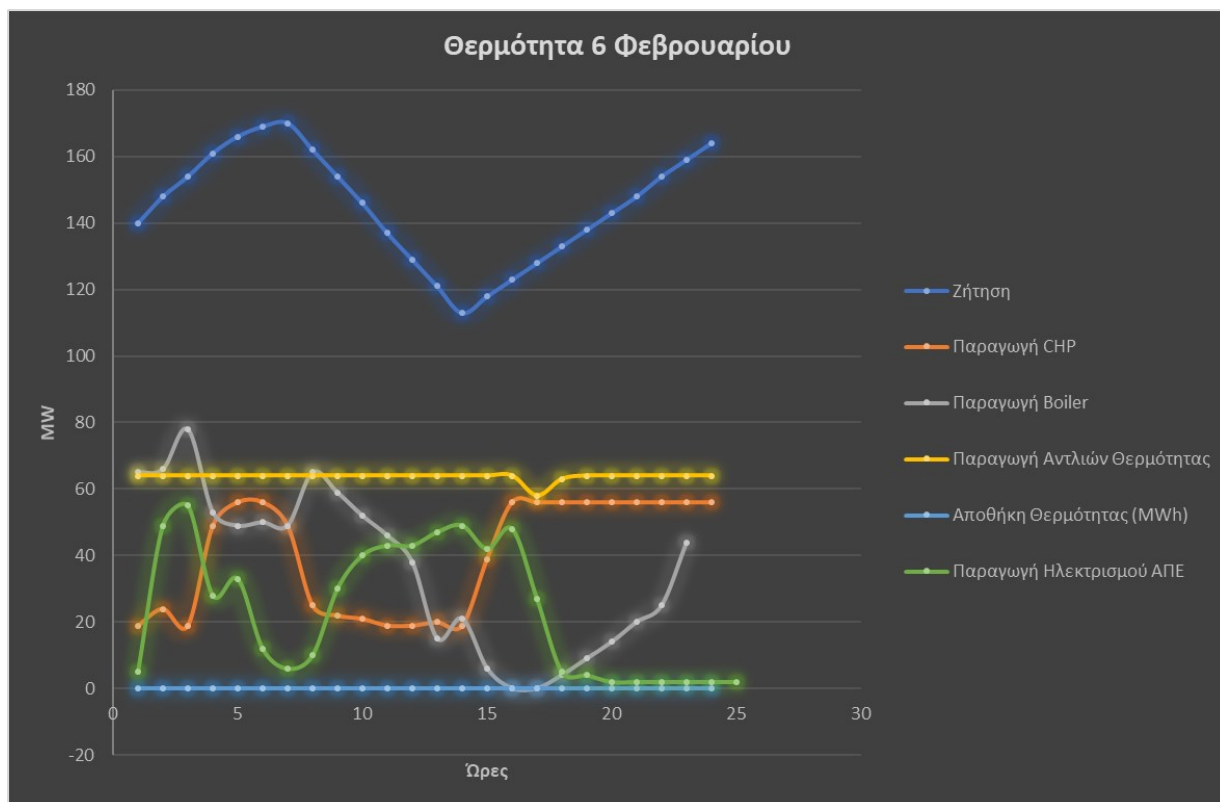
Διάγραμμα 6.15 Σενάριο 3 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Θερμότητα



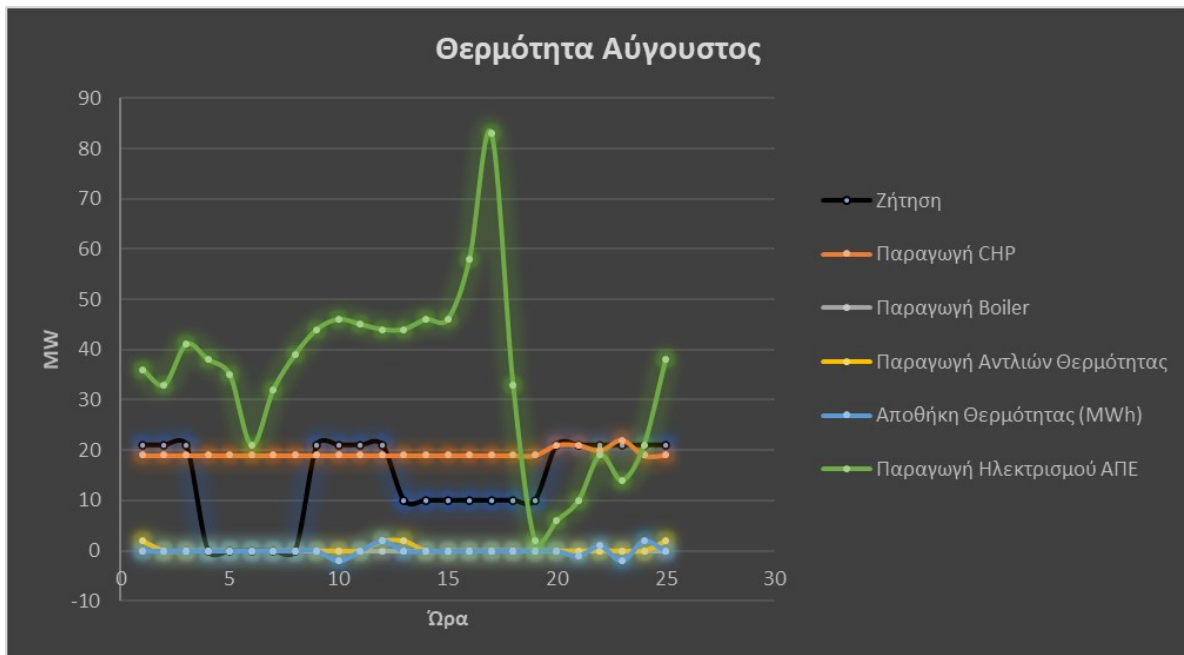
Διάγραμμα 6.16 Σενάριο 3 Ηλεκτρισμός 9 Απριλίου



Διάγραμμα 6.17 Σενάριο 3 Ηλεκτρισμός 17 Ιουλίου

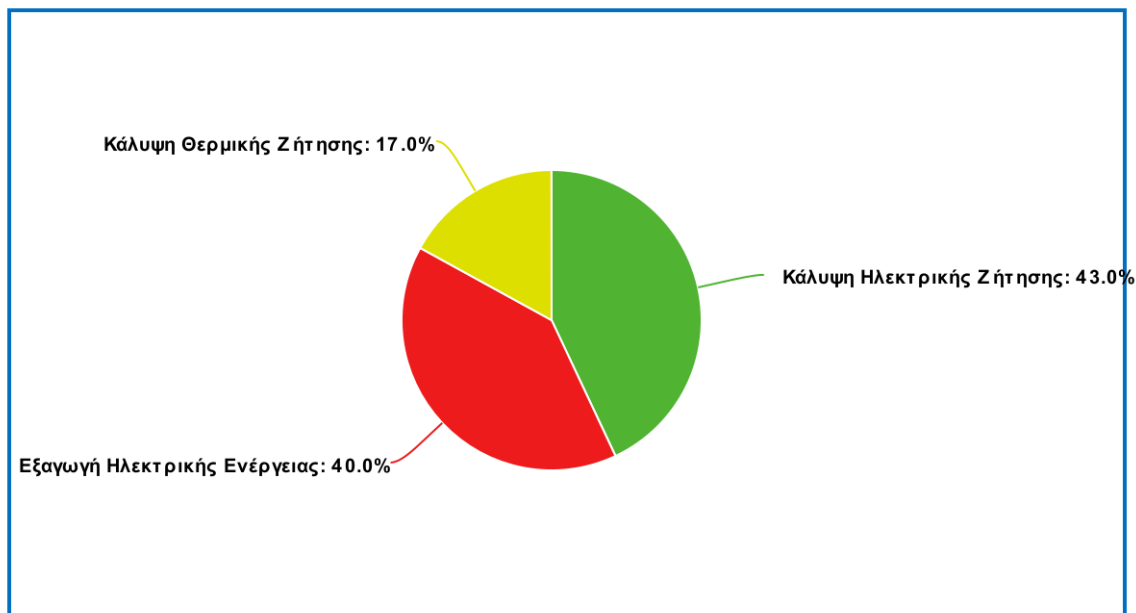


Διάγραμμα 6.18 Σενάριο 3 Θερμότητα 6 Φεβρουαρίου



Διάγραμμα 6.19 Σενάριο 3 Θερμότητα Τυπική Ημέρα Αυγούστου

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από τις μεταβλητές ΑΠΕ ( Ανεμογεννήτριες, ΡV, ΜΥΗΣ):



■ Κάλυψη Ηλεκτρικής Ζήτησης    ■ Εξαγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας  
■ Κάλυψη Θερμικής Ζήτησης

meta-chart.com

Διάγραμμα 6.20 Σενάριο 3 Χρήση Μεταβλητών ΑΠΕ

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα τελικά συνολικά αποτελέσματα για το Σενάριο 1:

Σενάριο	Κατανάλωση Βιομάζας (TWh/ Έτος)	Κόστος Βιομάζας για Αγορά και Καλλιέργεια (Εκατομμύρια €/ Έτος)	LCOE Θερμότητας (€/ MWth)	Πιθανή αλλαγή στο τιμολόγιο Θέρμανσης	LCOE Ηλεκτρισμού (€/ MWeI)	Ετήσιο Κόστος (Εκατομμύρια €/ Έτος)	Κόστος Επένδυσης (Εκατομμύρια €/ Έτος)
3	0.5	5.68	24.25	-32%	58.57	26	21

Πίνακας 5.21 Σενάριο 3 Τελικά Αποτελέσματα

#### 6.2.4. Σενάριο 4

Στο Σενάριο 4 εξετάζεται η περίπτωση της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της πόλης της Κοζάνης με την εγκατάσταση ενός Ατμοηλεκτρικού Σταθμού Συμπαραγωγής Ενέργειας με καύση βιομάζας, ενός Λέβητα Θερμότητας με καύση βιομάζας, ενός Ηλιοθερμικού Συστήματος, ενός Ηλεκτρικού Λέβητα Θερμότητας Ανεμογεννητριών και Φωτοβολταϊκών και του ΜΥΗΣ Ιλαρίωνα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σεναρίου αυτού φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:



Σενάριο 4	CHP Plant	Ανεμογεννήτριες	PV	ΜΥΗΣ	Μπαταρίες
Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς	45 MW	70 MW	70 MW	4.2MW	15MW/60MWh

Πίνακας 5.22 Σενάριο 4 Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς

Σενάριο 4	CHP Plant	Boiler	Ηλεκτρικός Λέβητας	Ηλιοθερμικός Σταθμός	Θερμική Αποθήκευση	Ηλιοθερμική Αποθήκευση
Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς	56 MW	84 MW	90 MW	108 MW	100 MWh	1000 MWh

Πίνακας 5.23 Σενάριο 4 Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι ετήσιες παραγωγές ενέργειας από κάθε τεχνολογία:

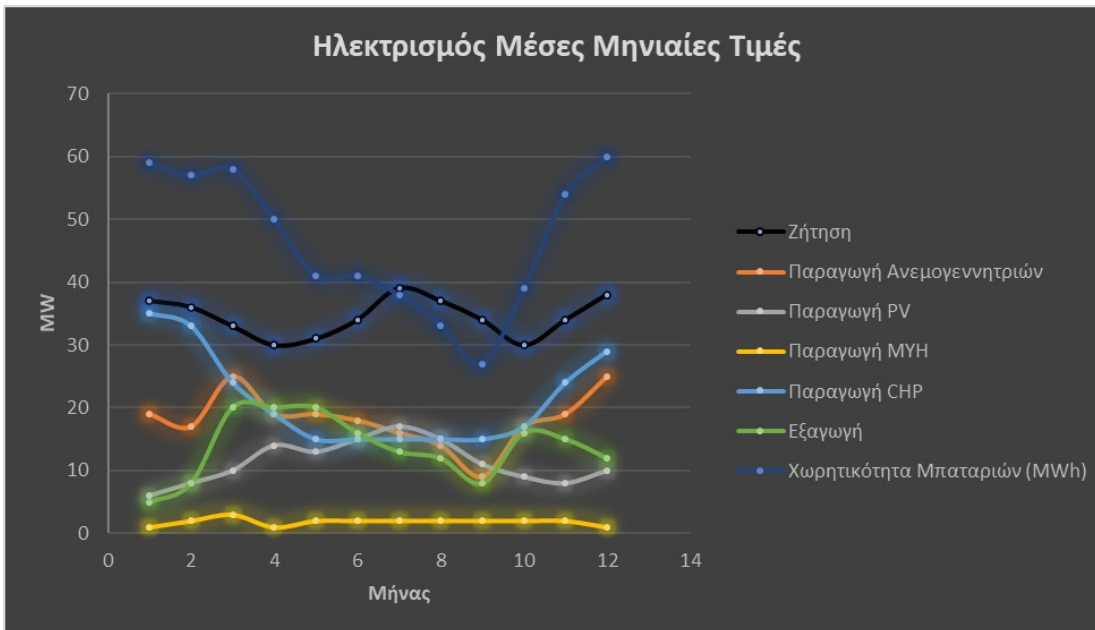
Σενάριο 4	Ζήτηση	CHP Plant	Ανεμογεννήτριες	PV	ΜΥΗΣ	Εξαγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας
Ετήσια Ηλεκτρική Ενέργεια (TWh)	0.3	0.2	0.16	0.10	0.02	0.12

Πίνακας 5.24 Σενάριο 4 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Εξαγωγή

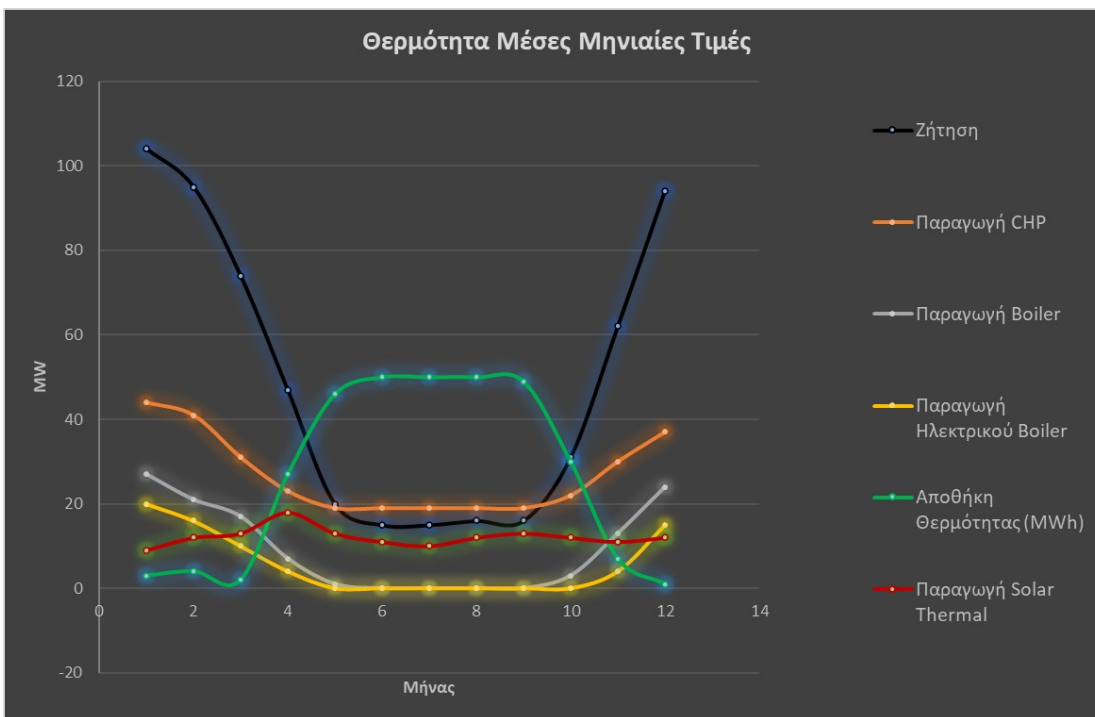
Σενάριο 4	Ζήτηση	CHP Plant	Boiler	Ηλεκτρικός Λέβητας	Ηλιοθερμικός Σταθμός
Ετήσια Θερμική Ενέργεια (TWh)	0.43	0.23	0.08	0.05	0.11

Πίνακας 5.25 Σενάριο 4 Ετήσια Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας

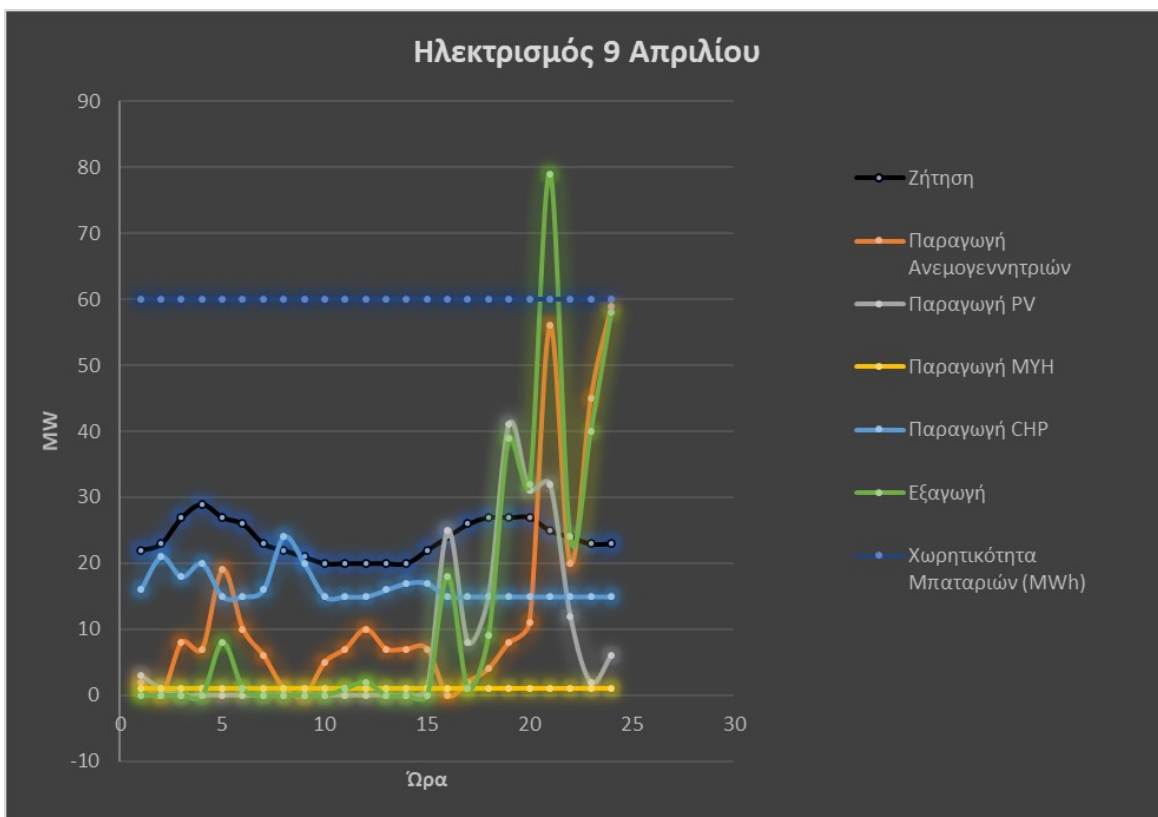
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η συμπεριφορά του συστήματος όπως αυτό μοντελοποιήθηκε στο EnergyPlan:



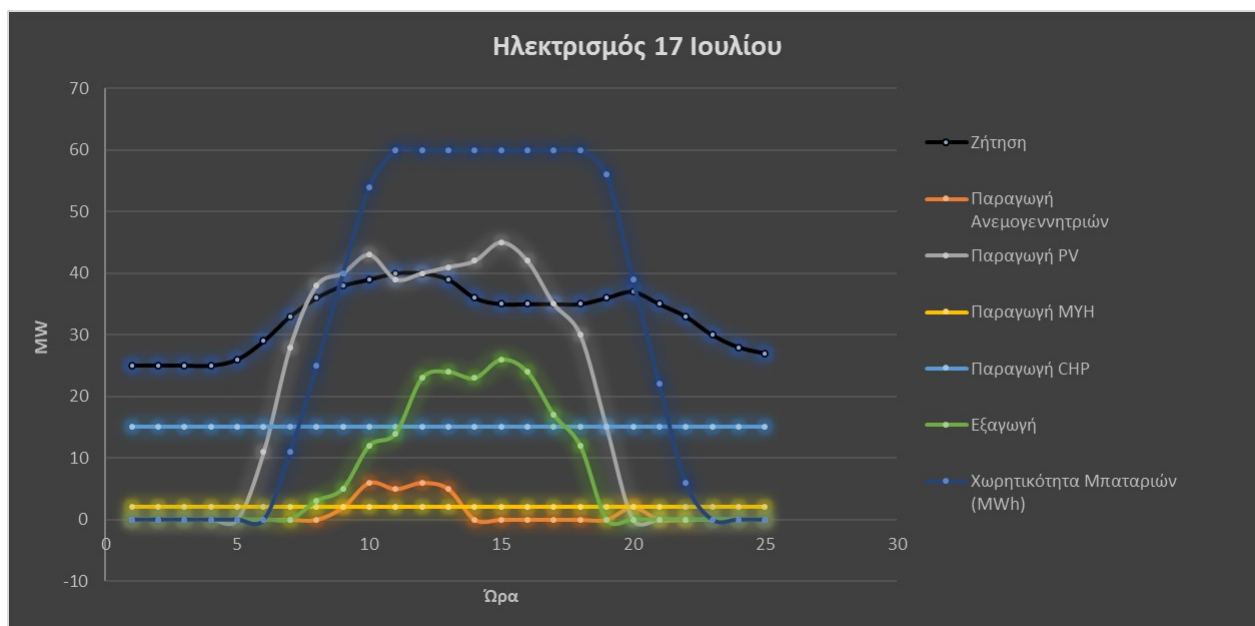
Διάγραμμα 6.21 Σενάριο 4 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ηλεκτρισμός



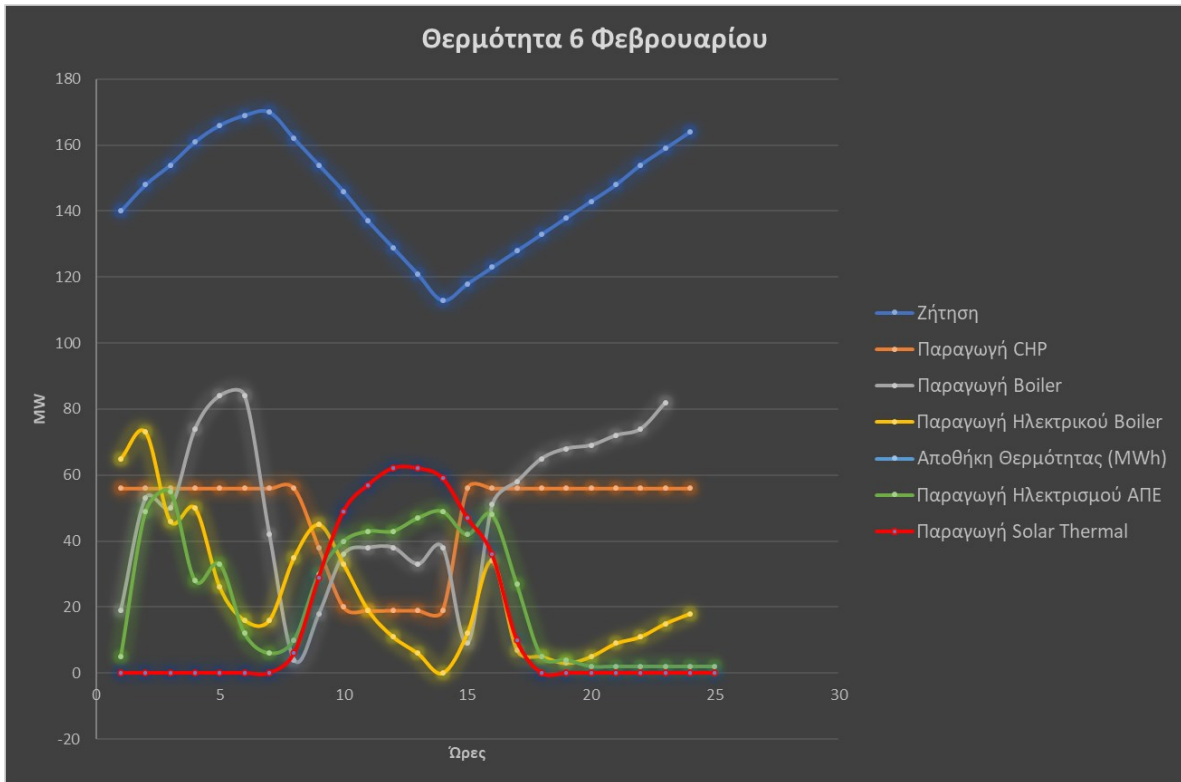
Διάγραμμα 6.22 Σενάριο 4 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Θερμότητα



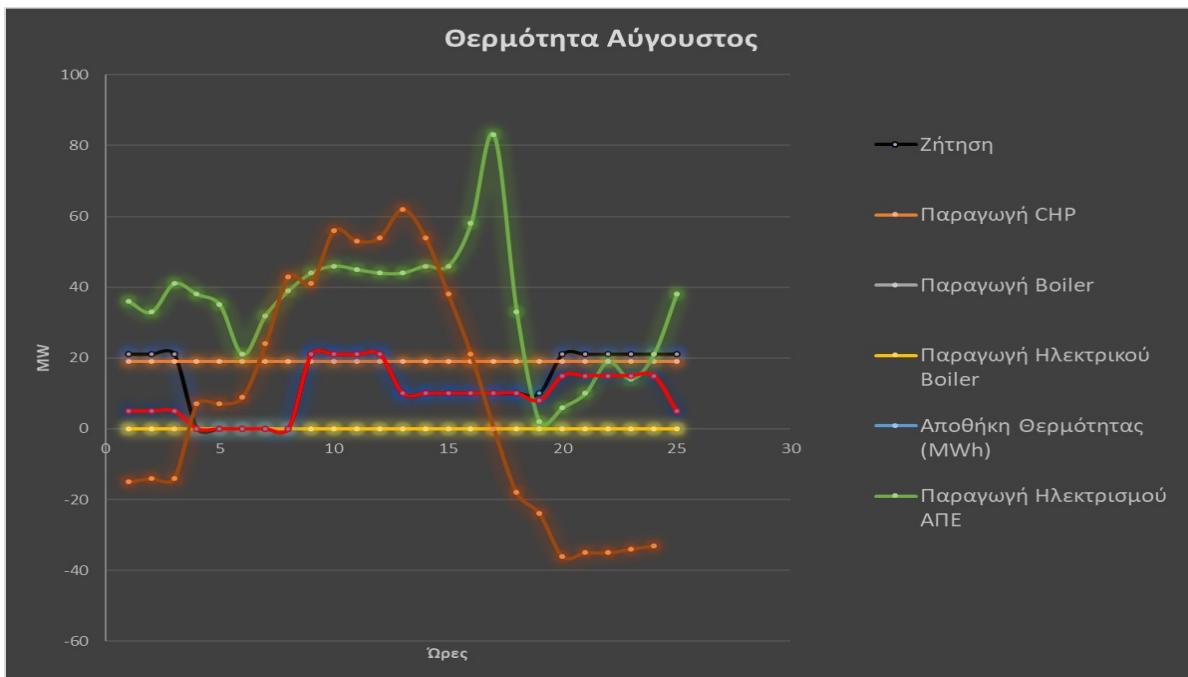
Διάγραμμα 6.23 Σενάριο 4 Ηλεκτρισμός 9 Απριλίου



Διάγραμμα 6.24 Σενάριο 4 Ηλεκτρισμός 17 Ιουλίου

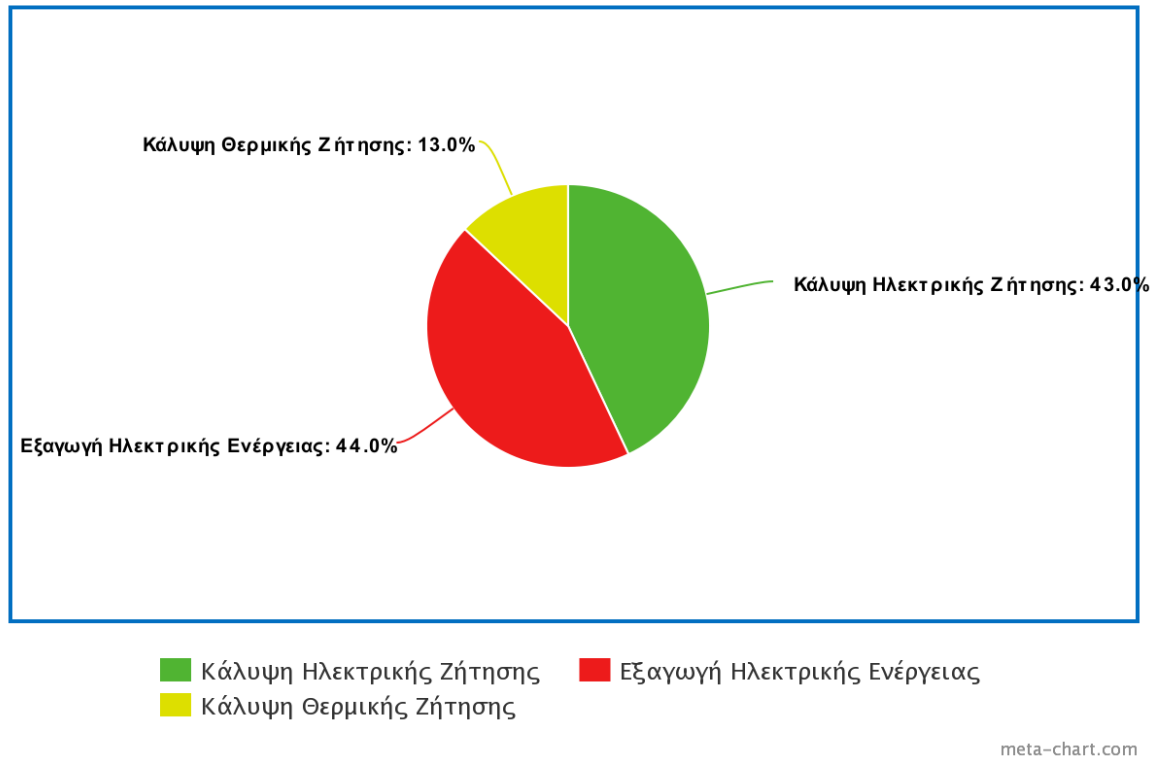


Διάγραμμα 6.25 Σενάριο 4 Θερμότητα 6 Φεβρουαρίου



Διάγραμμα 6.26 Σενάριο 4 Θερμότητα Τυπική Ημέρα Αυγούστου

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από τις μεταβλητές ΑΠΕ ( Ανεμογεννήτριες, PV, ΜΥΗΣ):



Διάγραμμα 6.27 Σενάριο 4 Χρήση Μεταβλητών ΑΠΕ

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα τελικά συνολικά αποτελέσματα για το Σενάριο 4:

Σενάριο	Κατανάλωση Βιομάζας (TWh/ Έτος)	Κόστος Βιομάζας για Αγορά και Καλλιέργεια (Εκατομμύρια €/ Έτος)	LCOE Θερμότητας (€/ MWth)	Πιθανή αλλαγή στο τιμολόγιο Θέρμανσης	LCOE Ηλεκτρισμού (€/ MWeI)	Ετήσιο Κόστος (Εκατομμύρια €/ Έτος)	Κόστος Επένδυσης (Εκατομμύρια €/ Έτος)
4	0.59	6.91	74.11	+72%	58.07	57	39

Πίνακας 5.26 Σενάριο 4 Τελικά Αποτελέσματα

### 6.2.5. Σενάριο 5

Στο Σενάριο 5 εξετάζεται η περίπτωση της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της πόλης της Κοζάνης με την εγκατάσταση ενός Ατμοηλεκτρικού Σταθμού Συμπαγωγής Ενέργειας με καύση βιομάζας, ενός Λέβητα Θερμότητας με καύση βιομάζας, δυο Μεγάλων Αντλιών

Θερμότητας και ενός Ηλεκτρικού Λέβητα Θερμότητας, Ανεμογεννητριών και Φωτοβολταϊκών και του ΜΥΗΣ Ιλαρίωνα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σεναρίου αυτού φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Σενάριο 5	CHP Plant	Ανεμογεννήτριες	PV	ΜΥΗΣ	Μπαταρίες
Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς	45 MW	70 MW	70 MW	4.2MW	15MW/60MWh

Πίνακας 5.27 Σενάριο 5 Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς

Σενάριο 5	CHP Plant	Boiler	Μεγάλες Αντλίες Θερμότητας	Ηλεκτρικός Λέβητας	Θερμική Αποθήκευση
Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς	56 MW	50 MW	64 MW	36 MW	100 MWh

Πίνακας 5.28 Σενάριο 5 Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι ετήσιες παραγωγές ενέργειας από κάθε τεχνολογία:

Σενάριο 5	Ζήτηση (μαζί με τις ανάγκες των αντλιών θερμότητας)	CHP Plant	Ανεμογεννήτριες	PV	ΜΥΗΣ	Εξαγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας
Ετήσια Ηλεκτρική Ενέργεια (TWh)	0.36	0.19	0.16	0.10	0.02	0.11

Πίνακας 5.29 Σενάριο 5 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Εξαγωγή

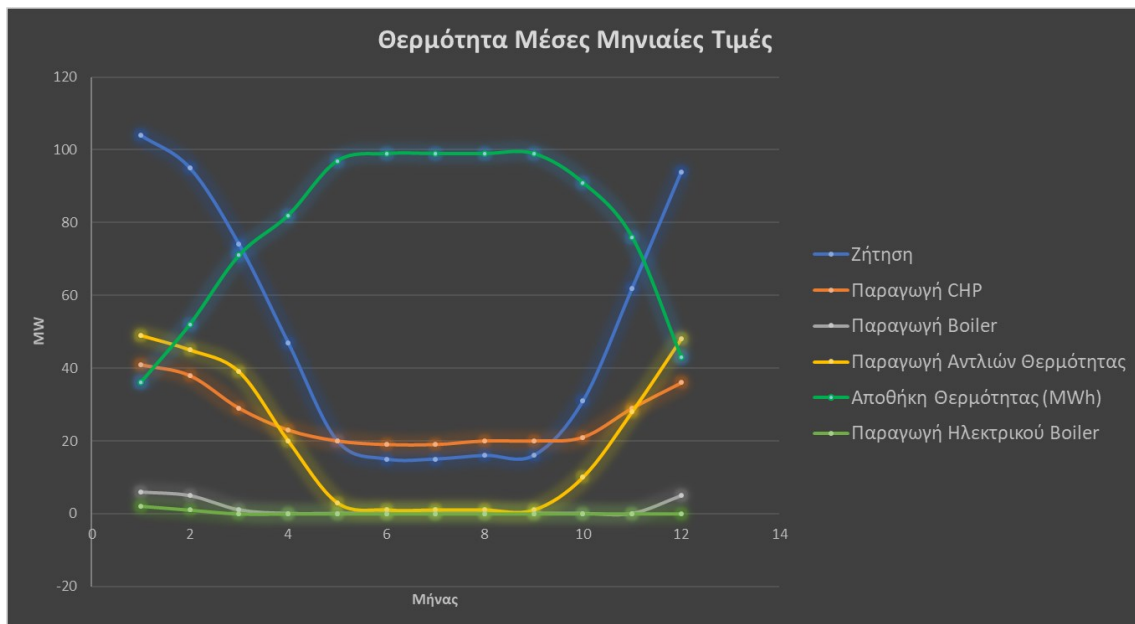
Σενάριο 5	Ζήτηση	CHP Plant	Boiler	Μεγάλες Αντλίες Θερμότητας	Ηλεκτρικός Λέβητας
Ετήσια Θερμική Ενέργεια (TWh)	0.43	0.23	0.01	0.18	0.003

Πίνακας 5.29 Σενάριο 5 Ετήσια Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας

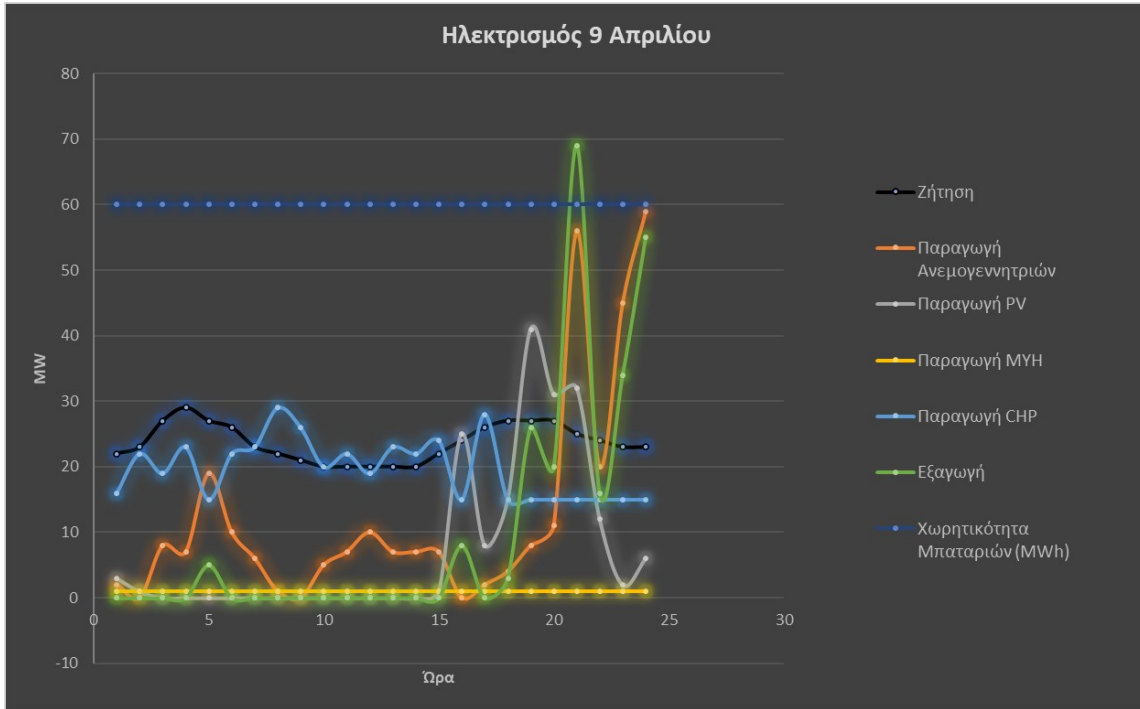
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η συμπεριφορά του συστήματος όπως αυτό μοντελοποιήθηκε στο EnergyPlan:



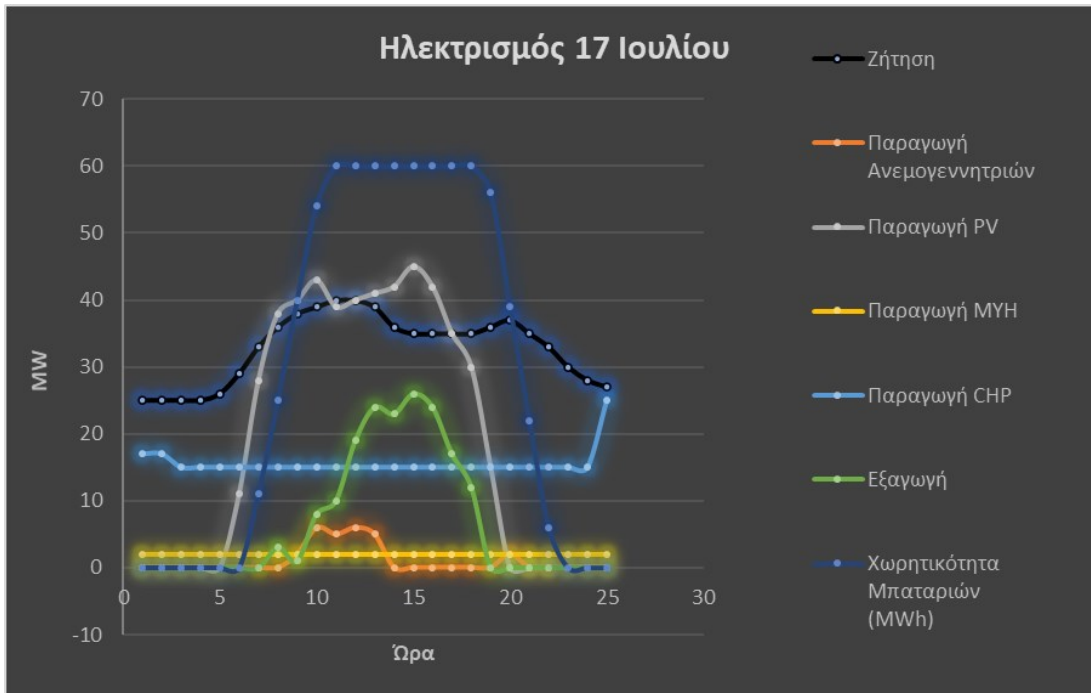
Διάγραμμα 6.28 Σενάριο 5 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ηλεκτρισμός



Διάγραμμα 6.29 Σενάριο 5 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Θερμότητα

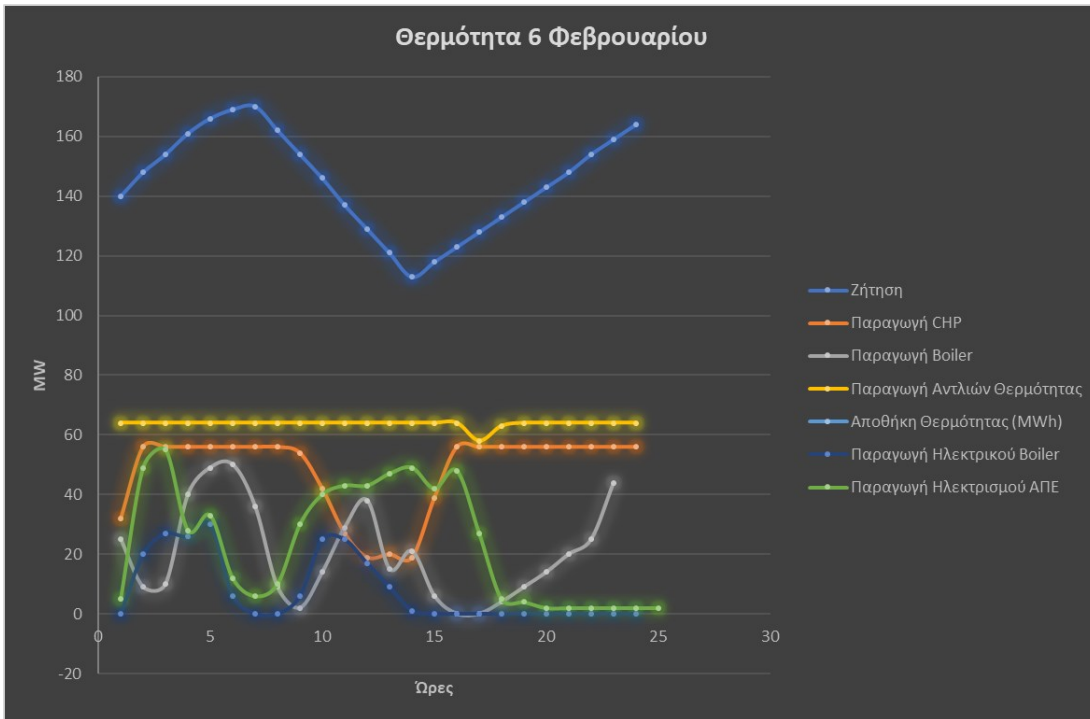


Διάγραμμα 6.30 Σενάριο 5 Ηλεκτρισμός 9 Απριλίου

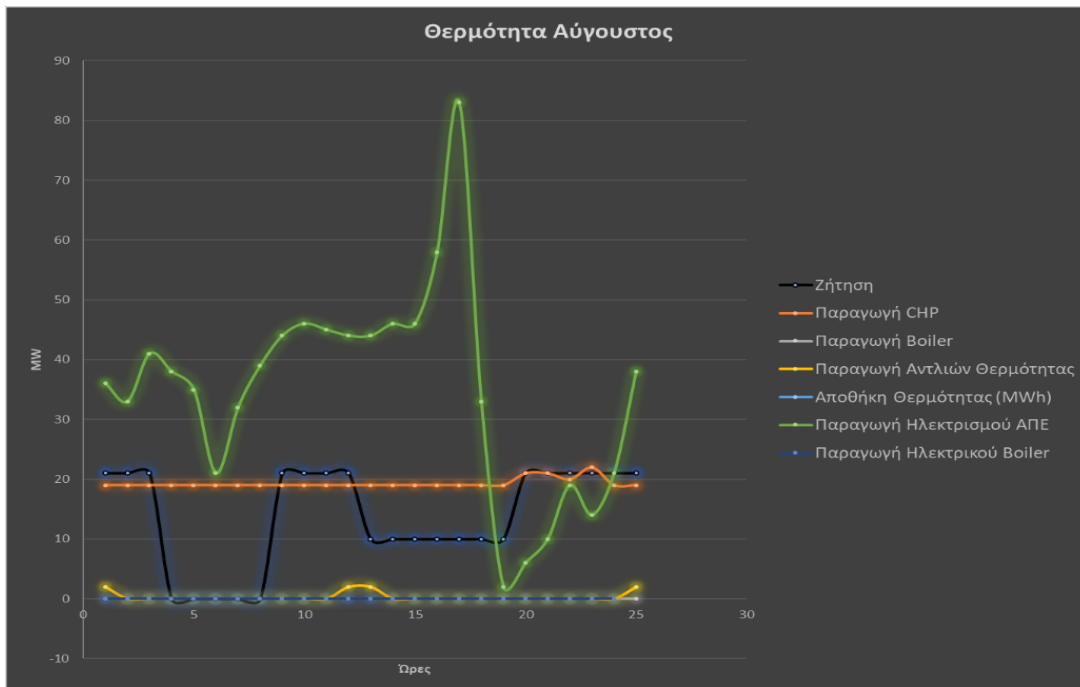


Διάγραμμα 6.31 Σενάριο 5 Ηλεκτρισμός 17 Ιουλίου



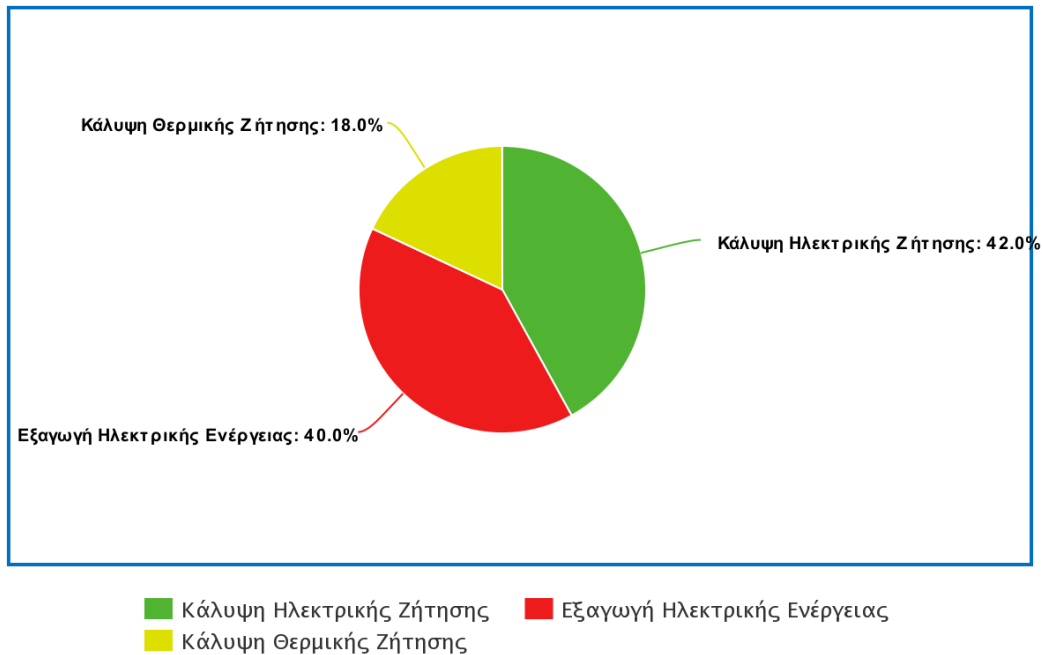


Διάγραμμα 6.32 Σενάριο 5 Θερμότητα 6 Φεβρουαρίου



Διάγραμμα 6.33 Σενάριο 5 Θερμότητα Τυπική Ημέρα Αυγούστου

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από τις μεταβλητές ΑΠΕ (Ανεμογεννήτριες, PV, ΜΥΗΣ):



meta-chart.com

Διάγραμμα 6.34 Σενάριο 5 Χρήση Μεταβλητών ΑΠΕ

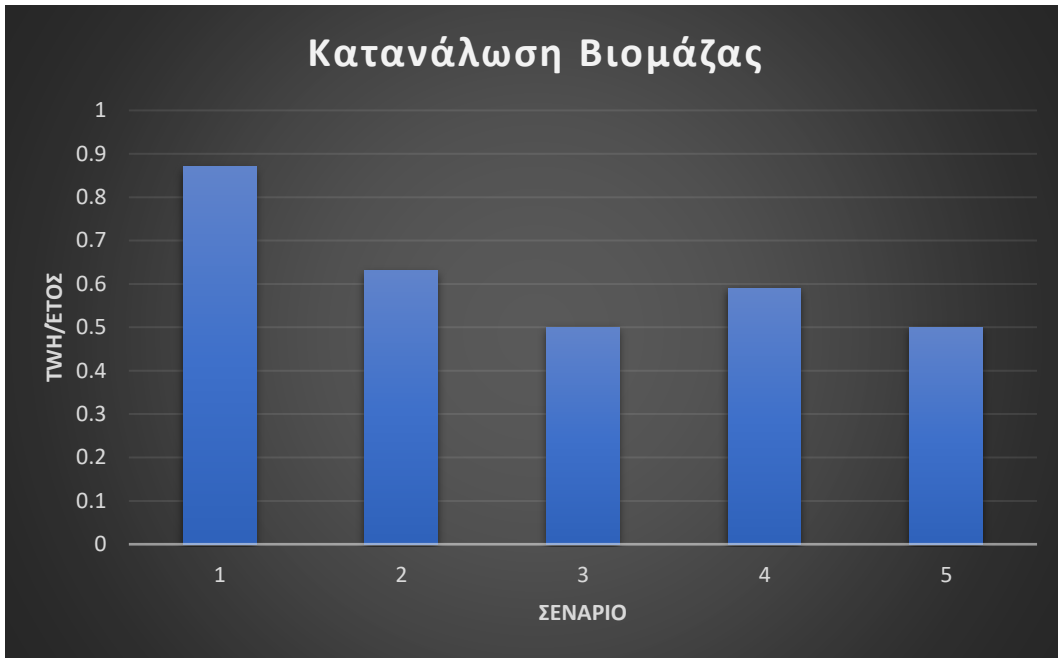
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα τελικά συνολικά αποτελέσματα για το Σενάριο 5:

Σενάριο	Κατανάλωση Βιομάζας (TWh/Έτος)	Κόστος Βιομάζας για Αγορά και Καλλιέργεια (Εκατομμύρια €/Έτος)	LCOE Θερμότητας (€/ MWth)	Πιθανή αλλαγή στο τιμολόγιο Θέρμανσης	LCOE Ηλεκτρισμού (€/ MWeI)	Ετήσιο Κόστος (Εκατομμύρια €/Έτος)	Κόστος Επένδυσης (Εκατομμύρια €/Έτος)
5	0.5	5.68	25.17	-30%	58.46	26	21

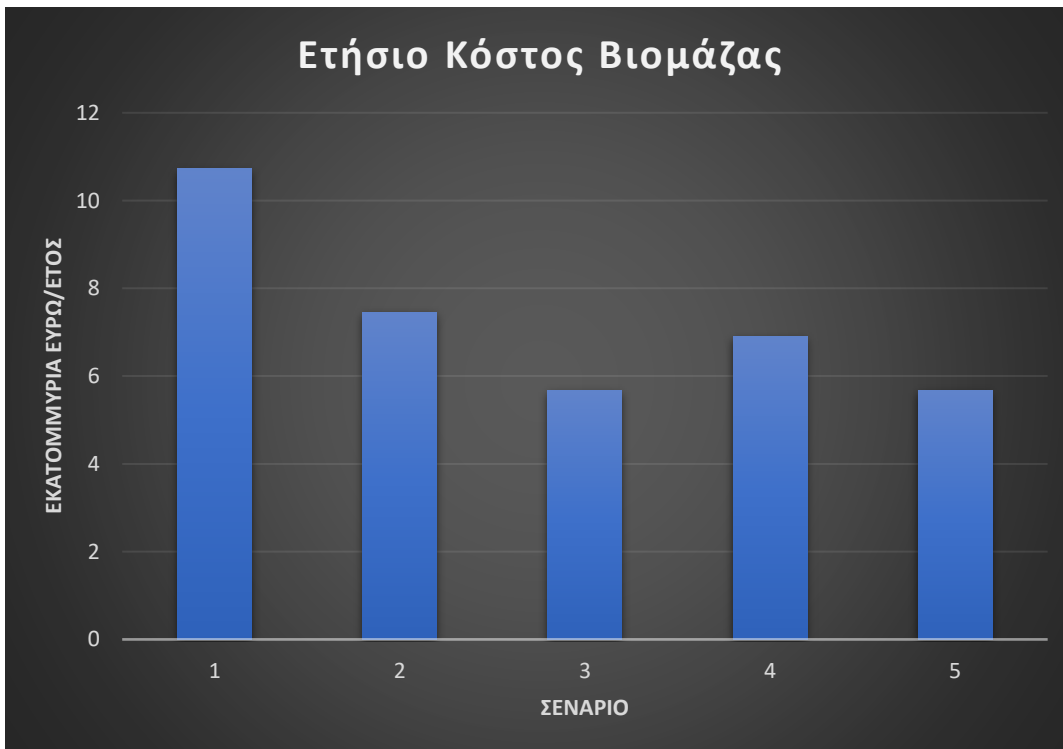
Πίνακας 5.30 Σενάριο 5 Τελικά Αποτελέσματα

### 6.3. Αξιολόγηση, Σύγκριση Σεναρίων και Συμπεράσματα

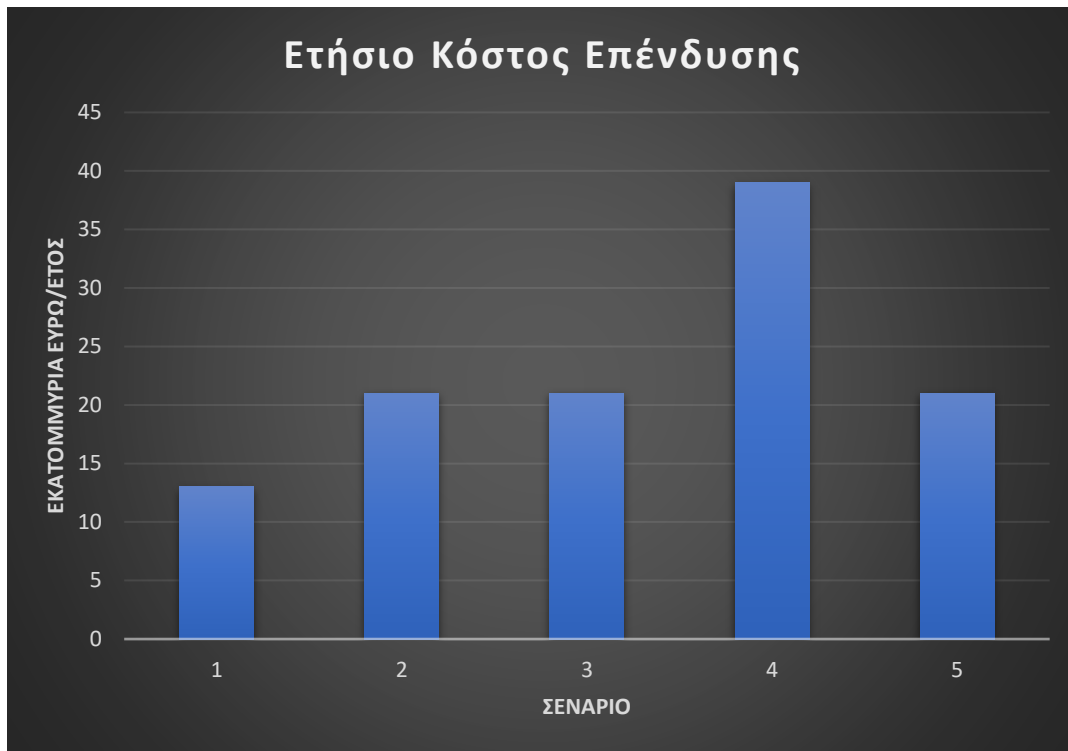
Στην ενότητα αυτή γίνονται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των παραπάνω σεναρίων, η σύγκριση μεταξύ αυτών και η επιλογή του βέλτιστου σεναρίου. Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η σύγκριση των πιο σημαντικών μεταβλητών των 5 σεναρίων:



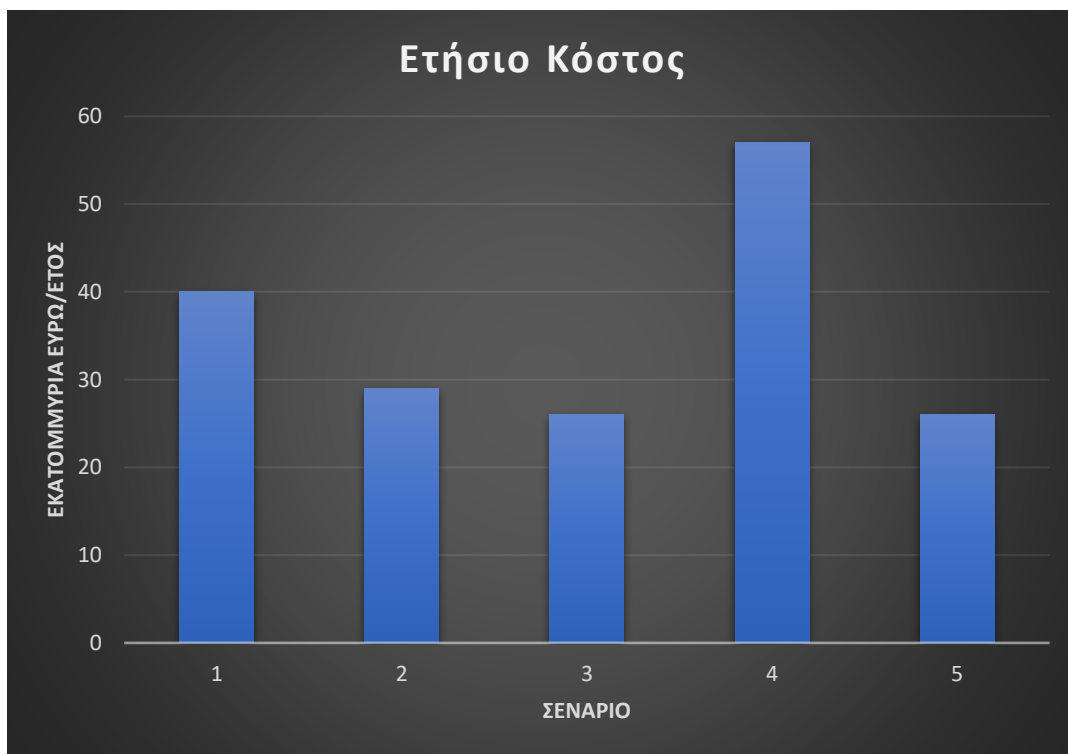
Διάγραμμα 6.35 Συγκριτική Κατανάλωση Βιομάζας



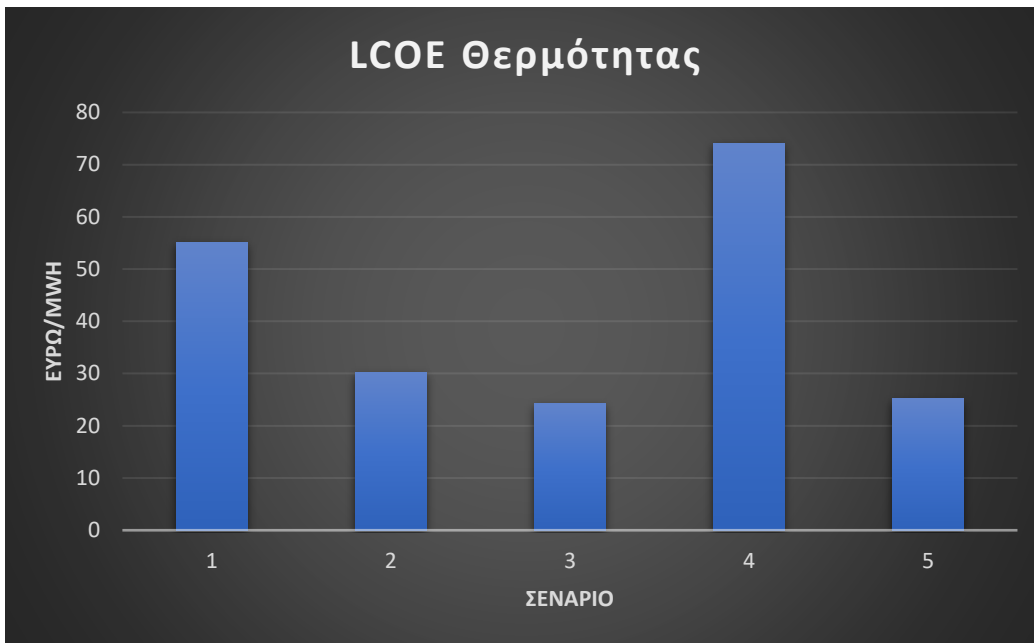
Διάγραμμα 6.36 Συγκριτικό Ετήσιο Κόστος Βιομάζας (Αγορά και Καλλιέργεια)



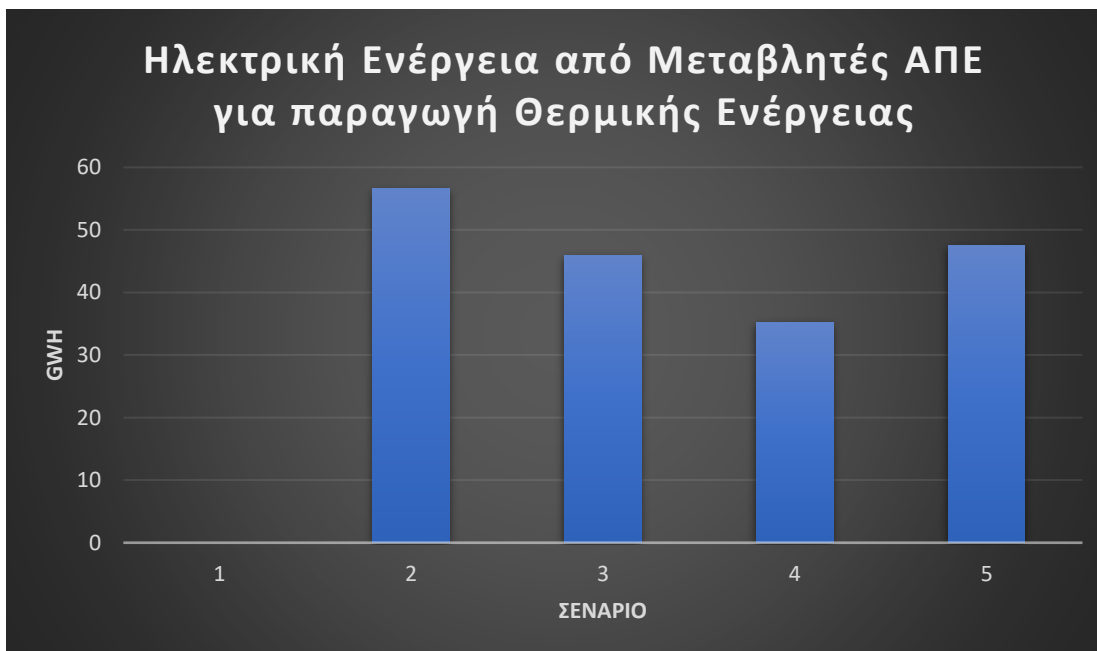
Διάγραμμα 6.37 Συγκριτικό Ετήσιο Κόστος Επένδυσης



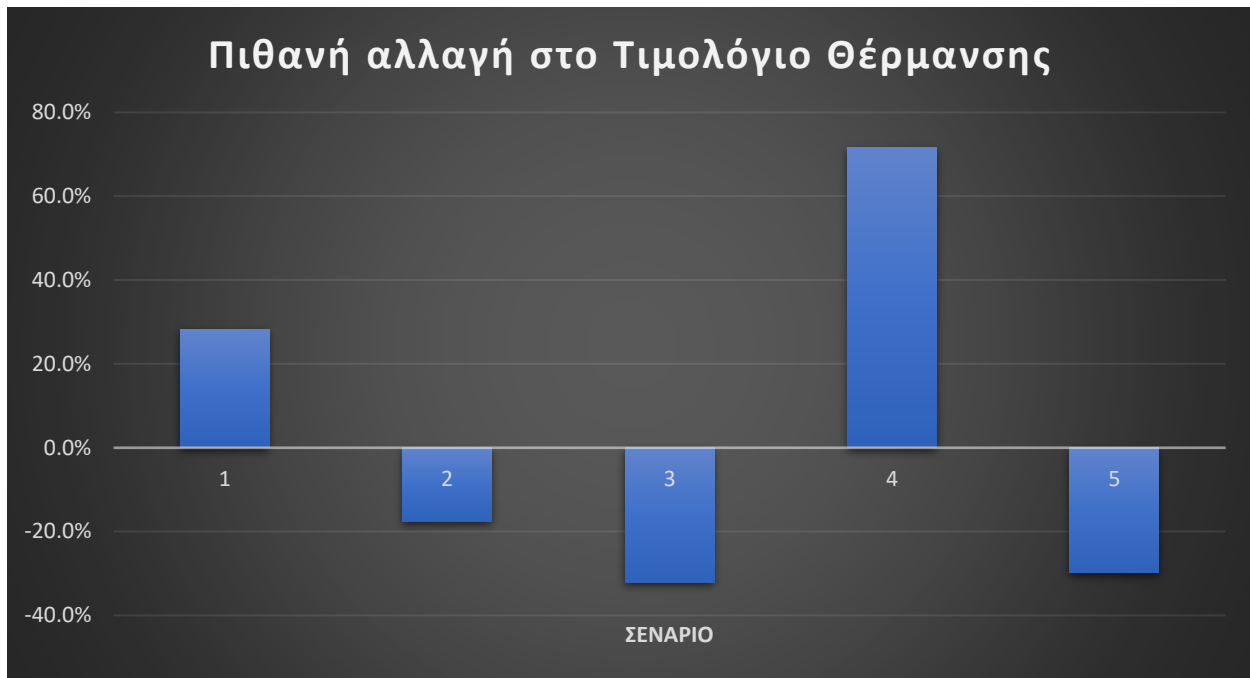
Διάγραμμα 6.38 Συγκριτικό Ετήσιο Κόστος



Διάγραμμα 6.39 Συγκριτικό LCOE Θερμότητας



Διάγραμμα 6.40 Ηλεκτρική Ενέργεια από Μεταβλητές ΑΠΕ για παραγωγή Θερμικής Ενέργειας



Διάγραμμα 6.41 Συγκριτική Πιθανή Αλλαγή στο Τιμολόγιο Θέρμανσης



Διάγραμμα 6.42 Συγκριτικό LCOE Ηλεκτρισμού

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όπως παρουσιάζονται παραπάνω μπορούμε αρχικά να συμπεράνουμε ποια σενάρια μπορούν να κριθούν ως μη βιώσιμα. Το κριτήριο για να κριθεί ένα σενάριο μη βιώσιμο είναι είτε η ετήσια κατανάλωση βιομάζας να είναι υψηλότερη από την κατώτερη εκτίμηση για το ετήσιο διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας στην περιοχή ,προσθέτοντας στο τελευταίο και την ετήσια συγκομιδή βιομάζας από την καλλιέργεια της αγριαγκινάρας (δηλαδή συνολικά 0.810 TWh) , είτε το LCOE της θερμότητας να μην ξεπερνάει αρκετά το υπάρχον τιμολόγιο θέρμανσης για την τηλεθέρμανση της Κοζάνης (43 €/MWh).[8]

Όσον αφορά το πρώτο κριτήριο ,το οποίο αφορά την περιβαλλοντική βιωσιμότητα του εγχειρήματος, φαίνεται από τα αποτελέσματα πως το Σενάριο 1, δηλαδή η κάλυψη σχεδόν όλων των ενεργειακών αναγκών της πόλης από το Εργοστάσιο Συμπαγωγής και από το Boiler με καύση βιομάζα, δεν πληροί το κριτήριο αυτό επομένως κρίνεται ως μη βιώσιμο.

Όσον αφορά το δεύτερο κριτήριο, το οποίο αφορά την οικονομική βιωσιμότητα του εγχειρήματος, φαίνεται από τα αποτελέσματα πως το Σενάριο 1 και το Σενάριο 4, δηλαδή το ενδεχόμενο κάλυψης μέρους των θερμικών αναγκών από ηλιοθερμικό πάρκο, παρουσιάζουν LCOE θερμότητας μεγαλύτερο από το υπάρχον τιμολόγιο για την τηλεθέρμανση. Επομένως κρίνονται και τα δυο κριτήρια ως μη βιώσιμα.

Όσον αφορά το Σενάριο 4 αυτό συμβαίνει διότι το κόστος για την εγκατάσταση του ηλιοθερμικού πάρκου είναι δυσανάλογα υψηλό με την ετήσια παραγωγή ενέργειας από αυτό. Αυτό συμβαίνει λόγω της χαμηλής σχετικά ηλιοφάνειας στην περιοχή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Συμπεραίνεται λοιπόν, πως τα βιώσιμα σενάρια είναι τα Σενάρια 2,3 και 5. Αυτό εξηγείται καθώς και τα 3 αυτά Σενάρια προσφέρουν λύσεις για την μετατροπή της περίσσειας ενέργειας από τα Φωτοβολταϊκά και τις Ανεμογεννήτριες σε θερμότητα, είτε με τον Ηλεκτρικό Λέβητα Θερμότητας είτε με τις Μεγάλες Αντλίες Θερμότητας. Παρατηρείται μάλιστα πως τα Σενάρια 3 και 5 τα οποία περιλαμβάνουν τη λύση με τις Μεγάλες Αντλίες Θερμότητας είναι τα πιο ελκυστικά τόσο για το πρώτο όσο και για το δεύτερο κριτήριο. Οι Μεγάλες Αντλίες Θερμότητας λοιπόν, λόγω και του υψηλού τους COP, παρουσιάζονται ως η ιδανικότερη λύση για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της πόλης της Κοζάνης, σε συνδυασμό με την εγκατάσταση των υπόλοιπων ΑΠΕ μεταβλητού χαρακτήρα οι οποίες θα τις τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια όταν αυτή βρίσκεται σε περίσσεια. Τέλος, το Ετήσιο Κόστος Επένδυσης και για τα 2 Σενάρια είναι αρκετά ικανοποιητικό, κάτι το οποίο θα δώσει οικονομική ώθηση στην πόλη της Κοζάνης και θα προσφέρει αρκετές θέσεις εργασίας οι οποίες μπορούν να αντικαταστήσουν αυτές που θα εκλείψουν μετά την απολιγνιτοποίηση.

#### 6.4. Προτάσεις και Βελτιώσεις για το μέλλον

Το εγχείρημα των Πράσινων και Βιώσιμων Πόλεων με 100% κατανάλωση ενέργειας από ΑΠΕ είναι νέο, με μηδενικά παραδείγματα εφαρμογής σε μεγάλη κλίμακα, αλλά ταυτόχρονα αναγκαίο για τον ενεργειακό κόσμο του μέλλοντος, ο οποίος θα είναι ανεξάρτητος από τα ορυκτά καύσιμα. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες οι οποίες βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο ή σε μικρή κλίμακα εφαρμογής, οι οποίες μπορούν να αυξήσουν σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα και την βιωσιμότητα των εγχειρημάτων αυτών. Στην εργασία αυτή, έγινε η προσπάθεια να παρουσιαστούν καινοτόμες ιδέες και λύσεις τόσο τοπικά όσο και εθνικά οι οποίες όμως θα έχουν άμεση εφαρμογή στην πόλη της Κοζάνης στα επόμενα 5 με 10 χρόνια. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές τεχνολογικές προτάσεις και λύσεις οι οποίες θα μπορούσαν να δώσουν μεγαλύτερο εύρος και αποτελεσματικότητα στα εγχειρήματα των λύσεων με 100% Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας:

- Επέκταση της ηλεκτροκίνησης τόσο για οχήματα ιδιωτικής χρήσης όσο και για όλες τις μεταφορές. Εκτιμάται στην εργασία αυτή πως η εγκατάσταση μερικών παραπάνω MW Ανεμογεννητριών και Φωτοβολταϊκών θα μπορούσε να καλύψει τη ζήτηση για ηλεκτροκίνηση ολόκληρης της πόλης, λαμβάνοντας υπόψιν πως η εγκατάσταση σταθμών φόρτισης σε όλη την πόλη δίνει και τη δυνατότητα αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας από τις ΑΠΕ σε αυτούς.[74] [75]
- Η χρήση της ηλεκτρόλυσης για παραγωγή καθαρού υδρογόνου με αξιοποίηση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΑΠΕ. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο ως καύσιμο για τις μεταφορές, όσο και ως καύσιμο αναμειγνυόμενο με την βιομάζα στα Εργοστάσια Συμπαγωγής και στους Λέβητες. Η λύση αυτή είναι αρκετά ελπιδοφόρα και η πλήρης εφαρμογή της θα οδηγήσει σε ακόμα μεγαλύτερη απορρόφηση των ΑΠΕ μεταβλητού χαρακτήρα, στη μείωση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια καθώς και στην μείωση της κατανάλωσης της βιομάζας.[76]
- Η χρήση φίλτρων για την κατακράτηση των σωματιδίων του διοξειδίου του άνθρακα από τις μηχανές καύσης της βιομάζας. Το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να αναμειχθεί με το υδρογόνο που θα παράγεται από την ηλεκτρόλυση για τη δημιουργία συνθετικού καυσίμου.[77]
- Η εγκατάσταση ακόμα μεγαλύτερων συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό την ακόμα μεγαλύτερη απορρόφηση των Ανεμογεννητριών και των Φωτοβολταϊκών στην κάλυψη της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και την μείωση της κατανάλωσης της βιομάζας.
- Η δημιουργία και η εγκατάσταση ακόμα πιο σύγχρονων συστημάτων για την παρακολούθηση, την μέτρηση και την προσαρμογή των συστημάτων παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Η άμεση επικοινωνία με τους καταναλωτές μπορεί να μεταφέρει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από τις ώρες αιχμής σε ώρες όπου υπάρχει περίσσεια ενέργειας κάνοντας το σύστημα ακόμα πιο αποτελεσματικό.[78]
- Η ενεργειακή αναβάθμιση των κτηρίων με σκοπό τη μείωση των αναγκών τόσο σε ηλεκτρική ενέργεια (αντικατάσταση παλιών ηλεκτρικών συσκευών με πιο



οικονομικές) όσο και σε θερμική ενέργεια (αντικατάσταση υλικών κατασκευής και κουφωμάτων, χτίσιμο νέων κτηρίων σύμφωνα με τις αρχές του Energy Building αξιοποιώντας περισσότερο τον αέρα και τον ήλιο και άλλα).[79]

## 7. Συμπεράσματα

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν ο σχεδιασμός του ενεργειακού συστήματος της Κοζάνης με 100% παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν πως ένα τέτοιο σχέδιο είναι εφικτό από περιβαλλοντικής, ενεργειακής και οικονομικής άποψης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας, έγινε κατανοητό πως η μεγαλύτερη πρόκληση ενός τέτοιου συστήματος στην συγκεκριμένη περιοχή είναι η κάλυψη των θερμικών αναγκών των πολιτών καθώς πρόκειται για μια από τις πιο κρύες περιοχές της Ελλάδας, με τη ζήτηση θερμικής ενέργειας τους χειμερινούς μήνες να φτάνει σε πολύ υψηλές τιμές. Η κλασική μέθοδος για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μέσω του δικτύου τηλεθέρμανσης ( Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί Συμπαραγωγής και Λέβητες) αποδείχθηκε πως έχει κατανάλωση βιομάζας μεγαλύτερη από το διαθέσιμο δυναμικό της περιοχής. Αντίθετα, φάνηκε πως η παραπάνω μέθοδος συνδυασμένη με Μεγάλες Αντλίες Θερμότητας μπορούν να μειώσουν σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση της βιομάζας αξιοποιώντας την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μεταβλητού χαρακτήρα (Ανεμογεννήτριες και Φωτοβολταϊκά). Παρόμοια αποτελέσματα, αν και με λίγο μεγαλύτερη κατανάλωση βιομάζας, είχε και η χρήση του Ηλεκτρικού Λέβητα Θερμότητας.

Όσον αφορά την εγκατάσταση Ανεμογεννητριών και Φωτοβολταϊκών, φάνηκε πως παρά το χαμηλό αιολικό και ηλιακό δυναμικό της περιοχής, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση 140 MW των δυο τεχνολογιών, έτσι ώστε να μειωθεί η κατανάλωση της βιομάζας για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών, όσο και για να χρησιμοποιείται η περίσσεια της ηλεκτρικής ενέργειας από τις παραπάνω τεχνολογίες για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της πόλης. Παράλληλα, από τη στιγμή που το σύστημα ενέργειας της Κοζάνης είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο, η περίσσεια της ενέργειας μπορεί να πωλείται σε αυτό, επιφέροντας ετήσια έσοδα στο σύστημα.

Τέλος, η χρησιμοποίηση μέρους των τεράστιων εκτάσεων των λιγνιτωρυχείων για ενεργειακή καλλιέργεια αγριαγκινάρας κρίνεται ως ιδιαίτερα χρήσιμη για την ενεργειακή και την οικονομική βιωσιμότητα του πλάνου.

## Κατάλογος Σχημάτων

Διάγραμμα 5.1 Ετήσια κατανομή ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας

Διάγραμμα 5.2 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας για 3 ημέρες (Απρίλιος και Αύγουστος)

Διάγραμμα 5.3 Κατανομή Ζήτησης Θερμικής Ενέργειας ωριαία για ένα έτος

Διάγραμμα 5.4 Κατανομή Ζήτησης Θερμικής Ενέργειας ωριαία για 3 ημέρες (Ιανουάριος και Απρίλιος)

Διάγραμμα 5.5 Κατανομή Εξωτερικής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας για όλο το έτος

Διάγραμμα 5.6 Κατανομή Εξωτερική Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας για μια ημέρα του Αυγούστου

Διάγραμμα 5.7 Μέση Μηνιαία Ισχύς / Μέγιστη Ισχύς (Αιολικά)

Διάγραμμα 5.8 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Αιολικά (Απρίλιος-Σεπτέμβριος)

Διάγραμμα 5.9 Μέση Μηνιαία Ισχύς / Μέγιστη Ισχύς (PV)

Διάγραμμα 5.10 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από PV (Ιανουάριος-Ιούλιος)

Διάγραμμα 5.11 Μέση Μηνιαία Ισχύς / Μέγιστη Ισχύς (Υδροηλεκτρικά)

Διάγραμμα 6.1 Σενάριο 1 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ηλεκτρισμός

Διάγραμμα 6.2 Σενάριο 1 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Θερμότητα

Διάγραμμα 6.3 Σενάριο 1 Ηλεκτρισμός 9 Απριλίου

Διάγραμμα 6.4 Σενάριο 1 Ηλεκτρισμός 17 Ιουλίου

Διάγραμμα 6.5 Σενάριο 1 Θερμότητα 6 Φεβρουαρίου

Διάγραμμα 6.6 Σενάριο 1 Θερμότητα Τυπική Ημέρα Αυγούστου

Διάγραμμα 6.7 Σενάριο 2 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ηλεκτρισμός

Διάγραμμα 6.8 Σενάριο 2 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Θερμότητα

Διάγραμμα 6.9 Σενάριο 2 Ηλεκτρισμός 9 Απριλίου

Διάγραμμα 6.10 Σενάριο 2 Ηλεκτρισμός 17 Ιουλίου

Διάγραμμα 6.11 Σενάριο 2 Θερμότητα 6 Φεβρουαρίου

Διάγραμμα 6.12 Σενάριο 2 Θερμότητα Τυπική Ημέρα Αυγούστου

Διάγραμμα 6.13 Σενάριο 2 Χρήση Μεταβλητών ΑΠΕ

Διάγραμμα 6.14 Σενάριο 3 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ηλεκτρισμός

Διάγραμμα 6.15 Σενάριο 3 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Θερμότητα

Διάγραμμα 6.16 Σενάριο 3 Ηλεκτρισμός 9 Απριλίου

Διάγραμμα 6.17 Σενάριο 3 Ηλεκτρισμός 17 Ιουλίου

Διάγραμμα 6.18 Σενάριο 3 Θερμότητα 6 Φεβρουαρίου

Διάγραμμα 6.19 Σενάριο 3 Θερμότητα Τυπική Ημέρα Αυγούστου

Διάγραμμα 6.20 Σενάριο 3 Χρήση Μεταβλητών ΑΠΕ

Διάγραμμα 6.21 Σενάριο 4 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ηλεκτρισμός

Διάγραμμα 6.22 Σενάριο 4 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Θερμότητα

Διάγραμμα 6.23 Σενάριο 4 Ηλεκτρισμός 9 Απριλίου

Διάγραμμα 6.24 Σενάριο 4 Ηλεκτρισμός 17 Ιουλίου

Διάγραμμα 6.25 Σενάριο 4 Θερμότητα 6 Φεβρουαρίου

Διάγραμμα 6.26 Σενάριο 4 Θερμότητα Τυπική Ημέρα Αυγούστου

Διάγραμμα 6.27 Σενάριο 4 Χρήση Μεταβλητών ΑΠΕ

Διάγραμμα 6.28 Σενάριο 5 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ηλεκτρισμός

Διάγραμμα 6.29 Σενάριο 5 Μέσες Μηνιαίες Τιμές Θερμότητα

Διάγραμμα 6.30 Σενάριο 5 Ηλεκτρισμός 9 Απριλίου

Διάγραμμα 6.31 Σενάριο 5 Ηλεκτρισμός 17 Ιουλίου

Διάγραμμα 6.32 Σενάριο 5 Θερμότητα 6 Φεβρουαρίου

Διάγραμμα 6.33 Σενάριο 5 Θερμότητα Τυπική Ημέρα Αυγούστου

Διάγραμμα 6.34 Σενάριο 5 Χρήση Μεταβλητών ΑΠΕ

Διάγραμμα 6.35 Συγκριτική Κατανάλωση Βιομάζας

Διάγραμμα 6.36 Συγκριτικό Ετήσιο Κόστος Βιομάζας (Αγορά και Καλλιέργεια)

Διάγραμμα 6.37 Συγκριτικό Ετήσιο Κόστος Επένδυσης

Διάγραμμα 6.38 Συγκριτικό Ετήσιο Κόστος

Διάγραμμα 6.39 Συγκριτικό LCOE Θερμότητας

Διάγραμμα 6.40 Ηλεκτρική Ενέργεια από Μεταβλητές ΑΠΕ για παραγωγή Θερμικής Ενέργειας

Διάγραμμα 6.41 Συγκριτική Πιθανή Αλλαγή στο Τιμολόγιο Θέρμανσης

Διάγραμμα 6.42 Συγκριτικό LCOE Ηλεκτρισμού

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην περιοχή Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου-Κοζάνης

Πίνακας 5.1 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά Τομέα

Πίνακας 5.2 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Πίνακας 5.3 Κατανάλωση Θερμικής Ενέργειας ανά Τομέα

Πίνακας 5.4 Ζήτηση Θερμικής Ενέργειας

Πίνακας 5.5 Ανεμολογικά Στοιχεία

Πίνακας 5.6 Καλλιέργεια Αγριαγκινάρας

Πίνακας 5.7 Σενάριο 1 Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς

Πίνακας 5.8 Σενάριο 1 Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς

Πίνακας 5.9 Σενάριο 1 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Εξαγωγή

Πίνακας 5.10 Σενάριο 1 Ετήσια Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας

Πίνακας 5.11 Σενάριο 1 Τελικά Αποτελέσματα

Πίνακας 5.12 Σενάριο 2 Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς

Πίνακας 5.13 Σενάριο 2 Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς

Πίνακας 5.14 Σενάριο 2 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Εξαγωγή

Πίνακας 5.15 Σενάριο 2 Ετήσια Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας

Πίνακας 5.16 Σενάριο 2 Τελικά Αποτελέσματα

Πίνακας 5.17 Σενάριο 3 Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς

Πίνακας 5.18 Σενάριο 3 Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς

Πίνακας 5.19 Σενάριο 3 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Εξαγωγή

Πίνακας 5.20 Σενάριο 3 Ετήσια Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας  
Πίνακας 5.21 Σενάριο 3 Τελικά Αποτελέσματα  
Πίνακας 5.22 Σενάριο 4 Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς  
Πίνακας 5.23 Σενάριο 4 Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς  
Πίνακας 5.24 Σενάριο 4 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Εξαγωγή  
Πίνακας 5.25 Σενάριο 4 Ετήσια Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας  
Πίνακας 5.26 Σενάριο 4 Τελικά Αποτελέσματα  
Πίνακας 5.27 Σενάριο 5 Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς  
Πίνακας 5.28 Σενάριο 5 Εγκατεστημένη Θερμική Ισχύς  
Πίνακας 5.29 Σενάριο 5 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Εξαγωγή  
Πίνακας 5.30 Σενάριο 5 Τελικά Αποτελέσματα

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1 Λιγνοτωρυχεία Κοζάνης  
Εικόνα 2.2 ΑΗΣ Καρδιάς  
Εικόνα 2.3 Απασχολούμενα άτομα στη Δυτική Μακεδονία-Παραγωγή λιγνίτη  
Εικόνα 2.4 ΑΕΠ Δυτικής Μακεδονίας- Παραγωγή Λιγνίτη  
Εικόνα 4.1 Τεχνολογικό και ροϊκό μοντέλο του EnergyPlan  
Εικόνα 4.2 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας  
Εικόνα 4.3 Ζήτηση Θερμικής Ενέργειας και δίκτυο τηλεθέρμανσης  
Εικόνα 4.4 Παραγωγή ενέργειας από λέβητες θερμότητας και θερμοηλεκτρικά εργοστάσια  
Εικόνα 4.5 Παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ  
Εικόνα 4.6 Κόστη στο EnergyPlan  
Εικόνα 5.1 Καμπύλη ισχύος Gamesa G114-2.0MW  
Εικόνα 6.1 ΜΥΗΣ Ιλαρίωνα  
Εικόνα 6.2 Ηλεκτρικός Λέβητας Θερμότητας

Εικόνα 6.3 Αντλίες Θερμότητας για το δίκτυο τηλεθέρμανσης του Ντράμεν

Εικόνα 6.4 Ηλιοθερμικός Σταθμός στο Gram της Δανίας

## Βιβλιογραφική Αναφορά

[1] [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%AE%CE%BC%CE%BF%CF%82\\_%CE%9A%CE%BF%CE%B6%CE%AC%CE%BD%CE%B7%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%AE%CE%BC%CE%BF%CF%82_%CE%9A%CE%BF%CE%B6%CE%AC%CE%BD%CE%B7%CF%82)

[2] <https://www.statistics.gr>

[3] <https://cityofkozani.gov.gr>

[4] <https://www.dei.gr/el/oruxeia>

[5] <https://www.iene.gr>

[6] ΤΕΕ/Τμήμα Δυτικής Μακεδονίας, “Αποτύπωση και αξιολόγηση των παραγωγικών και οικονομικών κλάδων της Δυτικής Μακεδονίας αναφορικά με την εξέλιξη της λιγνιτικής παραγωγής,”

[7] F. Pavloudakis, C. Roumpos, E. Karlopoulos, and N. Koukouzas, “Sustainable rehabilitation of surface coal mining areas: The case of greek lignite mines,” *Energies*, vol. 13, no. 15, 2020, doi: 10.3390/en13153995.

2013.

[8] <https://www.deyakozeanis.gr/tilethermansil/>

[9] WWF, “Εναλλακτικές Λύσεις Για Την Τηλεθέρμανση Στη Δ. Μακεδονία – Η Περίπτωση Της Πόλης Της Πτολεμαΐδας,” p. 53, 2016, [Online]. Available: [https://wwf.gr/images/pdfs/H\\_Ptolemaida.pdf](https://wwf.gr/images/pdfs/H_Ptolemaida.pdf).

[10] WWF, “Ptolemaida 5 and Meliti 2 : Economic viability report of the new lignite units,” p. 52, 2013.

[11] <http://energeiakozani.blogspot.com/2011/01/2010.html>

[12] Kozani Prefecture, “Environmental Legislation violations at the PPC lignite mines in the Kozani Prefecture”, 16.03.2009 [http://www.kozani.gr/portal/index.php?option=com\\_content&task=view&id=644&Itemid=2](http://www.kozani.gr/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=644&Itemid=2)

[13] Sichletidis et al, “The effects of environmental pollution on the respiratory system of children in Western Macedonia, Greece”, 2005 <http://www.jiaci.org/issues/vol15issue02/6.pdf>

73

[14] EEA 2012, “Revealing the costs of air pollution from industrial facilities in Europe”, <http://www.eea.europa.eu/pressroom/newsreleases/industrial-air-pollution-cost-europe>

[15] W. Lutsch, “Clean energy for all Europeans,” *Euroheat Power (English Ed.)*, vol. 14, no. 2, p. 3, 2017, doi: 10.2833/9937.

[16] [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en)

[17] T. M. Vinod Kumar, *Smart environment for smart cities*. 2020.

[18] S. Trivedi et al., “Scaling up Rooftop Solar Power in India: The Potential of Municipal Solar Bonds,” no. 353, 2018, [Online]. Available: [http://icrier.org/pdf/Working\\_Paper\\_353.pdf](http://icrier.org/pdf/Working_Paper_353.pdf).

[19] <http://www.smart-cities.eu/>

[20] Zoi Milonopoulou, Papadimitriou Theofilos “The concept of "smart city" as an approach to modern urban development through the study of selected international and Greek examples” 2018.

[21] K. Archick, “The European parliament,” *Democr. Credentials Eur. Union Backgr. Anal.*, pp. 23–49, 2014.

[22] L. G. Anthopoulos and P. Fitsilis, “Smart cities and their roles in city competition: A classification,” *Int. J. Electron. Gov. Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 63–77, 2014, doi: 10.4018/ijegr.2014010105.

[23] P. J. Sanz, J. M. Iñesta, and A. P. Del Pobil, “Planar Grasping Characterization Based on Curvature-Symmetry Fusion,” *Appl. Intell.*, vol. 10, no. 1, pp. 25–36, 1999, doi: 10.1023/A:1008381314159.

[24] <https://www1.undp.org/content/singapore-global-centre/en/home/sustainable-development-goals.html>

[25] A. Bisello, D. Vettorato, R. Stephens, and P. Elisei, *Smart and sustainable planning for cities and regions*. 2017.

[26] <https://amsterdamsmartcity.com/>

[27] <https://www.e-zigurat.com/blog/en/smart-city-barcelona-experience/>

[28] <https://hub.beesmart.city/city-portraits/smart-city-portrait-barcelona>

[29] <https://trikalacity.gr/smart-trikala/>

[30] <https://sustainablecities.eu/the-aalborg-charter/>

[31] <https://www.en.aau.dk/education/master/sustainable-cities>

[32] <https://stateofgreen.com/en/partners/city-of-copenhagen>

[33] <https://urbanlifecopenhagen.weebly.com/sustainability.html>

[34] <https://ec.europa.eu/eurostat>

[35] <https://smartcity.cityofkozani.gov.gr/>

[36] H. Lund, J. Z. Thellufsen, P. A. Østergaard, P. Sorknæs, I. R. Skov, and B. V. Mathiesen, “EnergyPLAN – Advanced analysis of smart energy systems,” *Smart Energy*, vol. 1, p. 100007, 2021, doi: 10.1016/j.segy.2021.100007.

[37] Østergaard PA. Reviewing EnergyPLAN simulations and performance indicator applications in EnergyPLAN simulations *Appl Energy* 2015;154:921-33 DOI:[10.1016/j.apenergy.2015.05.086](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.086)

[38] D. F. Dominković *et al.*, “Zero carbon energy system of South East Europe in 2050,” *Appl. Energy*, vol. 184, pp. 1517–1528, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.03.046.

[39] K. Hansen, B. V. Mathiesen, and I. R. Skov, “Full energy system transition towards 100% renewable energy in Germany in 2050,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 102, no. November 2018, pp. 1–13, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2018.11.038.

[40] D. Connolly, H. Lund, B. V. Mathiesen, and M. Leahy, “The first step towards a 100% renewable energy-system for Ireland,” *Appl. Energy*, vol. 88, no. 2, pp. 502–507, 2011, doi: 10.1016/j.apenergy.2010.03.006.

- [41] K. Askeland, K. N. Bozhkova, and P. Sorknæs, “Balancing Europe: Can district heating affect the flexibility potential of Norwegian hydropower resources?,” *Renew. Energy*, vol. 141, no. 2019, pp. 646–656, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.03.137.
- [42] W. Xiong, Y. Wang, B. V. Mathiesen, H. Lund, and X. Zhang, “Heat roadmap china: New heat strategy to reduce energy consumption towards 2030,” *Energy*, vol. 81, pp. 274–285, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2014.12.039.
- [43] S. Nielsen, P. Sorknæs, and P. A. Østergaard, “Electricity market auction settings in a future Danish electricity system with a high penetration of renewable energy sources - A comparison of marginal pricing and pay-as-bid,” *Energy*, vol. 36, no. 7, pp. 4434–4444, 2011, doi: 10.1016/j.energy.2011.03.079.
- [44] J. Z. Thellufsen *et al.*, “Smart energy cities in a 100% renewable energy context,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 129, no. November 2019, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.109922.
- [45] P. Cabrera, H. Lund, and J. A. Carta, “Smart renewable energy penetration strategies on islands: The case of Gran Canaria,” *Energy*, vol. 162, pp. 421–443, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.08.020.
- [46] A. Menapace *et al.*, “The design of 100 % renewable smart urb an energy systems: The case of Bozen-Bolzano,” *Energy*, vol. 207, p. 118198, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.118198.
- [47] D. Icaza, D. Borge-Diez, and S. P. Galindo, “Proposal of 100% renewable energy production for the City of Cuenca- Ecuador by 2050,” *Renew. Energy*, vol. 170, pp. 1324–1341, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.02.067.
- [48] <https://www.energyplan.eu/smartenergysystems/>
- [49] <https://www.deyakozanis.gr/tilethermansil/>
- [50] Γραμμέλης Π., Ρακόπουλος, Δ., Μαργαρίτης, Ν., Μυλωνά, Ε., Τουρλιδάκης, Α. 2015, ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ «Προκαταρκτική μελέτη για την αναβάθμιση και επέκταση της εγκατάστασης τηλεθέρμανσης Κοζάνης με 6 ΔΕΤΕΠΑ. «Τεχνικά Στοιχεία»
- [51] <https://meteo.gr/>
- [52] <https://web.tee.gr/>
- [53] V. Kotroni, K. Lagouvardos, and S. Lykoudis, “High-resolution model-based wind atlas for Greece,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, no. 2014, pp. 479–489, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.10.016.
- [54] <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/428-gamesa-g114-2.0mw#powercurve>
- [55] <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- [56] PFPI, “Carbon emissions from burning biomass for energy: Is biomass ‘Worse than coal’? Yes, if you’re interested in reducing carbon dioxide emissions anytime in the next 40 years.,” no. July, 2011.
- [57] S. Kamal, “The renewable revolution: How we can fight climate change, prevent energy wars, revitalize the economy and transition to a sustainable future,” *Renew. Revolut. How we Can Fight Clim. Chang. Prev. Energy Wars, Revital. Econ. Transit. to a Sustain. Futur.*, vol. 9781849775281, pp. 1–168, 2013, doi: 10.4324/9781849775281.
- [58] B. V. Mathiesen, H. Lund, and D. Connolly, “Limiting biomass consumption for heating in 100% renewable energy systems,” *Energy*, vol. 48, no. 1, pp. 160–168, 2012, doi: 10.1016/j.energy.2012.07.063.



- [59] Τ. Έκθεση, “Περιφέρειες και Δήμοι για μια Δίκαιη Μετάβαση Εναλλακτικές Λύσεις Τηλεθέρμανσης για τη Δ. Μακεδονία Πίνακας Περιεχομένων,” 2021.
- [60] Πετρίδης, Ν., Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας (ΔΕΤΗΠ). 2015. «Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας – Μονάδα Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού Θερμότητας με καύσιμο βιομάζα », Συνέδριο: Χρήση Βιομάζας στην Τηλεθέρμανση-Μια ρεαλιστική Προσέγγιση, <http://goo.gl/O2ljLR>
- [61] Κυριακόπουλος, Κ. Δημόσια Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Ευρύτερης Περιοχής Αμυνταίου (ΔΕΤΕΠΑ). 2015, «Η περίπτωση της παραγωγής ενέργειας με βιομάζα στην Τηλεθέρμανση Αμυνταίου», Συνέδριο: Χρήση Βιομάζας στην Τηλεθέρμανση-Μια ρεαλιστική Προσέγγιση, <http://goo.gl/Pi87VR>
- [62] Ζαμπανιώτου, Α. 2010. «Μελέτη διαθεσιμότητας βιομάζας στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας», D1 Παραδοτέο Έργου LIFE08ENVGR576, <http://goo.gl/dz0la8>
- [63] Wijesekara, H., Bolan, N. S., Vithanage, M., Xu, Y., Mandal, S., Brown, S. L., Hettiarachchi, G. M., Pierzynski, G. M., Huang, L., Ok, Y. S., Kirkham, M. B., Saint, C. P., & Surapaneni, A. (2016). Utilization of Biowaste for Mine Spoil Rehabilitation. *Advances in Agronomy*, 138, 97–173. <https://doi.org/10.1016/BS.AGRON.2016.03.001>
- [64] J. Gominho, M. D. Curt, A. Lourenço, J. Fernández, and H. Pereira, “Cynara cardunculus L. as a biomass and multi-purpose crop: A review of 30 years of research,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 109, no. January 2019, pp. 257–275, 2018, doi: 10.1016/j.biombioe.2018.01.001.
- [65] C. Neagu, “Cardoon, Renewable Source of Energy,” *Sci. Pap. Ser. Manag. Econ. Eng. Agric. Rural Dev.*, vol. 13, no. 2, pp. 283–288, 2013.
- [66] A. Ierna, O. Sortino, and G. Mauromicale, “Biomass, seed and energy yield of Cynara cardunculus L. as affected by environment and season,” *Agronomy*, vol. 10, no. 10, 2020, doi: 10.3390/agronomy10101548.
- [67] <https://deddie.gr/el/themata-stathmon-ape-sithia/sundeseis-stathmwn-ananewsimwn-pigwn-energeias-ape/arxeia-aitisewn-armodiotitas-deddie/>
- [68] <https://ppcr.gr/el/hydroelectric/ilariona-kozani>
- [69] J. Neves and B. Vad, *Heat Roadmap Europe : Potentials for Large-Scale Heat Pumps in District Heating*. 2018.
- [70] A. David, B. V. Mathiesen, H. Averfalk, S. Werner, and H. Lund, “Heat Roadmap Europe: Large-scale electric heat pumps in district heating systems,” *Energies*, vol. 10, no. 4, pp. 1–18, 2017, doi: 10.3390/en10040578.
- [71] EHPA, “Large scale heat pumps in Europe,” *Eur. Heat Pump Assoc.*, vol. 2, 2017.
- [72] <https://plumbingperspective.com/district-heating-electric-boilers-suddenly-in-vogue-again>
- [73] <https://www.solar-district-heating.eu/en/about-sdh/>
- [74] G. Transport, *Eco-Cities and Green Transport*. 2020.
- [75] A. Nadolny, C. Cheng, B. Lu, A. Blakers, and M. Stocks, “Fully electrified land transport in 100% renewable electricity networks dominated by variable generation,” *Renew. Energy*, vol. 182, pp. 562–577, 2022, doi: 10.1016/j.renene.2021.10.039.

- [76] O. Ruhnau, "How flexible electricity demand stabilizes wind and solar market values: The case of hydrogen electrolyzers," *Appl. Energy*, vol. 307, no. October 2021, p. 118194, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.118194.
- [77] Y. He, L. Zhu, J. Fan, L. Li, and G. Liu, "Life cycle assessment of CO2 emission reduction potential of carbon capture and utilization for liquid fuel and power cogeneration," *Fuel Process. Technol.*, vol. 221, no. May, p. 106924, 2021, doi: 10.1016/j.fuproc.2021.106924.
- [78] C. You and J. Kim, "Optimal design and global sensitivity analysis of a 100% renewable energy sources based smart energy network for electrified and hydrogen cities," *Energy Convers. Manag.*, vol. 223, no. August, p. 113252, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113252.
- [79] V. Jovanović, *Energy-efficient building design in Southeast Europe*. 2019.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 Κόστη Τεχνολογιών

Κόστη Εγκατάστασης και Λειτουργίας Και συντήρησης	Μονάδα	Κόστος Επένδυσης (MEURO/Μονάδα)	Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας (% του Κόστους Επένδυσης)	Μεταβλητό Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας (EURO/MWh )
Ατμοηλεκτρικό Εργοστάσιο Συμπαραγωγής με καύση Βιομάζας	MWel	3	2	2.7
Λέβητας Θερμότητας με καύση Βιομάζας	MWth	0.5	3.12	0.15
Μεγάλη Αντλία Θερμότητας	MWel	0.7	0.125	0.27
Ηλεκτρικός Λέβητας Θερμότητας	MWel	0.075	7.37	0.5
Ηλιοθερμικός Σταθμός	MWth	3	3.75	0
Ανεμογεννήτριες	MWel	1.1	2.97	0
Φωτοβολταϊκά	MWel	1	0.6	0
Μπαταρίες Λιθίου	MW	0.6	1.5	0
Θερμική Αποθήκευση με Δεξαμενές Νερού	GWth	0.5	1	1.19
Ηλιοθερμική Αποθήκευση	GWth	3	1.47	0

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 Λοιπά Κόστη

Κόστος Βιομάζας	70 € / tn
Κόστος Καλλιέργειας Αγριαγκινάρας	10.57 € / tn
Επιτόκιο Αναγωγής	3%
Διάρκεια Ζωής Τεχνολογιών	25 Έτη

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 Μέθοδος Υπολογισμού LCOE Θερμότητας

Για τον υπολογισμό του LCOE Θερμότητας χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος:

$$LCOE = \frac{\sum \frac{(I_t + M_t + F_t)}{(1+r)^t}}{\sum \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Όπου  $I_t$ : Ανηγμένο Ετήσιο Κόστος Επένδυσης Μονάδων Θερμότητας για το έτος  $t$

$M_t$ : Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας Μονάδων Θερμότητας για το έτος  $t$

$F_t$ : Ετήσιο Κόστος Καυσίμου για Θερμότητα για το έτος  $t$

$E_t$ : Ετήσια Παραγόμενη Θερμότητα για το έτος  $t$

$t$ : Έτος από 1 έως 25

$r$ : Επιτόκιο Αναγωγής

Τα Κόστη Επένδυσης και Λειτουργίας και Συντήρησης για το Εργοστάσιο Συμπαραγωγής υπολογίστηκαν αναλογικά με τον συντελεστή παραγωγής θερμικής ενέργειας δηλαδή 55%.

Για το Ετήσιο Κόστος Καυσίμου για Θερμότητα συμπεριλήφθηκαν τα κόστη για την καλλιέργεια της αγριαγκινάρας και από την ετήσια αγορά βιομάζας αφαιρέθηκε η παραγόμενη βιομάζα από τις καλλιέργειες. Οι ανάγκες του συστήματος για βιομάζα για την παραγωγή θερμότητας υπολογίστηκαν από τις ετήσιες παραγωγές θερμικής ενέργειας από τις αντίστοιχες μονάδες.

Τέλος η πιθανή αλλαγή στο τιμολόγιο θέρμανσης στο διάγραμμα 6.39 υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψιν πως η θερμική ενέργεια που προσφέρεται από τις ΑΠΕ μεταβλητού χαρακτήρα θα πωλείται στην τιμή των 70 Ευρώ ανά MWh.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4 Μέθοδος Υπολογισμού LCOE Ηλεκτρισμού

Για τον υπολογισμό του LCOE Θερμότητας χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος:

$$LCOE = \frac{\sum \frac{(I_t + M_t + F_t)}{(1+r)^t}}{\sum \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Όπου  $I_t$ : Ανηγμένο Ετήσιο Κόστος Επένδυσης Μονάδων Ηλεκτρισμού για το έτος  $t$

$M_t$ : Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας Μονάδων Ηλεκτρισμού για το έτος  $t$

$F_t$ : Ετήσιο Κόστος Καυσίμου για Ηλεκτρισμό για το έτος  $t$

$E_t$ : Ετήσια Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια για το έτος  $t$

$t$ : Έτος από 1 έως 25

$r$ : Επιτόκιο Αναγωγής

Τα Κόστη Επένδυσης και Λειτουργίας και Συντήρησης για το Εργοστάσιο Συμπαραγωγής υπολογίστηκαν αναλογικά με τον συντελεστή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δηλαδή 45%.

Για το Ετήσιο Κόστος Καυσίμου για Ηλεκτρισμό υπολογίστηκαν μόνο οι ανάγκες του Εργοστασίου Συμπαραγωγής σύμφωνα με την Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρισμού.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 Υπολογισμός Πιθανής Αλλαγής στο Τιμολόγιο Θέρμανσης

Για τον υπολογισμό της πιθανής αλλαγής στο τιμολόγιο της θέρμανσης χρησιμοποιήθηκε ο

παρακάτω τύπος:  $\text{Πιθανή αλλαγή τιμολογίου}(\%) = \frac{(LCOE(1-\Pi)+K \cdot \Pi)-T}{T} \cdot 100$

Όπου: LCOE: Το LCOE για την παραγωγή της Θερμότητας για κάθε σενάριο

$\Pi$ : Το ποσοστό της Θερμότητας η οποία παράγεται μέσω Ηλεκτρισμού από τις ΑΠΕ Μεταβλητού Χαρακτήρα για κάθε σενάριο

$K$ : Η τιμή πώλησης της Ηλεκτρικής Ενέργειας από τις ΑΠΕ Μεταβλητού Χαρακτήρα για την Παραγωγή Θερμότητας (70 €/MWh)

$T$ : Η υπάρχουσα τιμή πώλησης της Θερμικής Ενέργειας στους καταναλωτές (43 €/MWh)