



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ**  
**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ**  
**ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΜΗ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ**  
**ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑΣ»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Δανιήλ Βασιλική**

Επιβλέπων:

Μαμάσης Νικόλαος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Μάρτιος 2018



## Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας σηματοδοτεί το τέλος των σπουδών μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον επιβλέποντα Καθηγητή μου Νίκο Μαμάση για την όλη την βοήθεια και τον χρόνο που μου αφιέρωσε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Επίσης για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετάσχω στο συνέδριο της EGU 2017, όπως οφείλω να ευχαριστήσω θερμά κι όλα τα παιδιά που συνεργαστήκαμε και μου παρείχαν δεδομένα για την πραγματοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου Μιχάλη και Κατερίνα για την αμέριστη στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια, την υπομονή και τη βοήθεια τους.

Βασιλική Δανιήλ



## Περίληψη

Τα περισσότερα νησιά του Αιγαίου είναι μη συνδεδεμένα από το ηλεκτρικό δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται σε τοπικούς πετρελαϊκούς σταθμούς, οι οποίοι παρουσιάζουν υψηλό κόστος λόγω του κόστους εισαγωγής πετρελαίου, σε σύγκριση με το αντίστοιχο κόστος εισαγωγής και διανομής της ηπειρωτικής χώρας. Εκτός από το υψηλό κόστος, πρέπει να ληφθεί υπόψη και η ρύπανση του περιβάλλοντος από την χρήση πετρελαίου, καθώς τα τελευταία χρόνια καταβάλλονται σημαντικές προσπάθειες για την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα στην παραγωγή ενέργειας. Γι' αυτή την εργασία επιλέχτηκε το μη συνδεδεμένο νησί της Αστυπάλαιας, που ανήκει στα Δωδεκάνησα και έχει 1.334 κατοίκους. Σκοπός είναι να πραγματοποιηθεί διερεύνηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που μπορούν να αξιοποιηθούν στο νησί, όπως της αιολικής, ηλιακής, υδροηλεκτρικής, βιομάζας, κυματικής και γεωθερμικής ενέργειας, ώστε να εξεταστεί σε τι ποσοστό θα μπορούσαν να συμμετάσχουν στο ενεργειακό μείγμα του νησιού. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην βιομάζα και συγκεκριμένα στην εκμετάλλευση αγροτικών υπολειμμάτων για την παραγωγή ενέργειας, αλλά και στην καλλιέργεια ενεργειακών καλλιεργειών. Τέλος, εξετάστηκαν κάποιες περιπτώσεις συνδυασμένης συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη ποσοστού της ζήτησης ενέργειας, με στόχο τη μείωση της χρήσης πετρελαίου στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

## **Abstract**

Most of the Aegean islands are not connected to the electricity network of the mainland. The production of electric energy relies on local oil fuel plants, which have high cost due to import of oil, compared to the import and distribution cost in the mainland. Apart from the high cost, it has to be taken into consideration the environmental pollution from the oil fuel use, because during the last years serious efforts have been made for the reduction of oil fuels in energy production. For this study the selected area is the remote island of Astypalaia, which is part of Dodecanese and has population of 1.334 inhabitants. The purpose is to investigate all the renewable energy resources, which can be used in the island for electric energy production like wind, solar, hydropower, biomass, marine and geothermal energy, in order to be examined in which percentage can be used in the energy mix. Special emphasis has been given to biomass and specifically in the use of agricultural residues for energy production, but also in the cultivation of energy crops. Finally, some cases were examined where combined renewable resources were used to cover percentage of the energy demand, aiming at the decrease of oil fuel use in electric energy production.

## Περιεχόμενα

<b>Ευχαριστίες</b> .....	<b>3</b>
<b>Περίληψη</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>11</b>
1.1 Σκοπός και διάρθρωση της εργασίας .....	11
1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας .....	13
1.2.1 Γενικά .....	13
1.2.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση .....	14
<b>2. Το νησί της Αστυπάλαιας</b> .....	<b>17</b>
2.1 Γεωγραφικά – Διοικητικά στοιχεία .....	17
2.2 Ιστορία .....	18
2.3 Μετεωρολογικά δεδομένα .....	19
2.4 Υδρογεωλογία .....	20
2.4.1 Γεωλογία .....	20
2.4.2 Τεκτονική.....	21
2.4.3 Υδρολιθολογία .....	21
2.4.4 Υδρολογία .....	22
2.5 Οικονομία .....	25
2.6 Ενεργειακό μείγμα Αστυπάλαιας .....	27
<b>3. Διερεύνηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Αστυπάλαια</b> .....	<b>34</b>
3.1 Εισαγωγή .....	34
3.2 Αιολική Ενέργεια .....	34
3.2.1 Γενικά .....	34
3.2.2 Αιολική ενέργεια στην Ελλάδα .....	36
3.2.3 Ανεμογεννήτριες .....	37
3.2.4 Επιλογή Ανεμογεννήτριας για την Αστυπάλαια .....	40
3.3 Ηλιακή Ενέργεια .....	42
3.3.1 Ηλιακή Ακτινοβολία .....	42
3.3.2 Αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας .....	43
3.3.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα .....	44
3.3.4 Χρήση φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα και τον Κόσμο.....	46
3.3.5 Επιλογή φωτοβολταϊκών για την Αστυπάλαια .....	49
3.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια.....	51

3.4.1 Γενικά .....	51
3.4.2 Αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και τον Κόσμο.....	52
3.4.3 Διερεύνηση στην Αστυπάλεια .....	53
3.5 Γεωθερμική Ενέργεια .....	54
3.5.1 Γενικά .....	54
3.5.2 Αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα και τον Κόσμο .....	57
3.6 Κυματική Ενέργεια .....	59
3.6.1 Γενικά .....	59
3.6.2 Αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας στην Ελλάδα και τον Κόσμο .....	62
3.6.3 Διερεύνηση στην Αστυπάλεια.....	63
<b>4. Ενέργεια από βιομάζα .....</b>	<b>65</b>
4.1 Γενικά .....	65
4.2 Το ξύλο για την παραγωγή βιομάζας.....	67
4.3 Αξιοποίηση γεωργικών υπολειμμάτων για την παραγωγή βιομάζας.. ..	70
4.4 Ενεργειακές καλλιέργειες.. ..	76
4.5 Εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης βιομάζας.....	83
4.6 Αξιοποίηση βιομάζας στην Ελλάδα και τον Κόσμο.....	85
4.7 Θεωρητικό δυναμικό βιομάζας στην Αστυπάλεια .....	87
<b>5. Διερεύνηση ενεργειακού μείγματος της Αστυπάλειας.....</b>	<b>90</b>
5.1 Εισαγωγή .....	90
5.2 Διερεύνηση αιολικής και ηλιακής ενέργειας .....	90
5.2.1 Προσθήκη ανεμογεννητριών .....	90
5.2.2 Προσθήκη φωτοβολταϊκών.....	93
5.2.3 Συνδυασμός λειτουργίας ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών.....	96
5.3 Προσθήκη βιομάζας στο ενεργειακό μείγμα .....	99
5.3.1 Αξιοποίηση της βιομάζας από τα αγροτικά υπολείμματα .....	99
5.3.2 Αξιοποίηση της βιομάζας από ενεργειακή καλλιέργεια αγριαγκινάρας χωρίς άρδευση .....	101
5.3.3 Αξιοποίηση της βιομάζας από ενεργειακή καλλιέργεια αγριαγκινάρας με άρδευση.....	102
<b>6. Συμπεράσματα .....</b>	<b>105</b>
<b>7. Βιβλιογραφία .....</b>	<b>108</b>



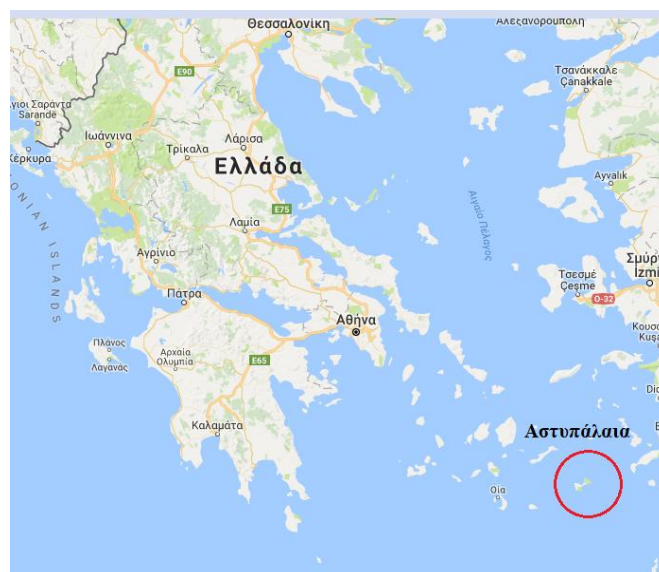
# 1.Εισαγωγή

## 1.1 Σκοπός και Διάρθρωση της εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε μη συνδεδεμένο νησί του Αιγαίου και συγκεκριμένα για το νησί της Αστυπάλαιας (Εικόνα 1.1). Η επιλογή της Αστυπάλαιας έγινε επειδή αποτελεί ένα μικρό νησί με πληθυσμό 1.334 κατοίκους και είναι μη συνδεδεμένο με το κύριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της ηπειρωτικής χώρας. Ακόμη είναι ένα νησί όπου έχει αυξηθεί αρκετά ο τουριστικός τομέας με σχεδόν 20.000 επισκέπτες ετησίως που αποτελεί τον κύριο τομέα απασχόλησης και σημαντικό παράγοντα της οικονομίας του νησιού. Το κύριο πρόβλημα των μη συνδεδεμένων νησιών είναι το αυξημένο κόστος παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της καύσης πετρελαίου που αποτελεί ακριβό καύσιμο. Βεβαίως πέρα από το υψηλό κόστος παραγωγής ενέργειας, εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι το πετρέλαιο αποτελεί ρυπογόνο παράγοντα για το περιβάλλον.

Στην εργασία αυτή θα διερευνηθεί ποιες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στο νησί, συγκεκριμένα κυρίως την αιολική και ηλιακή αλλά και την υδροηλεκτρική και κυματική καθώς και την ενεργεία από γεωθερμία. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην αξιοποίηση βιομάζας στο νησί από τα υπολείμματα αγροτικών προϊόντων αλλά επίσης εξετάστηκε η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών στο νησί.

Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση της εργασίας δεδομένα που αναπτύχθηκαν για την εργασία που παρουσιάστηκε στο συνέδριο της EGU 2017 στη Βιέννη για την ενεργειακή και υδατική διαχείριση σε μη συνδεδεμένο νησί του Αιγαίου (Chalakatevaki et al, 2017).



**Εικόνα 1.1:** Περιοχή μελέτης  
(Πηγή: earth.google.com)

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται ο σκοπός και η διάρθρωση της εργασίας, όπως επίσης γενικά στοιχεία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την τωρινή κατάσταση στην Ελλάδα και τον κόσμο.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση του νησιού της Αστυπάλαιας, τα γεωγραφικά και διοικητικά στοιχεία του νησιού, καθώς και ιστορική αναδρομή για το νησί. Ακόμη υπάρχει εκτενής αναφορά για την υδρογεωλογία και συγκεκριμένα για τους γεωλογικούς σχηματισμούς, την διαπερατότητα των σχηματισμών αλλά και για την υδρολογία του νησιού. Επίσης παρουσιάζονται τα ενεργειακά στοιχεία της Αστυπάλαιας, το υπάρχον ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού και το σύστημα που αποτελεί την εγκατεστημένη ισχύ για την κάλυψη της ζήτησης. Στο τέλος πραγματοποιήθηκε επεξεργασία πραγματικών δεδομένων της ετήσιας ζήτησης ενέργειας.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο πραγματοποιείται διερεύνηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στην Αστυπάλαια, λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρική ενέργεια, αλλά επίσης και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του. Αρχικά εξετάζεται η συμβολή της αιολικής ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα του νησιού και η εγκατάσταση ανεμογεννητριών κατάλληλης ισχύος, αλλά και γενικά στοιχεία για την αιολική ενέργεια. Στη συνέχεια το ίδιο γίνεται και για την ηλιακή ενέργεια, θα διερευνηθεί η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών για την παραγωγή ενέργειας στο νησί. Στο νησί υπάρχει επίσης φράγμα στην περιοχή Λιβιάδι, επομένως εξετάστηκε και η προσθήκη μικρού υδροηλεκτρικού έργου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, παρουσιάστηκε η συμβολή της κυματικής αλλά και της ενέργειας από γεωθερμία για την παραγωγή ενέργειας στο νησί.

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο εξετάζεται η χρήση βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την αξιοποίηση των αγροτικών υπολειμμάτων των καλλιεργειών που υπάρχουν στο νησί της Αστυπάλαιας. Αρχικά παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για την βιομάζα, προσεγγιστικές τιμές των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των αγροτικών υπολειμμάτων, όπως η θερμογόνο δύναμη, η υγρασία και η ποσότητα ξηρής ουσίας ανά στρέμμα. Ακόμη αναφορά γίνεται στις ενεργειακές καλλιέργειες, οι οποίες καλλιεργούνται αποκλειστικά για να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιομάζας. Επίσης αναλύεται η διαδικασία μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια στις ειδικές μονάδες, που παράγουν ενέργεια από την καύση βιομάζας. Στο τέλος γίνεται προσεγγιστικός υπολογισμός των αγροτικών υπολειμμάτων που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στο νησί για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα.

Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε διερεύνηση του ενεργειακού μείγματος του νησιού και η συμμετοχή σε αυτό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εξετάστηκαν κάποια σενάρια, όπως η συμμετοχή μόνο αιολικής, μόνο ηλιακής, συνδυασμός των δύο αλλά και το ποσοστό συνεισφοράς της βιομάζας στην κάλυψη της ζήτησης ενέργειας.

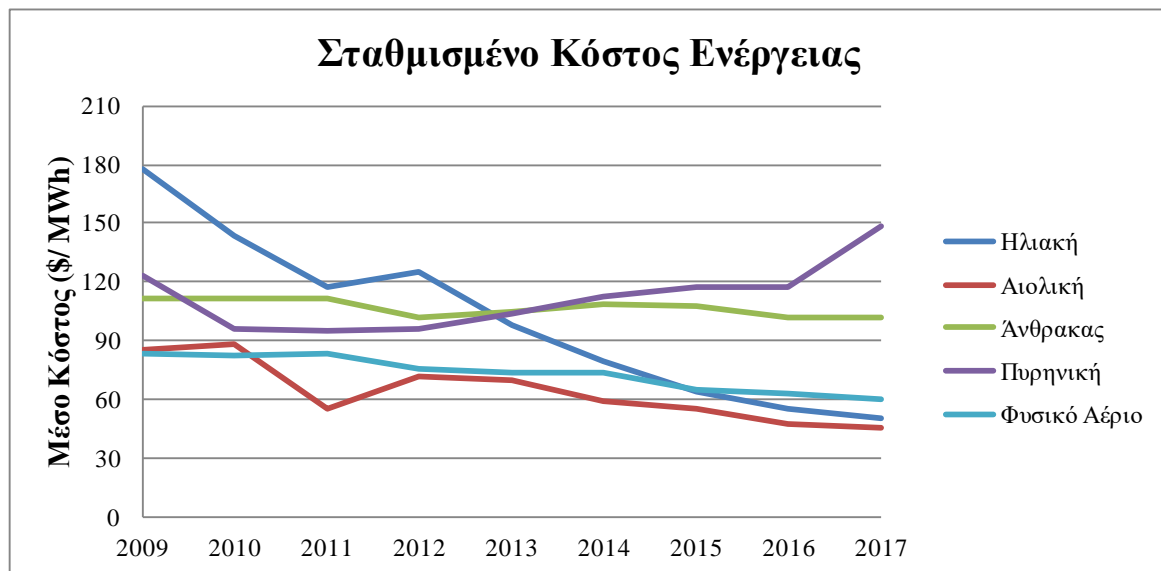
Τέλος, στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο συνοψίζονται όλα τα συμπεράσματα της διερεύνησης χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την συμμετοχή τους στην κάλυψη της ζήτησης ενέργειας.

## 1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

### 1.2.1 Γενικά

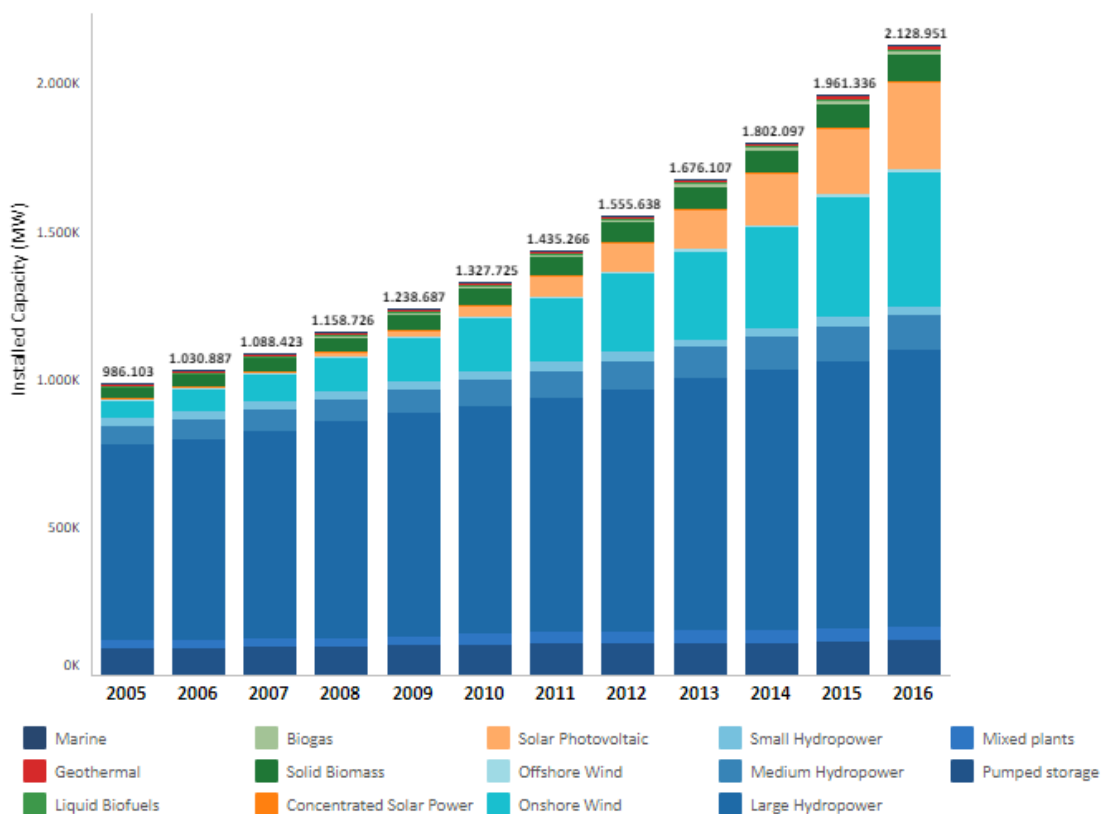
Οι ανανεώσιμες πηγές είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διεργασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ως ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η αιολική, ηλιακή, γεωθερμική, η ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέρια.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των συνεχών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας μειώνεται συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Παρακάτω στο Διάγραμμα 1.1 παρουσιάζονται οι μεταβολές της μέσης τιμής κόστους της MWh για κάποιες πηγές ενέργειας.



Διάγραμμα 1.1: Σταθμισμένο κόστος ενέργειας (Στοιχεία: Lazard, 2017)

Η συνεχής μείωση του κόστους ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές τα τελευταία χρόνια οφείλεται στην ανάπτυξη της έρευνας και της τεχνολογίας στον τομέα αυτό, καθώς όλο και περισσότερο επεκτείνεται η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παγκοσμίως. Η επιδίωξη πολλών χωρών είναι η απεξάρτηση από την χρήση του άνθρακα στην παραγωγή ενέργειας και η αντικατάσταση του από ανανεώσιμες πηγές. Γι' αυτό και έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες για την αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στόχος είναι η ετήσια αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος τους σε σημαντικό ποσοστό (Εικόνα 1.2).



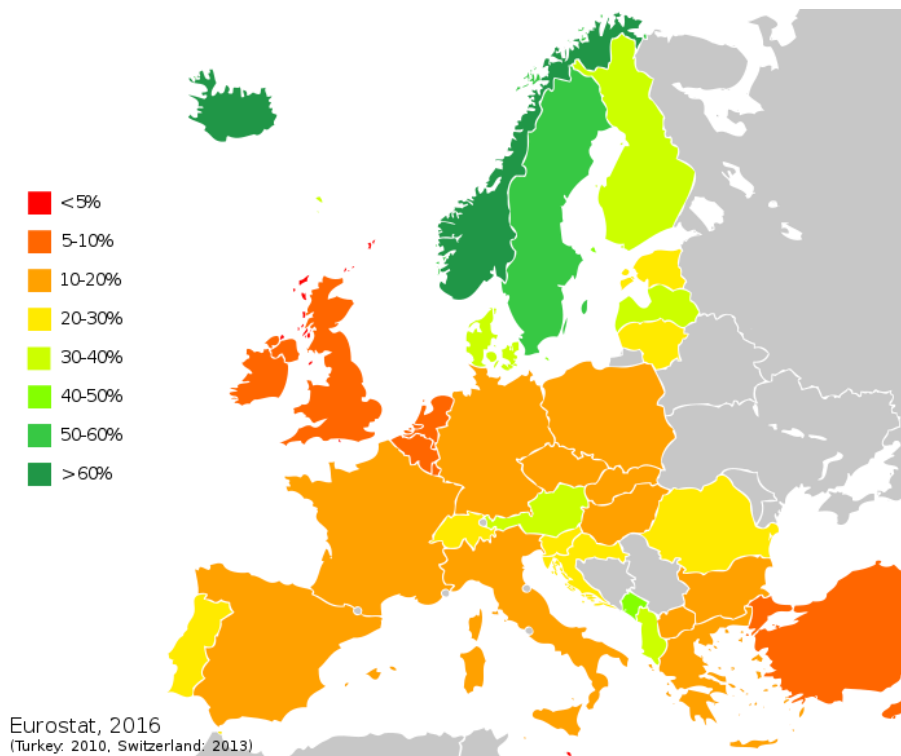
**Εικόνα 1.2:** Ετήσια συνολική εγκατεστημένη ισχύ ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Πηγή: IRENA)

### 1.2.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/EK για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεσπίστηκε ευρωπαϊκό πλαίσιο για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και τέθηκαν υποχρεωτικοί εθνικοί στόχοι σχετικά με τις ΑΠΕ για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% μέχρι το 2020. Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε παράλληλα, την επίτευξη τριών σχετιζόμενων στόχων, με ορίζοντα το 2020:

- βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης για να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας κατά 20%
- αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα στο επίπεδο του 20%
- και αύξηση του ποσοστού των βιοκαυσίμων στις μεταφορές στο 10%

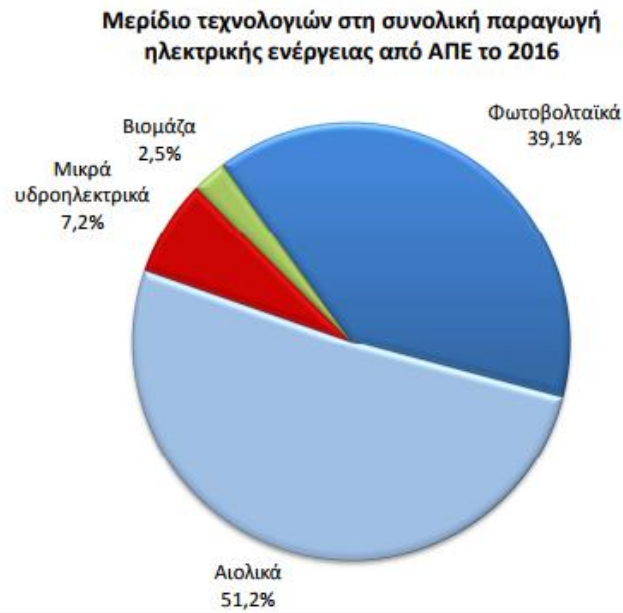
Για κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης θεσπίστηκε διαφορετικός στόχος συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα της μέχρι το έτος 2020, οι στόχοι επομένως των χωρών ποικίλουν με χαμηλότερο να είναι αυτός της Μάλτας με ποσοστό 10% και με υψηλότερο αυτόν της Ισλανδίας με 72%. Ο στόχος που αποφασίστηκε για την Ελλάδα είναι το 18% της παράγωγης ενέργειας να είναι από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στον παρακάτω χάρτη φαίνεται το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργεια στην παραγωγή ενέργειας για το έτος 2016 (Εικόνα 1.3).



**Εικόνα 1.3:** Ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών στην παραγωγή ενέργειας των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Ελβετίας και Τουρκίας για το 2016  
(Πηγή: Eurostat)

Στην Ελλάδα παρουσιάζεται ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική Αρχή την περίοδο 2004 - 2013, η Ελλάδα σημείωσε εντυπωσιακή άνοδο της ενεργειακής κατανάλωσης από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση από μόλις 6,9% το 2004 αυξήθηκε σε 15% το 2013. Για το έτος 2016 το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα της χώρας ήταν

15,2%, η κατανομή του ποσοστού αυτού για κάθε τεχνολογία παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.4.



**Εικόνα 1.4:** Μερίδιο τεχνολογιών στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ το 2016 (Πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ)

## 2. Το νησί της Αστυπάλαιας

### 2.1 Γεωγραφικά - Διοικητικά Στοιχεία

Η Αστυπάλεια είναι το τέταρτο σε μέγεθος και το δυτικότερο νησί των Δωδεκανήσων. Βρίσκεται δυτικά της Νισύρου και ανατολικά της Ανάφης (Κυκλάδες). Η Αστυπάλεια λειτουργεί ως “γέφυρα” που ενώνει τις Κυκλάδες με τα Δωδεκάνησα αφού ανήκει διοικητικά στα Δωδεκάνησα αλλά γεωγραφικά και πολιτισμικά στέκει ανάμεσα στα Δωδεκάνησα και στις Κυκλάδες, συνδυάζοντας στοιχεία και από τα δύο νησιώτικα συμπλέγματα. Έχει έκταση 97 km<sup>2</sup>, ακτογραμμή 110 km και 1.334 κατοίκους (Απογραφή 2011). Απέχει 23 ναυτικά μίλια από την Κω, 96 ν.μ. από τη Ρόδο και 117 ν.μ. από τον Πειραιά. Στο νησί υπάρχει ο Κρατικός Αερολιμένας Αστυπάλαιας που συνδέει το νησί με την Αθήνα, τη Λέρο, την Κω και τη Ρόδο.

Το νησί αποτελείται από δύο τμήματα (ανατολικό και δυτικό) που συνδέονται στην περιοχή της Ανάληψης με μια στενή λωρίδα. Στο δυτικό τμήμα του νησιού υπάρχουν δυο παράλληλοι ορειογραφικοί άξονες ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης. Οι πεδινές εκτάσεις καταλαμβάνουν μόλις το 5% της συνολικής έκτασης του νησιού και βρίσκονται κοντά στους οικισμούς Λιβάδι, Ανάληψη και Βαθύ. Διοικητικά αποτελείται από τον δήμο της Αστυπάλαιας με πρωτεύουσα τον οικισμό της Αστυπάλαιας που συγκεντρώνει το σύνολο σχεδόν του πληθυσμού του νησιού. Εκτός από την Χώρα, υπάρχουν τα χωριά Ανάληψη όπου βρίσκεται το αεροδρόμιο του νησιού, το Λιβάδι που κατοικείται ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες και στα ΒΑ του νησιού το Βαθύ.

Το ανάγλυφο του νησιού είναι ημιορεινό με δύο διακριτές πεδιάδες στο νοτιοδυτικό και βορειοανατολικό τμήμα του νησιού (Λιβάδι και Βαθύ, αντίστοιχα) και με υψηλότερες κορυφές τη Βάρδια (482 m) και Καστελλάνο (366 m). Η πολυσχιδής ακτογραμμή μήκους 110 km, σχηματίζει πολλούς μικρούς κόλπους, ενώ σε πολλές περιπτώσεις τα υψώματα επεκτείνονται περιμετρικά μέχρι τη θάλασσα δημιουργώντας απόκρημνες ακτές.



**Εικόνα 2.1:** Το νησί της Αστυπάλαιας  
(Πηγή: astipalea.gr)

## 2.2 Ιστορία

Το νησί ονομάστηκε έτσι (άστυ + παλαιός) από τους Δωριείς κατοίκους του, οι οποίοι βρήκαν στην περιοχή ίχνη παλαιότερου οικισμού των Φοινίκων, κατά τις μελέτες αρχαιολόγων. Είχε αποκτήσει και άλλα ονόματα, όπως "Πύρρα" (για το ερυθρό χρώμα της γης), "Πυλαία", "Θεών Τράπεζα" και "Ιχθυόεσσα" (για τα άφθονα ψάρια στα νερά της). Σύμφωνα με τον Στέφανο τον Βυζάντιο η Αστυπάλεια κατοικήθηκε αρχικά από Κάρες, που πρώτοι την ονόμασαν Πύρρα. Κατά τον Οβίδιο το νησί πέρασε από την κατοχή της Κρήτης, τον καιρό του Μίνωα, ενώ αργότερα εξελληνίστηκε από αποίκους που ήρθαν από τα Μέγαρα. Μεγαρείς αποίκους στην Αστυπάλεια, πατρίδα του ολυμπιονίκη Κλεομήδη, αναφέρει και ο Σκύμνος.

Κατά τους αρχαίους χρόνους πρέπει να παρουσίασε ιδιαίτερη ακμή, όπως μαρτυρούν διάφορα ευρήματα, κυρίως νομίσματα, που βρέθηκαν στο νησί αλλά και οι συχνές αναφορές σε κείμενα αρχαίων συγγραφέων. Το όνομα της νήσου περιλαμβάνεται στις "Αναγραφές των φόρων" των Αθηναίων, ήταν επομένως φόρου υποτελής στην Αθήνα. Από τις ίδιες πηγές μαθαίνουμε ακόμη ότι υπήρχαν ιερά της Αθηνάς, του Δία, του Απόλλωνα, του Ασκληπιού, της Περσεφόνης και Αρτέμιδος, καθώς επίσης και Πρυτανείο, Θέατρο, Στοά και Αγορά. Επίσης από την Αστυπάλεια καταγόταν ο ιστορικός Ονησίκριτος που πήρε μέρος στην εκστρατεία του Μεγάλου Αλεξάνδρου. Κατά την ελληνιστική εποχή η Αστυπάλεια υπήρξε λιμάνι – σταθμός των Πτολεμαίων της Αιγύπτου και υποστηρίζεται ότι αυτή την περίοδο ιδρύεται στο νησί νομισματοκοπείο, ενώ κατά την ρωμαϊκή περίοδο παρουσίασε σημαντική ακμή, χάρις στα πολλά φυσικά λιμάνια που αποτελούσαν ορμητήριο κατά των πειρατών. Αναφέρεται ιδιαίτερη συνθήκη με τους Ρωμαίους, το 149 π.Χ., για χρησιμοποίηση του νησιού ως ναυτιλιακού σταθμού με αντάλλαγμα την αυτονομία του, συνθήκη που ανανεώθηκε το 105 π.Χ. και η Αστυπάλεια απέκτησε την προσωνομία "civitas foederata".

Κατά την Ενετοκρατία, η Αστυπάλεια, κατά τον G. Gerola, παραχωρήθηκε το 1207 από τον Δούκα του Αρχιεπαύγου Marco Sanudo στον Ενετό ευγενή Giovanni Querini σε ανταπόδοση των υπηρεσιών του τελευταίου κατά την ίδρυση του νέου δουκάτου. Ο Querini θεωρήθηκε έτσι, ως ο ιδρυτής και πρώτος ιδιοκτήτης μιας οίκησης, που αποτέλεσε τον πυρήνα του σημερινού οικισμού.

Η περίοδος της Τουρκοκρατίας στο νησί, όπως και στα υπόλοιπα Δωδεκάνησα, χαρακτηρίζεται από την παροχή προνομίων αυτοδιοίκησης στους νησιώτες. Η Επανάσταση του 1821 βρήκε τους Αστυπαλιώτες έτοιμους να συμμετάσχουν στον εθνικό αγώνα, και το νησί διοικητικά τότε ανήκε στην επαρχία των Νοτίων Σποράδων της επαναστατικής ελληνικής πολιτείας. Οι ελπίδες των κατοίκων του διαψεύστηκαν όταν το 1830 οι Μεγάλες Δυνάμεις με το Πρωτόκολλο του Λονδίνου τους άφησαν εκτός των ορίων του ελληνικού κράτους και αποδόθηκε στην Οθωμανική Αυτοκρατορία..

Τον Απρίλιο του 1912 κατά τον Ιταλοτουρκικό πόλεμο, το νησί καταλαμβάνεται από την Ιταλία. Τον Μάιο του 1914, καθώς οι διωγμοί στα απέναντι μικρασιατικά παράλια είχαν ενταθεί, πολλοί Μικρασιάτες κατέφυγαν στα νησιά ανάμεσα στα οποία και η Αστυπάλεια. Τους τελευταίους μήνες του 1918, μετά τη λήξη του Α΄ παγκοσμίου πολέμου για την Τουρκία, άρχισε η παλιννόστηση των προσφυγών στην Μικρά Ασία. Συγκεκριμένα με τη ανακωχή του Μούδρου (1918) και την αποβίβαση του Ελληνικού στρατού στη Σμύρνη (1919) αρκετοί πρόσφυγες που είχαν παραμείνει στα Δωδεκάνησα επέστρεψαν στη Μικρά



Ασία αλλά προσωρινά όπως αποδείχθηκε. Μετά τη Μικρασιατική Καταστροφή, πολλές οικογένειες Μικρασιατών εγκαταστάθηκαν πλέον οριστικά στην Αστυπάλαια και τα υπόλοιπα Δωδεκάνησα. Η ιταλική κυριαρχία διήρκεσε μέχρι τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, οπότε παραχωρείται στην Ελλάδα μαζί με τα άλλα Δωδεκάνησα. Η επίσημη ενσωμάτωση με την Ελλάδα έγινε στις 7 Μαρτίου του 1948.

Σπουδαίο αρχαιολογικό εύρημα του νησιού είναι το βρεφικό νεκροταφείο της Αστυπάλαιας που αποκαλύφθηκε το 1995, θεωρείται ένα από τα μεγαλύτερα νεκροταφεία βρεφών στον κόσμο. Τα ευρήματα χρονολογούνται από το 850 π.Χ. έως και τους Ελληνιστικούς χρόνους, τα βρέφη από διάφορες περιοχές της Μεσογείου μεταφέρονταν εκεί και τοποθετούνταν σε αγγεία πριν την ταφή.

## 2.3 Μετεωρολογικά Δεδομένα

Σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό της Αστυπάλαιας (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) προκύπτουν τα παρακάτω δεδομένα που αφορούν την χρονική περίοδο 1977-2013 (Εικόνα 2.2). Η μέση ετήσια θερμοκρασία που καταγράφεται στον προαναφερθέντα μετεωρολογικό σταθμό ανέρχεται στους 19,27°C, ενώ οι μέσες μηνιαίες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 11,68°C (Φεβρουάριος) και 27,20°C (Ιούλιος). Η μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία αέρα 7,73 °C, καταγράφεται το μήνα Φεβρουάριο, ενώ η μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία καταγράφεται τον Ιούλιο και ανέρχεται σε 32,09°C. Όσον αφορά τις απόλυτες ελάχιστες και μέγιστες τιμές, η ελάχιστη καταγράφεται τον Φεβρουάριο και η τιμή της ανέρχεται στους -5,00°C, και η μέγιστη τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο όπου ο υδράργυρος ανέρχεται μέχρι και τους 40,2°C. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία, για την ευρύτερη περιοχή της Αστυπάλαιας ανέρχεται σε 70,13%. Σύμφωνα με τα στοιχεία που τηρεί η Διεύθυνση Αγροτικής Οικονομίας το μέσο ετήσιο ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην Αστυπάλαια από το έτος 1985 έως και το έτος 2012 κυμαίνεται από 196,4 – 620,9 mm, με μέση τιμή τα 400 mm.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	12,26	11,68	12,96	15,31	18,97	23,81	27,20	26,13	22,77	20,26	15,07	13,56
Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία	14,80	14,53	15,95	17,97	21,41	28,25	32,09	30,53	25,77	21,19	17,96	16,67
Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία	8,57	7,73	9,30	10,98	15,73	19,37	22,25	21,67	18,29	16,42	13,09	9,66
Απολύτως Μέγιστη Θερμοκρασία	21,40	22,40	21,30	27,20	32,40	40,20	40,20	39,00	30,00	37,20	29,00	24,00
Απολύτως Ελάχιστη Θερμοκρασία	1,00	-5,00	0,60	5,00	10,00	14,00	13,20	12,30	11,20	9,00	7,60	2,00
Μέση Σχετική Υγρασία (%)	69,74	65,86	73,06	69,44	69,03	61,97	67,11	65,72	69,45	76,09	79,06	75,00
Μέση μηνιαία διεύθυνση ανέμων	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

**Εικόνα 2.2:** Δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας για την Αστυπάλαια (Πηγή: EMY, 1977-2013)

## 2.4 Υδρογεωλογία

### 2.4.1 Γεωλογία

Στην γεωλογική διαμόρφωση της Αστυπάλαιας συμβάλλουν δύο κύριες ενότητες γεωλογικών σχηματισμών. Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις, από αλλουβιακές αποθέσεις, πλευρικά κορρήματα και πώρο, και η μεσοζωική στρωματογραφική σειρά της ζώνης Γαβρόβου - Τριπόλεως που αποτελούν και το υπόβαθρο του νησιού. Αναλυτικότερα οι γεωλογικοί σχηματισμοί που λαμβάνουν μέρος στην γεωλογική διαμόρφωση του νησιού έχουν ως ακολούθως:

- *Ενότητα ιζηματογενών σχηματισμών του Τεταρτογενούς:*

Αποτελεί την νεότερη ενότητα και επικάθεται επί όλων των άλλων παλαιότερων γεωλογικών ενοτήτων. Περιλαμβάνει σύγχρονες αλλουβίες και παράκτιες αποθέσεις, λατυποπαγή, κώνους κορημάτων, καθώς και αργίλους, άμμους, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες.

- *Ενότητα υποβάθρου:*

Περιλαμβάνει την ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως που αποτελείται από τα παρακάτω στρώματα:

- *Φλύσχη:* Αποτελείται από ιλυολίθους και ψαμμίτες, με παρεμβολές φακών κροκαλοπαγών καθώς και ολισθόλιθων από ασβεστόλιθους της ζώνης Γαβρόβου με νηριτικούς ασβεστόλιθους αλλά και της ζώνης Πίνδου με πυριτικούς ασβεστόλιθους. Προς τα ανώτερα μέρη του φλύσχη επικρατούν οι ψαμμίτες ενώ η μετάβαση προς τους ασβεστόλιθους γίνεται με πρασινότεφρες μάργες. Πάχος 300 m.
- *Νουμουλιτοφόροι ασβεστόλιθοι:* Εμφανίσεις μεταξύ φλύσχη και κρητιδικών ασβεστόλιθων στις περιοχές των επωθήσεων του ανατολικού τμήματος του νησιού και του λαιμού που ενώνει τα δύο τμήματα της νήσου. Μεγάλη εξάπλωση παρουσιάζεται στο δυτικό τμήμα του νησιού και κυρίως στην βόρεια πλευρά, όπου το πάχος τους φθάνει τα 200 m.
- *Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι:* Μαύροι ρουδιστοφόροι ασβεστόλιθοι που περιέχουν βιτουμένα, συχνά δολομιτιωμένοι. Εξαπλώνονται σε όλη την έκταση του βορειοανατολικού τμήματος του νησιού. Ενώ αντίστοιχα στο νοτιοδυτικό τμήμα περιορίζονται στο βόρειο μέρος. Το πάχος τους ξεπερνά τα 300 m.
- *Κρυσταλλικοί ιουρασικοί ασβεστόλιθοι:* Μεσοπαχυστρωματώδεις νηριτικοί ασβεστόλιθοι και στους ανώτερους ορίζοντες εμφανίζονται μικρολατυποπαγείς. Το πάχος τους φθάνει τα 250 m. Καταλαμβάνουν το δυτικό μέρος του νοτιοδυτικού τμήματος και είναι επωθημένοι επί του φλύσχη.

- *Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι του Τριαδικού:* Νηριτικοί ασβεστόλιθοι από στρωματώδεις έως άστρωτοι. Κρυσταλλικοί και σε ορισμένες περιπτώσεις μάρμαρα. Εμφανίζονται μόνο στην Οφιδούσα.

#### **2.4.2 Τεκτονική**

Η τεκτονική της Αστυπάλαιας χαρακτηρίζεται από τις συμπιεστικές τάσεις που υπέστη το νησί κατά την διάρκεια του Ολιγοκαίνου. Οι συμπιεστικές αυτές τάσεις με διεύθυνση από Βόρειο Ανατολικά προς Νότιο δυτικά, οδήγησαν στην δημιουργία τεκτονικών ρηγμάτων με διεύθυνση BB-NNA κάθετη στις συμπιεστικές τάσεις και περαιτέρω στην δημιουργία λεπιών κυρίως στο Βόρειο Ανατολικό άκρο του νησιού, όπως στις θέσεις βορειοανατολικά του λιμένος Βαθύ και του όρμου Βλυχάδια.

Στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού χαρακτηριστική είναι η ανάπτυξη ενός ορεογραφικού άξονα διεύθυνσης BB - NNA. Αυτός ο ορεογραφικός άξονας, αποτελείται από τις κορυφές Καστελλάνο (366 m) την κορυφή Γαβρί (253 m), την κορυφή Αγ. Θωμάς (210 m) και την κορυφή Βίγλα (131 m). Ο άξονας αυτός ορίζει και τον άξονα αντικλίνου. Αντίστοιχα στο νοτιοδυτικό τμήμα αναπτύσσονται δύο ορεογραφικοί άξονες με διεύθυνση BB - NNA, και αποτελούνται από τις κορυφές Βάρδια (482 m), Κουτέλα (431 m), Βίγλα (314 m), Περβόλες (305 m), Προφήτη Ηλία (277 m) και Γέρακα (93 m), χωρίς όμως να σηματοδοτούν αντίστοιχη ύπαρξη αντικλινικού άξονα. Οι κλίσεις των στρωμάτων στο νότιο δυτικό τμήμα του νησιού έχουν διεύθυνση ΝΔ. Στο δυτικό άκρο της Αστυπάλαιας εμφανίζονται οι ιουρασικοί ασβεστόλιθοι επωθημένοι επί του ηωκαινικού φλύσχη. Σημαντική είναι η δημιουργία τεκτονικής τάφρου μεταξύ των δύο τμημάτων του νησιού.

#### **2.4.3 Υδρολιθολογία**

Τα ανθρακικά πετρώματα του Κρητιδικού που κυριαρχούν στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού είναι έντονα τεκτονισμένα και αποκαρστωμένα, και ως εκ τούτου παρουσιάζουν έντονη μακροδιαπερατότητα. Το αυτό ισχύει και για τα, επωθημένα επί του φλύσχη, ανθρακικά πετρώματα του Ιουρασικού που αναπτύσσονται στο δυτικότερο τμήμα του νησιού. Οι νομουλιτοφόροι ασβεστόλιθοι εμφανίζουν διαπερατότητα στις θέσεις των τεκτονικών ρηγμάτων. Η ιλυολιθική σύσταση του φλύσχη κυρίως στα βαθύτερα στρώματα του φλύσχη, του προσδίδει ένα χαρακτήρα αδιαπέρατου πετρώματος. Διαπερατότητα παρατηρείται εντός των ψαμμιτικών ενδιαστρώσεων και των κροκαλοπαγών φακών. Ο πόρος θεωρείται ημιπερατός σχηματισμός. Ο βαθμός διαπερατότητας των αλλουβιακών προσχώσεων είναι ανάλογος της περιεκτικότητας τους σε χονδρόκοκκα υλικά. Γενικά στην Αστυπάλεια οι αλλουβιακές αποθέσεις παρουσιάζουν μικρή περιεκτικότητα σε αργίλους και ως εκ τούτου θεωρούνται αδιαπέρατες.

Το δυτικό τμήμα της Αστυπάλαιας αποτελείται στο μεγαλύτερο μέρος της από τον φλύσχη της ζώνης Τριπόλεως τους υποκείμενους νομουλιτοφόρους ασβεστόλιθους και τους επωθημένους επί του φλύσχη Ιουρασικούς κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και δευτερευόντως από τις τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις.

Σε πολύ γενικές γραμμές οι στρωματογραφικοί σχηματισμοί κατατάσσονται ως προς την διαπερατότητα τους ως κάτωθι :

- Σχηματισμοί με περατότητα πολύ χαμηλή έως χαμηλή ( $3% < \Sigma.K. \leq 8%$ ):
  - Φλύσχη
- Σχηματισμοί με περατότητα χαμηλή έως μέτρια ( $8% < \Sigma.K. \leq 20%$ ):
  - Πώρος
  - Πλευρικά κορήματα ασύνδετα
  - Σύγχρονες Αλλουβιακές αποθέσεις και προσχώσεις ποταμών
- Σχηματισμοί με περατότητα μέτρια έως υψηλή ( $\Sigma.K. > 20%$ )
  - Σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις
  - Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι
  - Κρυσταλλικοί ιουρασικοί ασβεστόλιθοι
  - Νουμουλιτοφόροι ασβεστόλιθοι
  - Πλευρικά κορήματα συνδεδεμένα

#### **2.4.4 Υδρολογία**

Τα δύο τμήματα ΒΑ και ΝΔ λόγω των διαφορών στην γεωλογική τους δομή εμφανίζουν διαφορετικά υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά (Εικόνα 2.3).

Το βορειοανατολικό τμήμα με την παρουσία των ασβεστολιθικών πετρωμάτων ευνοείται η κατείδυση σε σχέση με την απορροή. Σε αυτό άλλωστε συνεπικουρεί και η φτωχή ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου.

Αντίθετα το νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού όπου κυριαρχεί η παρουσία του αδιαπέρατου φλύσχη ιδίως στο ανατολικό μέρος, έχουμε υπεροχή της απορροής σε σχέση με την κατείδυση, όπως μαρτυρεί και η δενδριτικής μορφής ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου.

Οι δυναμικότητες των υπόγειων υδροφοριών που αναπτύσσονται εντός των πετρωμάτων των διαφόρων ενοτήτων του νησιού είναι συνάρτηση της φύσης των πετρωμάτων και της επαφής τους με την θάλασσα. Η υπόγεια καρστική υδροφορία που αναπτύσσεται εντός των Κρητιδικών ασβεστόλιθων (ανατολική πλευρά του ΒΑ τμήματος) λόγω της βύθισης των ασβεστόλιθων σε αρνητικά υψόμετρα του έντονου τεκτονισμού και της μεγάλης καρστικοποίησης, εκφορτίζεται ταχέως προς την θάλασσα.

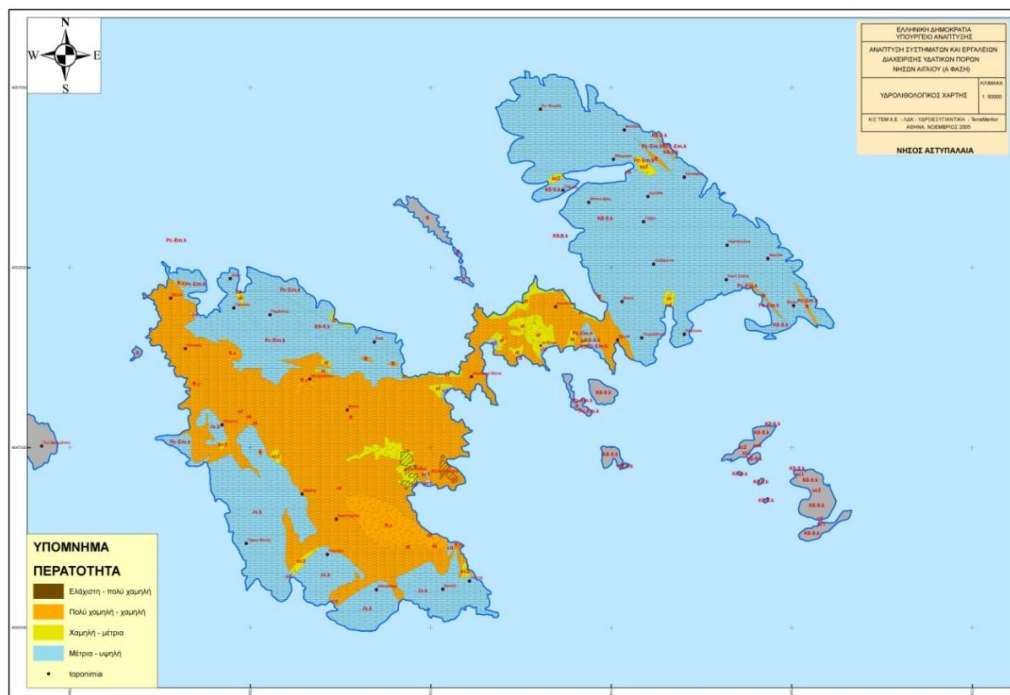
Αντίθετα η υδροφορία που αναπτύσσεται εντός των επωθημένων επί του φλύσχη ασβεστόλιθων, παρεμποδίζεται στην κατακόρυφη κίνηση της από το στεγανό υπόβαθρο του φλύσχη. Ως αποτέλεσμα της ύπαρξης στεγανού υποβάθρου είναι η παρουσία πηγών εκεί όπου η τομή της μορφολογίας με την στρωματογραφική επαφή ασβεστόλιθων-φλύσχη ευρίσκεται σε θετικά υψόμετρα. Υδροφορίες αναπτύσσονται και εντός των κροκαλοπαγώνεν διαστρώσεων του φλύσχη και την δημιουργία πηγών (πηγή Αγ. Ιωάννη).

Φρεάτιοι ορίζοντες αναπτύσσονται εντός των προσχωσιγενών αποθέσεων. Λόγω της μικρής αναπτύξεως των προσχώσεων αυτών, της μικρής υδατοαποθηκευτικής τους ικανότητας και της υπεραντλήσεως έχει επέλθει υφαλμύρωση των υδάτων (περιοχή Λιβαδιού). Στο νησί συναντώνται, λόγω των γεωμορφολογικών συνθηκών λεκάνες απορροής και επομένως η αξιοποίηση των όποιων επιφανειακών απορροών είναι θεμιτή.

Η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών του νησιού γίνεται μέσω τριών γεωτρήσεων που υδρομαστεύουν την υδροφορία που αναπτύσσεται εντός των κροκαλοπαγών ενδιαστρώσεων του φλύσχη. Η εκμετάλλευση των γεωτρήσεων δεν αποφέρει ικανές ποσότητες ύδατος και λόγω της μικρής παροχής των γεωτρήσεων και λόγω της περιορισμένης εκμετάλλευσης που γίνεται λόγω του φόβου της υφαλμύρωσης. Έτσι συνολικά αντλούνται από τις 3 γεωτρήσεις μόνο 180 m<sup>3</sup>/ημέρα. Για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών χρησιμοποιούνται και τα ύδατα των πηγών Αγ. Ιωάννη και Μουρά. Οι πηγές Μουρά ευρίσκονται εντός χαράδρας και πηγάζουν μέσα από κροκαλοπαγή ενδιάστρωση του Φλύσχη. Βρίσκονται σε υψόμετρα 23 και 16 m εκατέρωθεν της χαράδρας. Μικρής παροχής και το συλλεγόμενο νερό ανέρχεται σε μόλις 20 m<sup>3</sup>/ημέρα. Η πηγή του Αγ. Ιωάννη βρίσκεται σε υψόμετρο 250 m και αποτελεί πηγή επαφής των επωθημένων ασβεστόλιθων επί του φλύσχη. Η παροχή της πηγής την ξηρά περίοδο ανέρχεται σε 40 m<sup>3</sup>/ημέρα. Συνολικά από τις γεωτρήσεις και από τις πηγές αξιοποιούνται για την ύδρευση περί τα 57.600 m<sup>3</sup>/έτος.

Στην περιοχή του Λιβαδιού όπου αναπτύσσεται κοιλάδα 700 στρεμμάτων υπάρχει ανεπτυγμένος φρεάτιος ορίζοντας. Ο ορίζοντας αυτός αναπτύσσεται εντός των προσχώσεων και του αποσαθρωμένου φλύσχη ο οποίος και αποτελεί το υπόβαθρο της κοιλάδας. Τον ορίζοντα αυτόν τον εκμεταλλεύονται πάνω από 150 πηγάδια βάθους από 5 μέχρι 7 m. Η λεκάνη απορροής της ευρύτερης περιοχής έχει έκταση 9 km<sup>2</sup> λαμβανομένης υπόψη της βροχοπτώσεως (420 mm/έτος) και της κατεΐσδυσης που εκτιμάται σε 5 %, η αποθηκευμένη ποσότητα ύδατος εντός του φρεατίου ορίζοντος ανέρχεται σε 190.000 m<sup>3</sup>/έτος. Το ποσό αυτό δεν επαρκεί για την άρδευση των καλλιεργούμενων 700 στρεμμάτων οι αρδευτικές ανάγκες των οποίων για το 1994 υπολογίστηκαν σε 250.000 m<sup>3</sup>/έτος. Επιπλέον η εκφόρτιση του φρεατίου ορίζοντος στην θάλασσα μειώνει κατά πολύ τις δυνατότητες του φρεατίου ορίζοντος. Οι υπεραντλήσεις που γίνονται στον ορίζοντα αυτόν έχουν ως αποτέλεσμα την υφαλμύρωση των υδάτων.

Για την κάλυψη των αναγκών χρειάζονται 112.000 m<sup>3</sup>/έτος για ύδρευση και άρδευση 250.000 m<sup>3</sup>/έτος, δηλαδή συνολικά χρειάζονται 362.000 m<sup>3</sup>/έτος. Οι δυνατές απολήψιμες ποσότητες από διάφορες γεωτρήσεις και τις πηγές ανέρχονται σε 57.600 m<sup>3</sup>/έτος, από τα φρέατα σε 90.000 m<sup>3</sup>/έτος και από τον ταμιευτήρα σε 870.000 m<sup>3</sup>/έτος, συνεπώς οι ολικές απολήψιμες ποσότητες φθάνουν σήμερα τα 1.017.600 m<sup>3</sup>/έτος. Παρουσιάζεται ένα πλεόνασμα της τάξεως των 660.000 m<sup>3</sup>/έτος περίπου. Επίσης παρά το πλεόνασμα που διαθέτει ο δήμος, λόγω των υφαλμυρώσεων των υπόγειων υδάτων, αντιμετωπίζει έλλειμμα ύδρευσης με καλής ποιότητας νερό.



**Εικόνα 2.3:** Περαιτότητα γεωλογικών σχηματισμών της Αστυπάλαιας  
(Πηγή: Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων υδατικού διαμερίσματος νήσων Αιγαίου, 2005)

Ακόμη το 1997 περατώθηκε το φράγμα Λιβαδιού με ωφέλιμη όγκο  $875.000 \text{ m}^3$  που τροφοδοτείται από το χείμαρρο Λιβιάδι. Πρόκειται για χωμάτινο ομογενές φράγμα με φυσική στεγανότητα (σχιστόλιθοι) το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το Ι ΚΠΣ και το τότε Υπουργείο Ανάπτυξης και Τροφίμων και μεταβιβάστηκε στο δήμο Αστυπάλαιας το έτος 2003. Από τότε λειτουργεί χωρίς προβλήματα και καλύπτει τις ανάγκες άρδευσης (μέχρι 900 στρέμματα) και ύδρευσης (Εικόνα 2.4).

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι το νησί έχει δυνατότητες να καλύψει τις ανάγκες του σε νερό. Στο νησί δεν μεταφέρεται νερό από μεγαλύτερα νησιά. Αυτό διαφοροποιεί την Αστυπάλαια από τα άλλα νησιά του ίδιου μεγέθους και αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα για την ανάπτυξη του πρωτογενή τομέα.



**Εικόνα 2.4:** Φράγμα Λιβαδιού  
(Πηγή: Τα φράγματα και οι λιμνοδεξαμενές, ΥΠ.Α.Α.Τ, 2006)

## 2.5 Οικονομία

- *Πρωτογενής Τομέας:*

Στην Αστυπάλαια ο πρωτογενής τομέας είναι περιορισμένος, το έδαφός της είναι ημιορεινό με μία μικρή πεδιάδα στο Βαθύ και μια κοιλάδα 700 στρέμματα στο Λιβάδι. Οι υπόλοιποι αγροί είναι διάσπαρτοι, μεμονωμένοι και διαμορφωμένοι συνήθως σε αναβαθμίδες με ξερολιθιές. Τα γεωργικά προϊόντα που μπορεί να βρει κανείς στην Αστυπάλαια είναι κηπευτικά και οπωροφόρα. Η κτηνοτροφία στο νησί περιλαμβάνει την αιγοπροβατοτροφία και την μελισσοκομία καθώς είναι προσαρμοσμένες στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Πρόκειται για προϊόντα εξαιρετικής ποιότητας και οι μέθοδοι καλλιέργειας τους πλησιάζουν τις βιολογικές. Παρόλα αυτά κανένα από τα προϊόντα δεν έχει χαρακτηριστεί μέχρι σήμερα ως ποιοτικό ή γεωγραφικής ένδειξης λόγω και της μικρής κλίμακας της παραγωγής.

Η γεωργική γη που δύναται να καλλιεργηθεί είναι 3.700 στρέμματα. Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ως βοσκότοποι είναι 34.700 στρέμματα. Η έκταση των 53.000 στρεμμάτων που χαρακτηρίζονται ως δάση δεν αποτελούνται από συμπαγείς συστάδες δασικών δέντρων αλλά πρόκειται για εκτάσεις που καλύπτονται από θαμνώδη ή/και ποώδη βλάστηση και οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν στην κτηνοτροφία και τη μελισσοκομία. Η καλλιεργημένη γεωργική γη είναι 2.267 στρέμματα και από αυτήν αρδεύονται μόνο τα 296 στρέμματα. Η γεωργική δραστηριότητα ως προς τη φυτική παραγωγή εντοπίζεται στις πεδινές εκτάσεις στο νοτιοδυτικό και βορειοανατολικό τμήμα του νησιού (Λιβάδι και Βαθύ αντίστοιχα). Η άρδευση γίνεται από ιδιωτικά πηγάδια - γεωτρήσεις, από το φράγμα αλλά και από το δημοτικό δίκτυο ύδρευσης. Η ύπαρξη αρδευτικού νερού έχει ευνοήσει την καλλιέργεια κηπευτικών με παραγωγή προϊόντων (πατάτα, τομάτα, γλυκοπατάτα, μανταρίνια) άριστης

ποιότητας. Η κατανάλωση τους γίνεται στην τοπική αγορά ενώ μικρό μέρος της παραγωγής διοχετεύεται στην Κάλυμνο.

Όσον αφορά την κτηνοτροφία στο νησί υπάρχουν 47 εκμεταλλεύσεις και εκτρέφονται συνολικά 11.062 αιγοπρόβατα σύμφωνα με το μητρώο της Κτηνιατρικής. Τα πρόβατα είναι 3.444 ενώ οι αίγες είναι πολύ περισσότερες και ανέρχονται σε 7.618. Καμία κτηνοτροφική μονάδα στην Αστυπάλαια δεν διαθέτει άδεια λειτουργίας. Λειτουργούν με υποτυπώδεις υποδομές, οι χώροι ενσταυλισμού είναι πρόχειροι και χρησιμοποιούνται κυρίως για τη συγκέντρωση των ζώων. Με αναπτυξιακά προγράμματα περιόδων Α' και Β' ΚΠΣ, υλοποιήθηκε σημαντικός αριθμός επενδυτικών έργων, περιορισμένης κλίμακας, όσον αφορά στο οικονομικό τους μέγεθος, τα οποία όμως συνέβαλαν στη βελτίωση του κλάδου της κτηνοτροφίας, κυρίως σε ότι αφορά στην καλύτερη διαβίωση ανθρώπων και ζώων (ύδρευση) και στην ευκολότερη μετακίνηση. Ειδικότερα, στην Αστυπάλαια και σε παρακείμενες νησίδες εγκαταστάθηκαν 13 μεταλλικές προκατασκευασμένες δεξαμενές χωρητικότητας 50 m<sup>3</sup>, με συλλέκτες όμβριων υδάτων και μία ποτίστρα ανά δεξαμενή. Ο κύριος προσανατολισμός της κτηνοτροφίας του νησιού είναι η παραγωγή κρέατος ενώ η αξιοποίηση του γάλακτος είναι μικρή. Η διατήρηση τόσο μεγάλου αριθμού ζώων χωρίς να γίνεται σωστή εκμετάλλευση του κοπαδιού οφείλεται στη χορήγηση των οικονομικών ενισχύσεων από την Ε.Ε με τη μορφή που δίνονται μέχρι σήμερα. Το σύστημα θα αλλάξει με την εφαρμογή της νέας ΚΑΠ 2014 – 2020 και είναι απαραίτητη η προσαρμογή των κτηνοτρόφων στα νέα δεδομένα.

Το μέλι της Αστυπάλαιας είναι γνωστό από την αρχαιότητα. Στο νησί δραστηριοποιούνται 49 μελισσοκόμοι με συνολικό αριθμό κυψελών 2.989 σύμφωνα με το μητρώο μελισσοκομικών εκμεταλλεύσεων της Διεύθυνσης Αγροτικής Οικονομίας. Από τα στοιχεία παρατηρείται ότι η πλειοψηφία των μελισσοκόμων διατηρεί μικρό αριθμό κυψελών και στοχεύει στην απόκτηση συμπληρωματικού εισοδήματος. Στο νησί δραστηριοποιούνται 41 επαγγελματίες αλιείς και 21 επαγγελματικά αλιευτικά σκάφη παράκτιας αλιείας, μικρού μεγέθους και περιορισμένων αλιευτικών δυνατοτήτων.

- *Δευτερογενής Τομέας:*

Στην Αστυπάλαια ο δευτερογενής τομέας περιορίζεται, σε πέντε μόνο βιοτεχνικά καταστήματα ειδών διατροφής, ποτών και επεξεργασίας ξύλου. Στον όρμο του Αγίου Ανδρέα υπάρχει λατομείο αδρανών υλικών. Τα δημοτικά σφαγεία λειτουργούν στο νοτιοανατολικό άκρο του οικισμού της Αστυπάλαιας, κοντά στο Ακρωτήριο Σπάθα, κάτω από κακές συνθήκες. Υπάρχει ήδη πρόταση για την απομάκρυνση τους και την κατασκευή νέων στην θέση Παλιόμυλος. Δυνατότητες ανάπτυξης του δευτερογενούς τομέα υπάρχουν κυρίως σε συνδυασμό με την αξιολογη παραγωγή μελιού της Αστυπάλαιας και την κτηνοτροφία και θα πρέπει να μελετηθεί η δυνατότητα δημιουργίας μονάδων επεξεργασίας συσκευασίας γαλακτοκομικών, κτηνοτροφικών και μελισσοκομικών προϊόντων.

- *Τριτογενής Τομέας:*



Ο Τριτογενής τομέας είναι ο πιο αναπτυγμένος στο νησί με τον τουρισμό και το εμπόριο να κατέχουν εξέχουσα θέση. Η τουριστική υποδομή είναι αναπτυγμένη στους 4 οικισμούς της Αστυπάλαιας. Η Μαλτεζάνα ή Ανάλψη χαρακτηρίζεται ως θέρετρο με τη μεγαλύτερη τουριστική κίνηση. Εκεί βρίσκονται τα περισσότερα τουριστικά καταλύματα (ξενοδοχεία, ξενώνες, ενοικιαζόμενα δωμάτια κ.λπ.), ταβέρνες και άλλα καταστήματα που εξυπηρετούν τους τουρίστες. Τουριστικά καταλύματα υπάρχουν επίσης στη Χώρα, στο Λιβάδι και στο Βαθύ. Η εστίαση των επισκεπτών γίνεται είτε στα καταλύματα και ξενοδοχεία της περιοχής ή στα εστιατόρια. Στο νησί δραστηριοποιούνται 64 επιχειρήσεις εστίασης σύμφωνα με τα στοιχεία του μητρώου επιχειρήσεων της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας.

## 2.6 Ενεργειακό μείγμα Αστυπάλαιας

Η Αστυπάλαια είναι ένα από τα μη συνδεδεμένα νησιά των Δωδεκανήσων στο κύριο ηλεκτρικό σύστημα της ηπειρωτικής χώρας. Τα μη συνδεδεμένα νησιά χρησιμοποιούν αυτονόμους πετρελαϊκούς σταθμούς (ντίζελ και μαζούτ) χαμηλής απόδοσης που έχουν εγκατασταθεί από τις δεκαετίες του '60 και του '70, με αποτέλεσμα για την κάλυψη της ζήτησης τους θερινούς μήνες οι τοπικοί σταθμοί παραγωγής να λειτουργούν στα όριά τους. Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι το υψηλό κόστος της ενέργειας στα νησιά αυτά σε σχέση με το αντίστοιχο στην ηπειρωτική χώρα (Πίνακας 2.1). Το μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των αυτόνομων πετρελαϊκών σταθμών τον Αύγουστο του 2017, σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της ΔΕΔΔΗΕ, διαμορφώθηκε στα 336,96 €/MWh, δηλαδή περίπου επτά φορές πάνω από την οριακή τιμή του ηπειρωτικού συστήματος, που κυμάνθηκε γύρω στα 50 €/MWh.

Νησί	Μέσο κόστος παραγωγής (€/MWh)
Αστυπάλαια	286,06
Ανάφη	390,2
Αντικύθηρα	945,72
Ικαρία	379,83
Σύμη	245,12
Ρόδος	173,77
Μήλος	146,20
Πάρος	114,49

**Πίνακας 2.1:** Μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας για μη συνδεδεμένα νησιά (Πηγή: ΔΕΔΔΗΕ, 2016)

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται από πετρελαϊκούς σταθμούς της ΔΕΗ που λειτουργούν με την καύση πετρελαίου diesel. Στο νησί υπάρχουν 7 σταθερές μονάδες για την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και λειτουργούν με την καύση πετρελαίου. Παρακάτω παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.2 τα χαρακτηριστικά των εγκατεστημένων θερμικών μονάδων, ο τύπος του καυστήρα, η ονομαστική καθώς και η αποδιδόμενη ισχύς.

	Τύπος Μηχανής	Καύσιμο	Ονομ.Ισχύς (kW)	Αποδιδ.Ισχύς (kW)
1	STORK ABR-216S	Πετρέλαιο	208	150
2	STORK ABR-216S	Πετρέλαιο	208	150
3	STORK ABR-216S	Πετρέλαιο	208	150
4	STORK ABR-216S	Πετρέλαιο	208	150
5	MITSUBISHI S16R-PTA	Πετρέλαιο	1275	1100
6	MITSUBISHI S16R-PTA	Πετρέλαιο	1275	1100
7	MITSUBISHI S16R-PTA	Πετρέλαιο	1275	1100
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>4657</b>	<b>3900</b>

**Πίνακας 2.2:** Χαρακτηριστικά εγκατεστημένων θερμικών μονάδων

Στο νησί η ονομαστική εγκατεστημένη ισχύ είναι 4,66 MW και η αποδιδόμενη ισχύς είναι 3,9 MW. Συγκεκριμένα το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από 4 μηχανές τύπου Stork ABR-216S ονομαστικής ισχύς η καθεμία 208 kW και 3 μηχανές τύπου Mitsubishi S16R-PTA ονομαστικής ισχύς 1.275 kW..

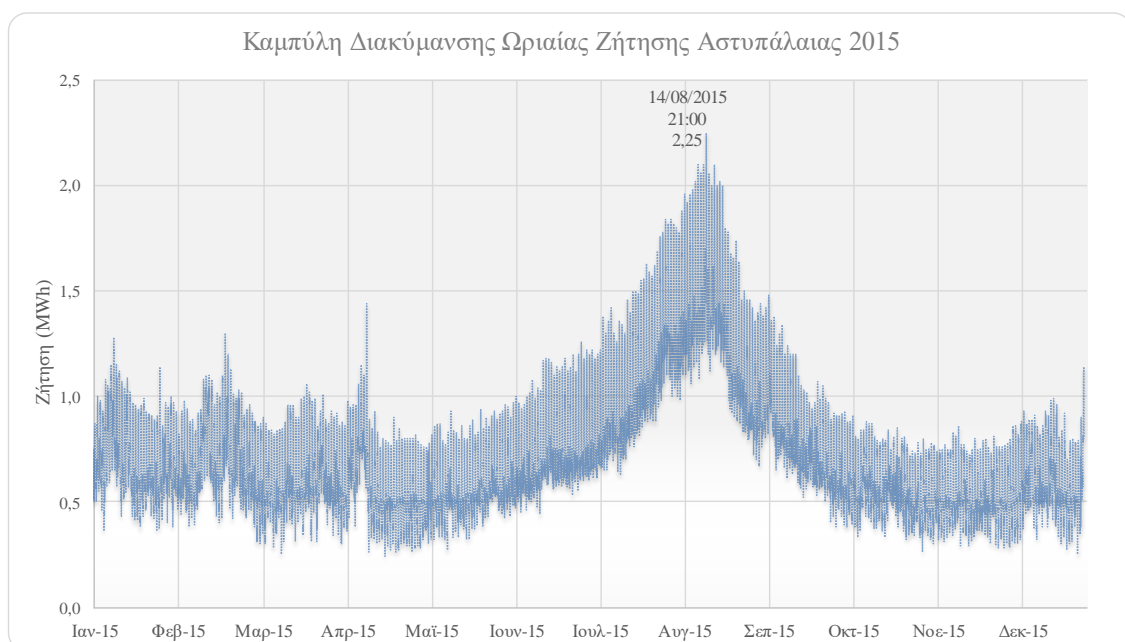
Συμφώνα με στοιχεία της ΔΕΗ για τα έτη 2014 και 2015 η μέση τιμή της αιχμής ζήτησης είναι 2,24 MWh και η μέση τιμή της ετήσιας κατανάλωση ενέργειας είναι 6,25 GWh. Τα αναλυτικά στοιχεία για τα δυο έτη παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3.

	Αιχμή Ζήτησης (MWh)	Ετήσια Κατανάλωση (GWh)
2014	2,22	6,19
2015	2,25	6,33

**Πίνακας 2.3:** Δεδομένα ζήτησης ενέργειας για τα έτη 2014 και 2015

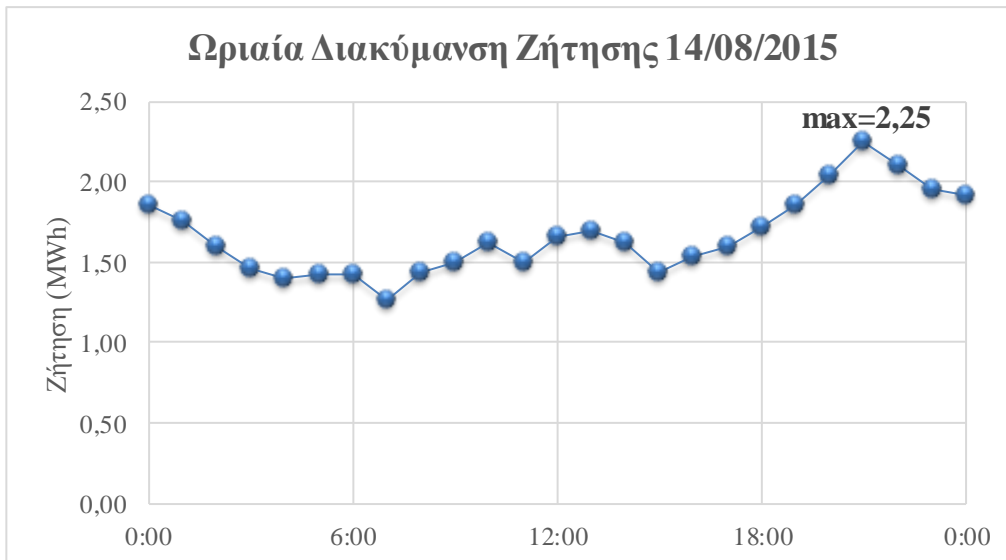
Η Αστυπάλαια είναι ένα νησί με πληθυσμό μόλις 1.334 κατοίκους. Η ζήτηση στο νησί είναι κυρίως για οικιακή χρήση και για τις επιχειρήσεις τουρισμού που αναπτύσσονται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Το νησί αποτελεί δημοφιλή τουριστικό προορισμό με 20.000 τουρίστες ετησίως, με αποτέλεσμα την αυξημένη ζήτηση ενέργειας τους καλοκαιρινούς μήνες.

Πιο αναλυτικά θα χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία για την ζήτηση ενέργειας της Αστυπάλαιας για το 2015, σκοπός είναι να παρατηρηθεί η διακύμανση της ζήτησης κατά τη διάρκεια του έτους, την μηνιαία μεταβολή καθώς και τις μέρες με την μέγιστη και την ελάχιστη ζήτηση (Διάγραμμα 2.1).

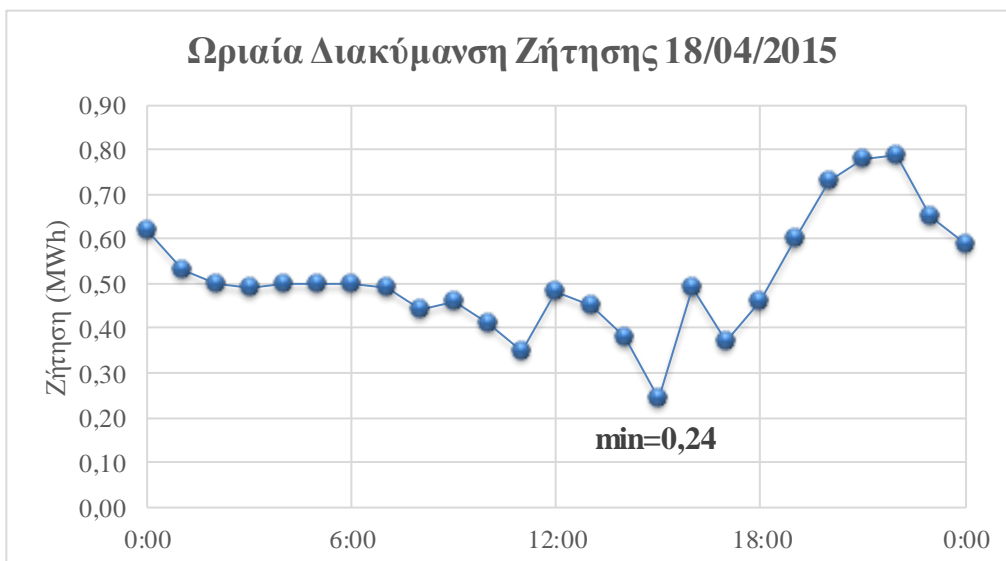


**Διάγραμμα 2.1:** Καμπύλη διακύμανσης ωριαίας ζήτησης ενέργειας στην Αστυπάλαια για το έτος 2015

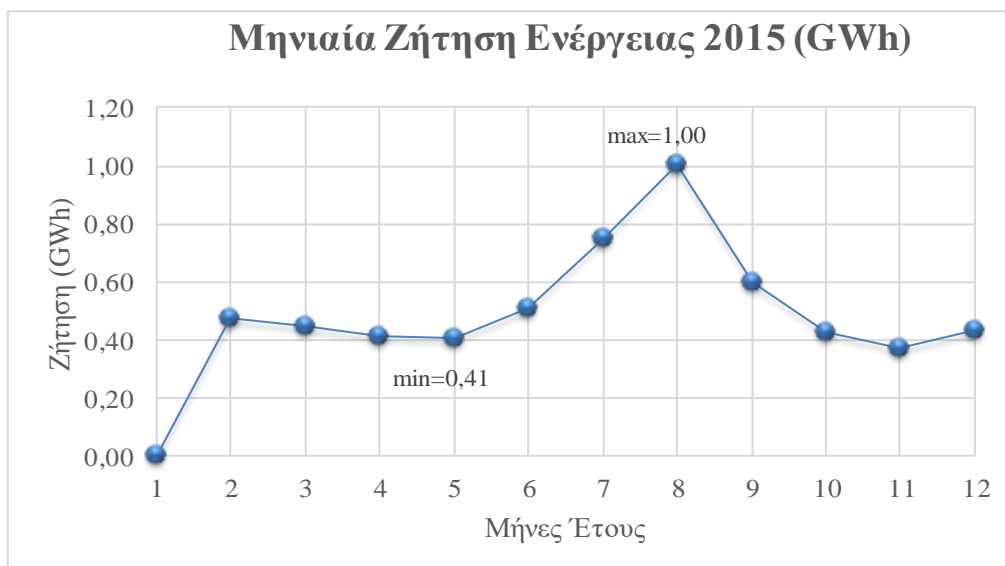
Από το παραπάνω διάγραμμα ωριαίας ζήτησης του νησιού για το έτος 2015 παρατηρείται όπως ήταν αναμενόμενο αυξημένη ζήτηση τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η ενεργειακή ζήτηση φτάνει την αιχμή της 2,25 MWh την 14<sup>η</sup> του Αυγούστου και ώρα 9 μμ, παραμονή του εορτασμού της Κοίμησης της Θεοτόκου, έτσι λόγω των παραδοσιακών εορτασμών και της αυξημένης τουριστικής κίνησης, η ζήτηση έφτασε την μέγιστη τιμή της (Διάγραμμα 2.2). Επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζει η ελάχιστη ωριαία τιμή της ζήτησης που παρουσιάστηκε την 18<sup>η</sup> Απριλίου στις 3 μμ και έφτασε την τιμή 0,24 MWh (Διάγραμμα 2.3).



**Διάγραμμα 2.2:** Ωριαία διακύμανση ζήτησης ενέργειας την μέρα με την μεγίστη ζήτηση



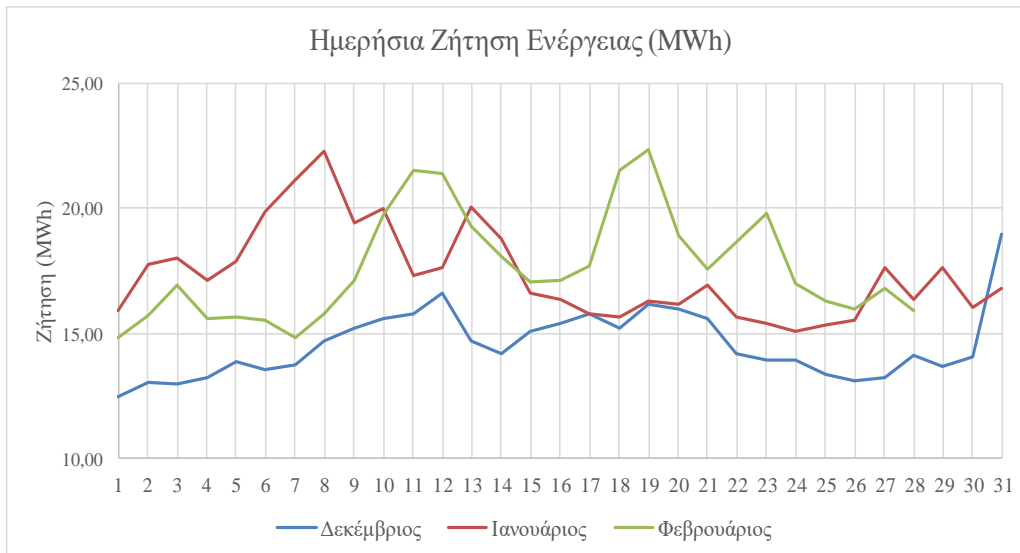
**Διάγραμμα 2.3:** Ωριαία διακύμανση ζήτησης ενέργειας την μέρα με την ελάχιστη ζήτηση



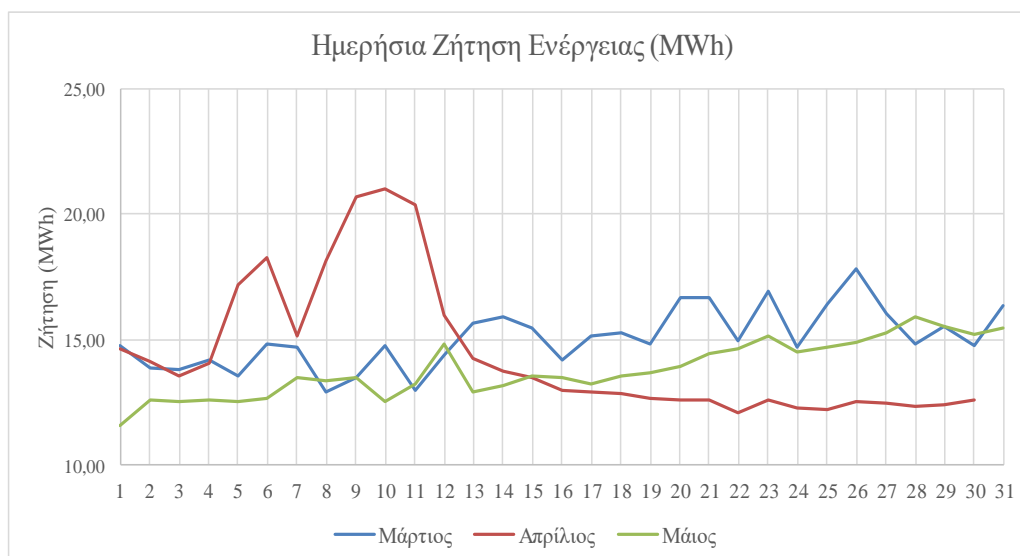
**Διάγραμμα 2.4:** Διακύμανση μηνιαίας ζήτησης ενέργειας

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται, ξεκινώντας από τον Ιανουάριο, η ζήτηση παρουσιάζει φθίνουσα πορεία μέχρι τον Μάιο όπου φτάνει την ελαχίστη τιμή της 0,41 GWh. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί στην μείωση χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση κατά τη διάρκεια αυτού του διαστήματος. Από τον Μάιο μέχρι τον Αύγουστο η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας έχει αύξουσα πορεία μέχρι που φτάνει την αιχμή της κατανάλωσης ενέργειας 1,00 GWh. Αναμενόμενη η αύξηση της ζήτησης αυτό το διάστημα καθώς τον Ιούνιο αρχίζει η τουριστική περίοδος, τομέα ιδιαίτερα ανεπτυγμένο στο νησί και σημαντικό παράγοντα της οικονομίας του νησιού. Τον Σεπτέμβριο η ζήτηση από 1,00 GWh μειώθηκε στην τιμή 0,60 GWh δηλαδή η κατανάλωση μειώθηκε σχεδόν στο μισό, αυτό δικαιολογείται στο γεγονός ότι ο Αύγουστος είναι ο μήνας αιχμής για τον τουρισμό του νησιού. Μέχρι τον Νοέμβριο η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται ,επειδή τον Σεπτέμβριο αποχώρησαν και οι τελευταίοι τουρίστες και η ζήτηση ενέργειας για κλιματισμό μειώθηκε. Τέλος, τον Δεκέμβριο η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται στην τιμή 0,43 GWh, καθώς η ηλεκτρική ενεργεία για θέρμανση είναι απαραίτητη.

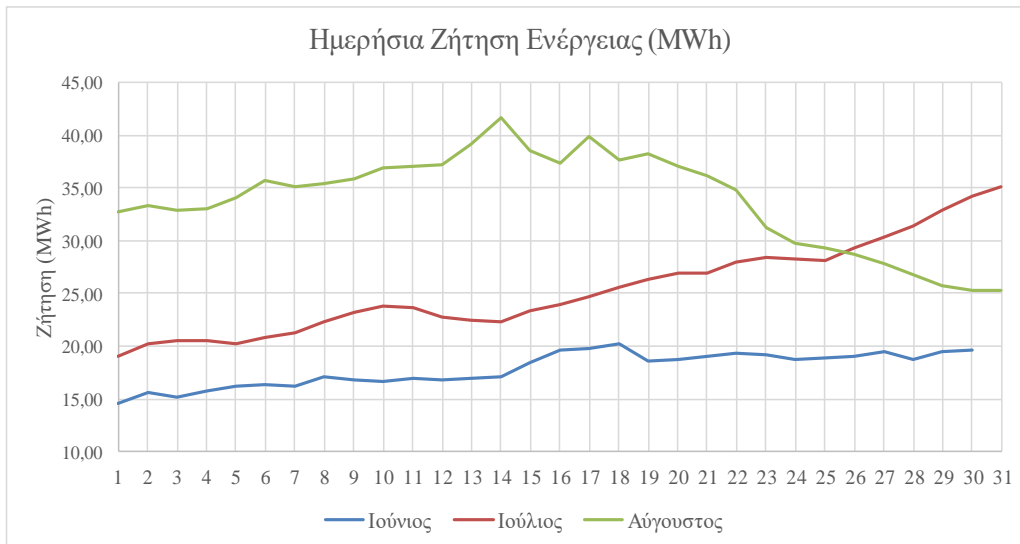
Επιπλέον παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ημερήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μήνα, χωρισμένα για κάθε εποχιακή περίοδο του έτους (Διάγραμμα 2.5,2.6,2.7,2.8).



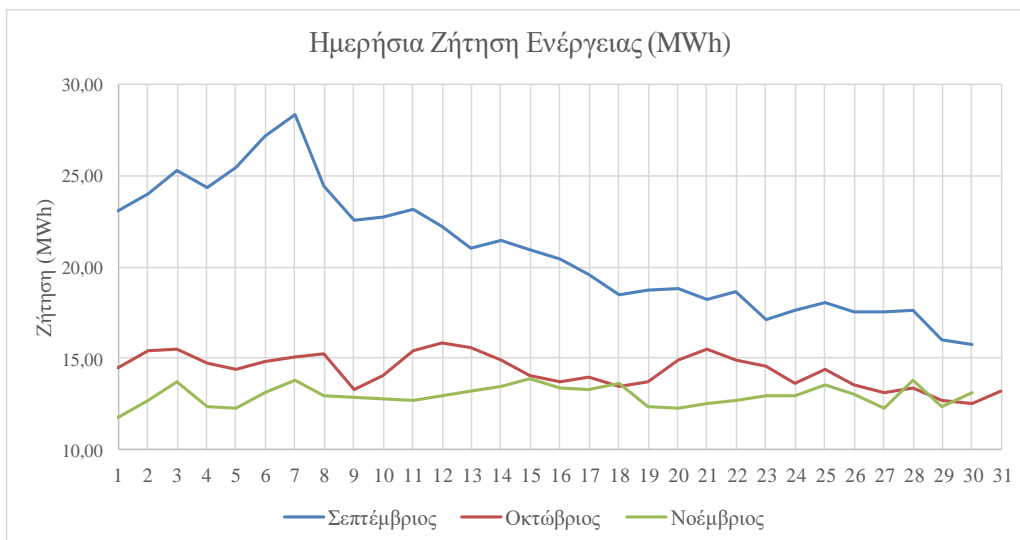
**Διάγραμμα 2.5:** Διακύμανση ημερήσιας ζήτησης ενέργειας για τους μήνες του Χειμώνα



**Διάγραμμα 2.6:** Διακύμανση ημερήσιας ζήτησης ενέργειας για τους μήνες της Άνοιξης



**Διάγραμμα 2.7:** Διακύμανση ημερήσιας ζήτησης ενέργειας για τους μήνες του Καλοκαιριού



**Διάγραμμα 2.8:** Διακύμανση ημερήσιας ζήτησης ενέργειας για τους μήνες του Φθινοπώρου





### **3. Διερεύνηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Αστυπάλαια**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό θα διερευνηθούν όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που εξαρτώνται από τον καιρό (weather related), συγκεκριμένα η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η κυματική ενέργεια. Επίσης θα εξεταστεί κατά πόσο θα μπορούσε να συμβάλλει η ενέργεια από γεωθερμία στο ενεργειακό μείγμα, καθώς το νησί της Αστυπάλαιας βρίσκεται στο ηφαιστειακά ενεργό τόξο του Αιγαίου Πελάγους. Θα παρουσιαστούν γενικές πληροφορίες για τις παραπάνω ανανεώσιμες πηγές, καθώς και στοιχεία αξιοποίησης τους σε ελληνικό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο. Συγκεκριμένα με βάση τις ενεργειακές απαιτήσεις του νησιού, τα μετεωρολογικά δεδομένα και αναπτύσσοντας τις απαραίτητες ωριαίες χρονοσειρές της ταχύτητας του ανέμου, της ηλιακής ακτινοβολίας και του ύψους κύματος, θα εκτιμηθεί για κάθε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η προσεγγιστική ενέργεια που θα μπορούσε να παραχθεί. Για κάθε πηγή ενέργειας θα υπολογιστεί η κατάλληλη ισχύς της κάθε εγκατάστασης και άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά, θεωρώντας τους κατάλληλους συντελεστές λειτουργίας και έχοντας υπόψη την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού.

#### **3.2 Αιολική Ενέργεια**

##### **3.2.1 Γενικά**

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται ήπια μορφή ενέργειας και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στην ξηρά. Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το καύσιμο είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης αιολικής ενέργειας είναι:

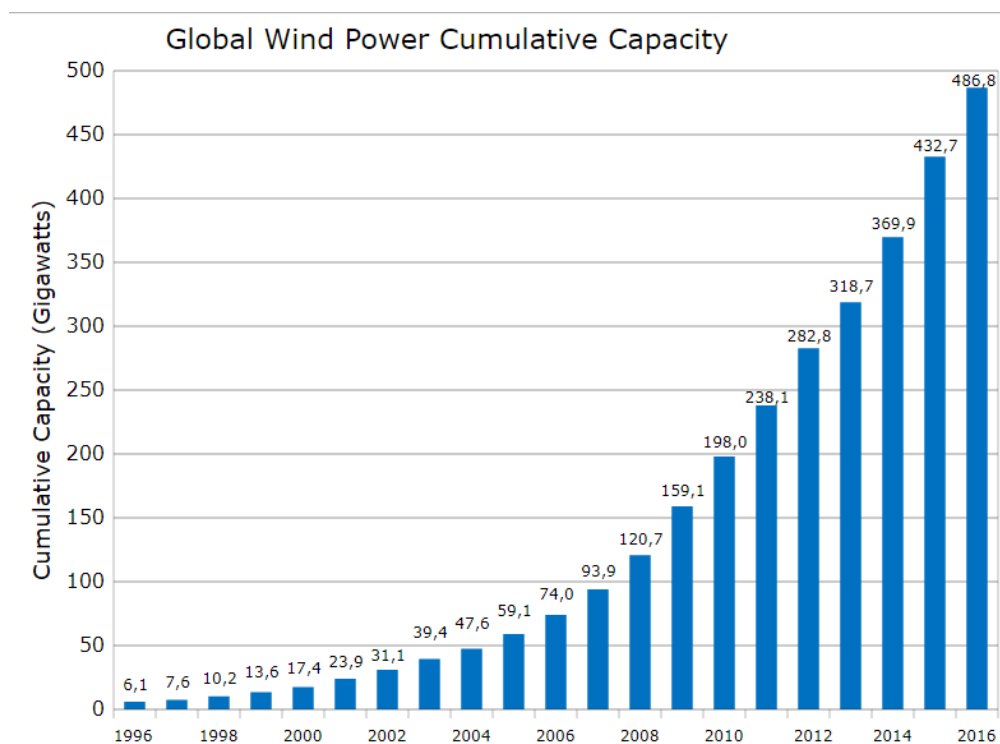
- αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ταυτόχρονη εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων, χαμηλό λειτουργικό κόστος και χαμηλές απώλειες του συστήματος παραγωγής ενέργειας
- σημαντικός περιορισμός της ρύπανσης του περιβάλλοντος, αφού έχει υπολογισθεί ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού μιας μόνο ανεμογεννήτριας ισχύος 550 kW σε ένα χρόνο, υποκαθιστά την ενέργεια που παράγεται από την καύση 2.700 βαρελιών πετρελαίου,

δηλαδή αποτροπή της εκπομπής 735 περίπου τόνων CO<sub>2</sub> ετησίως καθώς και 2 τόνων άλλων ρύπων

- η δημιουργία πολλών νέων θέσεων εργασίας

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της χρήσης ανεμογεννητριών είναι η απρόβλεπτη και έντονη διακύμανση, καθώς εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες της περιοχής. Ακόμα ο εκπεμπόμενος θόρυβος και η οπτική όχληση αποτελούν σημαντικά μειονεκτήματα, το πρώτο έχει βελτιωθεί πολύ τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της τεχνολογίας στον τομέα των ανεμογεννητριών, ενώ το δεύτερο αποτελεί αρκετά υποκειμενικό κριτήριο και θέμα αισθητικής. Τέλος, η ενδεχόμενη πρόσκρουση πουλιών στις ανεμογεννήτριες καλό είναι να λαμβάνεται υπόψη, όταν πρόκειται για την εγκατάσταση αιολικών μηχανών σε προστατευόμενες περιοχές, που μπορεί βεβαίως να αποφευχθεί με κατάλληλα συστήματα υπερέχων.

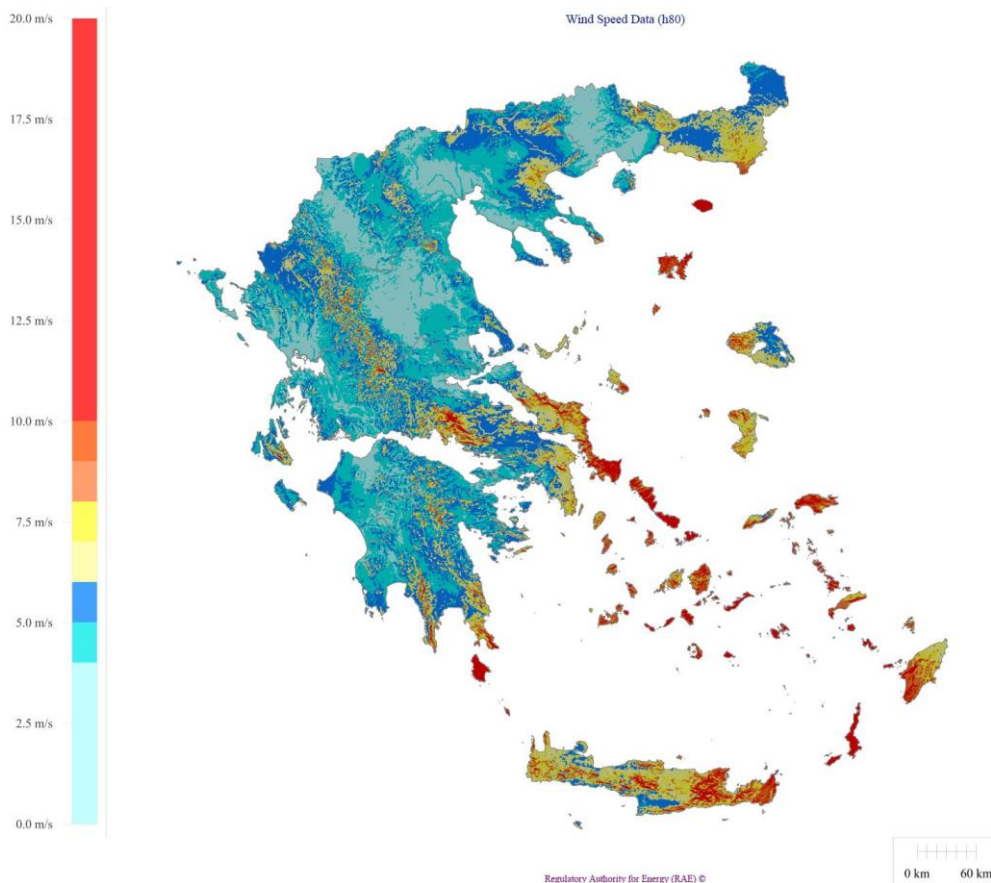
Βεβαία τα παραπάνω μειονεκτήματα δεν αποτελούν εμπόδιο της χρήσης αιολικής ενέργειας, καθώς σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά και στην Ελλάδα η κατασκευή αιολικών πάρκων όλο και αυξάνεται σε σημαντικό ποσοστό ετησίως (Εικόνα 3.1).



**Εικόνα 3.1:** Παγκόσμια ετήσια εγκατεστημένη αιολική ισχύς  
(Πηγή: Global Wind Energy Council, 2016)

### 3.2.2 Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες παρουσιάζει αύξουσα πορεία τα τελευταία χρόνια, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι μια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή και τεράστιο πλήθος νησιών, επομένως το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό έχει δυνατότητα να καλύψει σημαντικό ποσοστό της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 3.2).



**Εικόνα 3.2:** Χάρτης αιολικού δυναμικού Ελλάδας  
(Πηγή: Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας)

Το πρώτο αιολικό πάρκο στην Ελλάδα κατασκευάστηκε στο μη συνδεδεμένο νησί της Κύθνου το 1982 και θεωρείται ότι αποτελεί το πρώτο στην Ευρώπη. Στο πάρκο αυτό κατασκευάστηκαν 5 ανεμογεννήτριες των 20 kW η καθεμία, επίσης αργότερα συνδέθηκε φωτοβολταϊκό πάρκο 100 kW, το σύστημα αυτό (πετρέλαιο, αιολική και ηλιακή) αποτέλεσε ένα από τα πρώτα υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο.

Σύμφωνα με στοιχεία της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας για το έτος 2016, η συνολική καθαρή αιολική ισχύς που εγκαταστάθηκε ήταν 238,55 MW, που αποτελεί την δεύτερη καλύτερη επίδοση μετά το 2011 όπου είχαν εγκατασταθεί 311 MW. Το

σύνολο της αιολικής ισχύος κατά τα τέλη του 2016 που βρισκόταν σε εμπορική ή δοκιμαστική λειτουργία ήταν 2374,3 MW αυξημένη κατά 11,2% σε σχέση με 2015.

Η παραπάνω ισχύς κατανέμεται ως εξής:

- Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά : 321,2 MW ( 13,53%)
- Στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα: 2053,1 MW (86,47%)



**Εικόνα 3.3:** Συνολική ετήσια αιολική ισχύς στην Ελλάδα  
(Πηγή: Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας, 2016)

Σε επίπεδο Περιφερειών η Στερεά Ελλάδα παραμένει στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων αφού φιλοξενεί 736,7 MW (31%) και ακολουθεί η Πελοπόννησος με 453,9 MW (19,1%) και η Ανατολική Μακεδονία – Θράκη όπου βρίσκονται 298,65 MW (12,6%).

### 3.2.3 Ανεμογεννήτριες

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας πραγματοποιείται μέσω των ανεμογεννητριών, που εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια του ανέμου και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε 2 κύριες κατηγορίες:

- *Οριζοντίου άξονα:* Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου έχουν τοποθετημένους τον ρότορα του άξονα και την ηλεκτρική γεννήτρια στην κορυφή ενός πύργου, στραμμένους προς την κατεύθυνση του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται σε αιολικά

πάρκα για την εμπορική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται συνήθως από τρία περύγια. Αυτή η διάταξη έχει χαμηλή κυμάτωση ροπής, η οποία συμβάλλει στην καλή αξιοπιστία. Αποτελούν τη συνηθέστερη μορφή λόγω καλύτερης απόδοσης (Εικόνα 3.5).

- *Κατακόρυφου άξονα:* Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα έχουν τοποθετημένο το ρότορα κάθετα στο έδαφος. Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου είναι πως η γεννήτρια δε χρειάζεται να είναι στραμμένη προς την κατεύθυνση του ανέμου για να είναι παραγωγική, οπότε είναι πιο αποδοτική σε περιοχές με μεταβλητούς ανέμους, αφού περιστρέφονται κατά 360°. Ωστόσο, το βασικό μειονέκτημα αυτών των ανεμογεννητριών είναι ότι παράγουν πολύ λιγότερη ενέργεια κατά μέσο όρο με την πάροδο του χρόνου (Εικόνα 3.4).



**Εικόνα 3.4:** Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα  
(Πηγή: powermag.com)



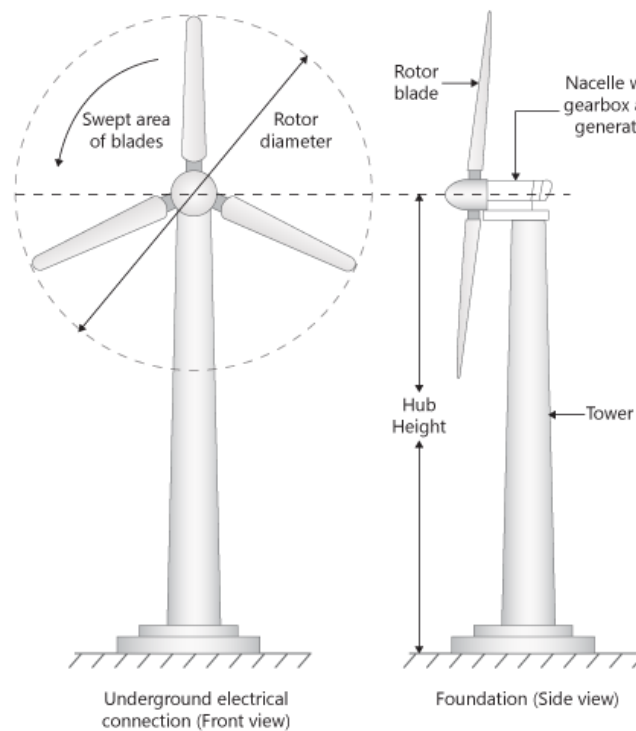
**Εικόνα 3.5:** Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα  
(Πηγή: sciencing.com)

Οι συμβατικές ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα μπορούν να χωριστούν σε τρία βασικά τμήματα:

- Ο ρότορας, ο οποίος αποτελεί περίπου το 20% του κόστους της ανεμογεννήτριας, και περιλαμβάνει τις λεπίδες οι οποίες μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε χαμηλής ταχύτητας κινητική.
- Η ανεμογεννήτρια, η οποία αποτελεί περίπου το 34% του κόστους. Περιλαμβάνει τη γεννήτρια, τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, και (συνήθως) το κιβώτιο ταχυτήτων τη διευθυντήρια οδηγό ταχύτητας ή τη συνεχώς μεταβαλλόμενη μετάδοση, οι οποίες μετατρέπουν τη χαμηλή ταχύτητα περιστροφής σε υψηλή, ώστε να παραχθεί ενέργεια.

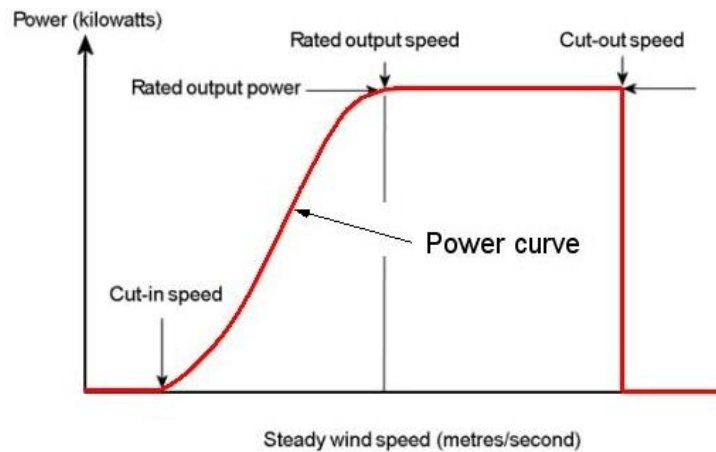
- Ο πύργος υποστήριξης, ο οποίος αποτελεί περίπου το 15% του κόστους και περιλαμβάνει τον πύργο και το μηχανισμό εκτροπής στροφών.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως για τα πτερύγια των ανεμογεννητριών είναι σύνθετα, καθώς τείνουν να έχουν υψηλή ακαμψία, υψηλή αντοχή, υψηλή αντίσταση κόπωσης και χαμηλό βάρος. Χρησιμοποιούνται ρητίνες για την κατασκευή των εξαρτημάτων, συνήθως πολυεστέρα και εποξίνη, ενώ για την ενίσχυση χρησιμοποιείται γυάλινες ίνες και ίνες άνθρακα.



**Εικόνα 3.6:** Τυπικό σύστημα ανεμογεννήτριας  
(Πηγή: Renewable Energy Engineering, Knowledge flow)

Ακόμη πολύ σημαντική για μια ανεμογεννήτρια είναι η καμπύλη ισχύος της, η καμπύλη αυτή μας δείχνει τη σχέση μεταξύ της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου. Η καμπύλη ισχύος παρέχεται από τον κατασκευαστή και συνήθως εκτιμάται εμπειρικά από μετρήσεις πεδίου (Εικόνα 3.7).



**Εικόνα 3.7:** Τυπική καμπύλη ισχύος  
(Πηγή: wind-power-program.com)

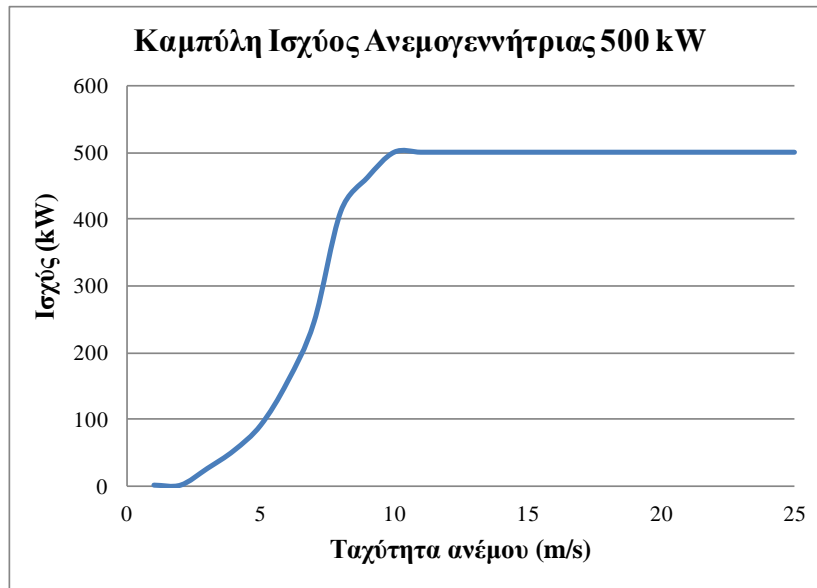
Στην καμπύλη αυτή ξεχωρίζουν 3 διαφορετικές ταχύτητες:

- Ταχύτητα εισόδου (cut-in-speed), όπου ξεκίνα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ονομαστική ταχύτητα (rated output speed), όπου παράγεται η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας.
- Ταχύτητα εξόδου (cut-out-speed), όπου διακόπτεται η λειτουργία της ανεμογεννήτριας για λόγους ασφαλείας.

Τέλος, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της καμπύλης ισχύος ο συντελεστής ισχύος  $C$ , που υπολογίζεται από το πηλίκο της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την εισερχόμενη ενέργεια του ανέμου. Ουσιαστικά είναι ο αεροδυναμικός βαθμός απόδοσης πτερωτής και έχει μέγιστο όριο την τιμή  $C = 0,593$  (όριο Betz, 1919). Πρακτικά στην περίπτωση καλού σχεδιασμού ο συντελεστής κυμαίνεται στο 0.35.

### **3.2.4 Επιλογή Ανεμογεννήτριας για την Αστυπάλαια**

Η Αστυπάλαια ως νησί των Δωδεκανήσων παρουσιάζει σημαντικό αιολικό δυναμικό, όπως φαίνεται και από τον χάρτη αιολικού δυναμικού της Ελλάδας παραπάνω. Επομένως η εγκατάσταση ανεμογεννητριών θα είχε σημαντική συμβολή στην μείωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύση πετρελαίου. Λαμβάνοντας υπόψη τα ιστορικά στοιχεία που έχουμε για την ζήτηση ενέργειας του νησιού, επιλέχτηκε μοντέλο ανεμογεννήτριας με ονομαστική ισχύος  $500 \text{ kW}$  με ύψος  $75 \text{ m}$  και διάμετρο  $54 \text{ m}$ . Η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 3.1.



**Διάγραμμα 3.1:** Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 500 kW

Τα χαρακτηριστικά σημεία της παραπάνω καμπύλης ισχύος είναι :

- Ταχύτητα εισόδου (cut-in speed) = 2,5 m/s
- Ονομαστική ταχύτητα (rated speed) = 10 m/s
- Ταχύτητα εξόδου (cut-out speed) = 25 m/s

Έχοντας την επεξεργασμένη χρονοσειρά 100 χρόνων για τη την ταχύτητα του ανέμου και σύμφωνα με την καμπύλη ισχύος της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας, υπολογίζεται η τιμή της ενέργειας που παράγεται για κάθε τιμή της ταχύτητας του ανέμου. Αρχικά θα πρέπει να γίνει μετατροπή της ταχύτητα ανέμου στο ύψος της ανεμογεννήτριας, καθώς οι τιμές της χρονοσειράς αντιστοιχούν σε ύψος  $z_1 = 6$  m από το έδαφος.

Προκειμένου να προσαρμοστούν έγινε μετατροπή των τιμών της ταχύτητας ανέμου σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο (πηγή: Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος Θ., 1999).

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}}$$

Όπου :  $u_2$  η ταχύτητα ανέμου στο ύψος  $z_2 = 75$  m

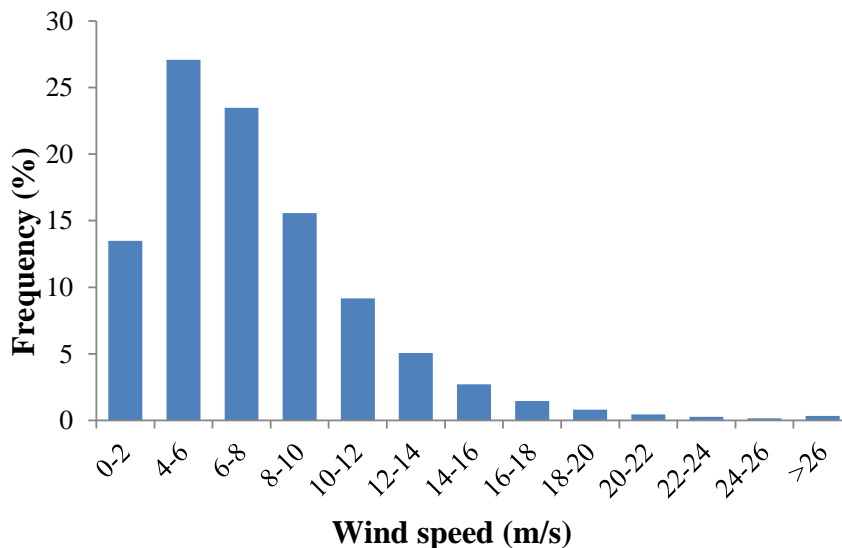
$u_1$  η ταχύτητα ανέμου στο ύψος  $z_1 = 6$  m

$z_0$  παράμετρος τραχύτητας που εξαρτάται από την επιφάνεια του εδάφους

Για την περίπτωση της περιοχής μελέτης επιλέχθηκε παράμετρος τραχύτητας  $z_0 = 0,02$  m για χλόη ύψους από 1 - 10 cm.



Τελικώς, μετατρέποντας τη χρονοσειρά ανέμου σύμφωνα με τα παραπάνω, βρίσκονται οι πραγματικές ταχύτητες ανέμου στο ύψος της ανεμογεννήτριας σε ύψος 75 m (Διάγραμμα 3.2) και έτσι γίνεται ο υπολογισμός της ηλεκτρικής ενέργειας που αποδίδει η ανεμογεννήτρια για κάθε τιμή της ταχύτητας ανέμου. Η μέση τιμή της ετήσιας ηλεκτρικής παραγωγής μίας ανεμογεννήτριας υπολογίστηκε στις 2.233 MWh.



Διάγραμμα 3.2: Ιστόγραμμα συχνοτήτων ταχύτητας ανέμου σε ύψος 75 m.

### 3.3 Ηλιακή Ενέργεια

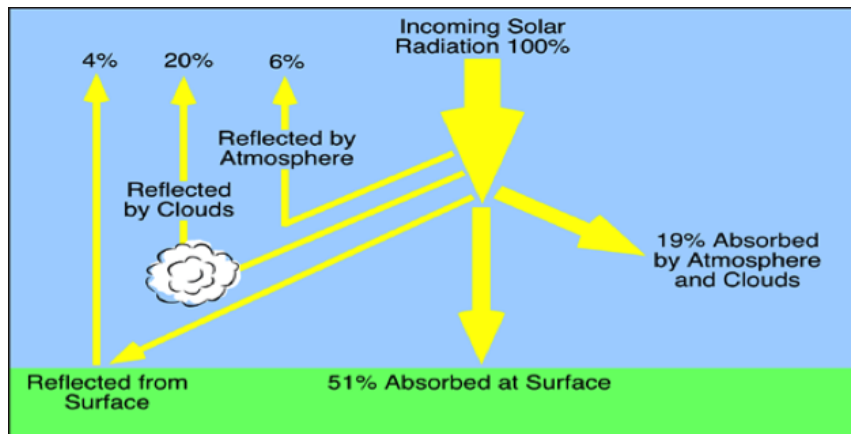
#### 3.3.1 Ηλιακή Ακτινοβολία

Με το όρο ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζουμε το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Το φως και η θερμότητα που ακτινοβολούνται, απορροφούνται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια προέρχεται από θερμοπυρηνικές αντιδράσεις (σύντηξη ατόμων υδρογόνου σε ήλιο) που γίνονται στον πυρήνα του ηλίου. Η ενέργεια μεταφέρεται στην επιφάνεια με ακτινοβολία ή με κατακόρυφη μεταφορά του υδρογόνου. Το σημαντικότερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας φθάνει στην επιφάνεια της γης ως δέσμη των ακτινών που προέρχονται απευθείας από τον ήλιο και ονομάζεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Ταυτόχρονα ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται από την ατμόσφαιρα και φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους ως διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Ένα μέρος αυτής της ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος ανακλάται και ονομάζεται ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία και ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από αυτή (Εικόνα 3.8).

Το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας αποτελεί την ολική ακτινοβολία και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως:

- την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα

- το ύψος του ήλιου
- την απόσταση του ήλιου
- το υψόμετρο της θέσης
- την κλίση της επιφάνειας
- τον συντελεστή ανάκλασης του εδάφους
- την νέφωση
- την σύνθεση των σωματιδίων και αερίων της ατμόσφαιρας



**Εικόνα 3.8:** Τροποποίηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας  
( Πηγή: Pidwirny M., 2006)

### 3.3.2 Αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών:

- **Παθητικά ηλιακά συστήματα:** Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται από δομικά στοιχεία, κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα μεταξύ τους, ώστε να υποβοηθούν την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων ή για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσα σε αυτά. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν την αρχή της Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής και μπορούν να εφαρμοσθούν σε όλους σχεδόν τους τύπους κτιρίων.
- **Ενεργητικά ηλιακά συστήματα:** Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες, οι οποίοι απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια, τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε κάποιο ρευστό, όπως το νερό για παράδειγμα. Η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται μέσω ηλιακών συλλεκτών, σκουρόχρωμων δηλαδή επιφανειών καλά προσανατολισμένων στον ήλιο, οι οποίες βρίσκονται σε επαφή με

νερό και του μεταδίδουν μέρος της θερμότητας που παρέλαβαν. Το παραγόμενο ζεστό νερό χρησιμοποιείται για απλή οικιακή ή πιο σύνθετη βιομηχανική χρήση.

- **Φωτοβολταϊκά συστήματα:** Πρόκειται για συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Στην ουσία πρόκειται για τεχνητούς ημιαγωγούς (συνήθως από πυρίτιο) οι οποίοι ενώνονται με σκοπό να δημιουργήσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα σε σειρά. Οι ημιαγωγοί αυτοί απορροφούν φωτόνια από την ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν μια ηλεκτρική τάση. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της ηλιακής ενέργειας λοιπόν χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκά συστήματα, που αποτελούνται από ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη δημιουργία της ηλεκτρικής ενέργειας. Η λειτουργία τους βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το οποίο αναφέρει ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν συγκεκριμένες κατασκευές εκτεθούν στο φως. Το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι το 25% της ενέργειας που δέχεται, όμως συνήθως το ποσοστό είναι λιγότερο από 15%. Το παραπάνω συμβαίνει διότι το ηλιακό φως που πέφτει στο στοιχείο μεταφέρει διαφορετικά επίπεδα ενέργειας και κάποια από αυτά δεν έχουν αρκετή ενέργεια για να μπορέσουν να ελευθερώσουν ηλεκτρόνια.

Ανάλογα για το σκοπό που χρησιμοποιούνται, τα φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- **Αυτόνομα:** Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητη η αποθήκευση της ενέργειας σε μπαταρίες και η εγκατάσταση μετατροπέα του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Είναι ιδανικά για εξοχικές κατοικίες απομακρυσμένες από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο:** Η παραγόμενη ενέργεια πωλείται στο δίκτυο. Δεν χρειάζεται η αποθήκευση της ενέργειας σε μπαταρίες, απαιτείται όμως η εγκατάσταση μετατροπέα.

### 3.3.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός μικρού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Συνήθως τα ηλιακά στοιχεία σε μια βασική μονάδα συνδέονται μεταξύ τους σε μια βασική σειρά. Αυτό οφείλεται στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κάθε ηλιακού στοιχείου. Ένα τυπικό ηλιακό στοιχείο 10 cm x 10 cm πολυκρυσταλλικό στοιχείο θα παρέχει κάτω από κανονικές συνθήκες ισχύ μεταξύ 1 και 1,5 W, εξαρτώμενη από την απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ομαδοποιούνται

κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τυπικής ισχύος από 20 W έως 300 W. Οι βασικότεροι τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι οι παρακάτω:

- *Μονοκρυσταλλικού πυριτίου:* Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από ένα μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο πυριτίου. Τα κελιά αυτά κατασκευάζονται με μία διαδικασία γνωστή ως διαδικασία «Czochralski». Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση της τάξης του 15-18% αλλά και από υψηλότερο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου, ή σχεδόν κύκλου καθώς και τετράγωνα. Το χρώμα τους είναι βαθύ μπλε έως μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική επίστρωση ή γκρι (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).
- *Πολυκρυσταλλικού πυριτίου:* Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου αλλά και λιγότερο αποδοτικά. Όπως προκύπτει και από τον όρο, κατασκευάζονται από δίσκους πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 13% έως 16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασημί (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).
- *Άμορφου πυριτίου:* Αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή κελιών λεπτής μεμβράνης και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ηλεκτρονικά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης (π.χ. υπολογιστές τσέπης). Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό στο ότι τα άτομα δεν είναι τοποθετημένα σε ακριβείς αποστάσεις μεταξύ τους και οι γωνίες των δεσμών τους δεν είναι συγκεκριμένες. Σήμερα, ένα εμπορικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο με κελιά άμορφου πυριτίου έχει απόδοση 6-8%.
- *Χαλκοπυριτών:* Αποτελεί μία από τις περισσότερο υποσχόμενες τεχνολογίες, όπου κελιά λεπτής μεμβράνης κατασκευάζονται από έναν συνδυασμό χαλκού-ινδίου-δισεληνιούχου και χαλκού-γαλλίου-δισεληνιούχου (κελιά CIGS). Τα κελιά αυτά έχουν επιδείξει αποδόσεις της τάξης του 19,9%, που αποτελεί την υψηλότερη για κελιά λεπτής μεμβράνης.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που χρησιμοποιούνται περισσότερο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι του πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Εικόνα 3.9).



**Εικόνα 3.9:** Φωτοβολταϊκά πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου  
( Πηγή: 4green.gr)

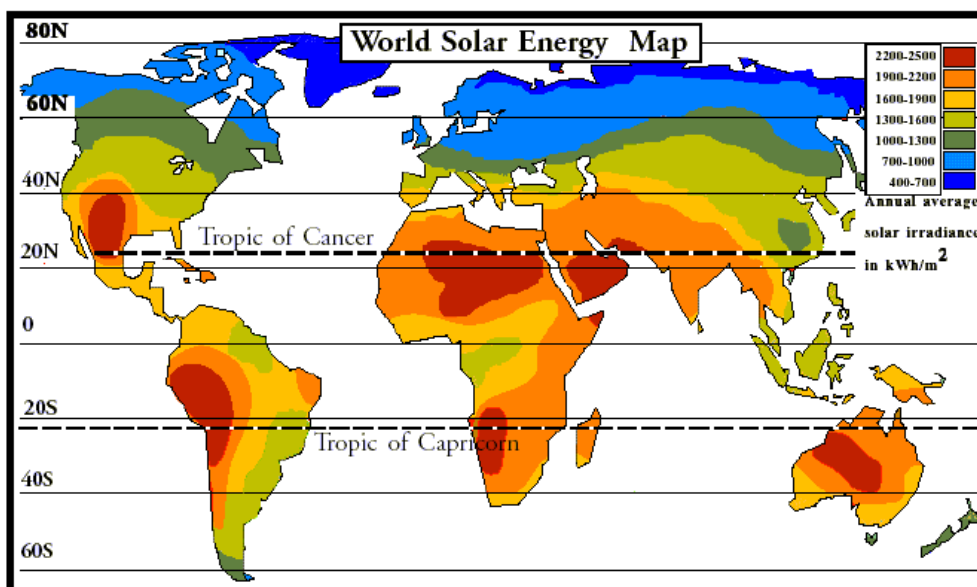
Η δομή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος έκτος από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελείται από τις διατάξεις παρακάτω:

- Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια με τη μηχανική υποστήριξη και πιθανόν ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
- Τον μετατροπέα που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε εναλλασσόμενο προκειμένου να γίνει συμβατό με τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών. Η μετατροπή του ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο όμως, αποφέρει αρκετές απώλειες. Αυτό θα μπορούσε να αποφευχθεί εάν οι ηλεκτρικές συσκευές είχαν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν με συνεχές ρεύμα.
- Μπαταρίες (υποσύστημα αποθήκευσης): Σε περίπτωση που το σύστημα είναι αυτόνομο, τότε απαιτείται η χρήση μπαταριών για την αποθήκευση του παραγόμενου ρεύματος που δεν καταναλώνεται άμεσα. Η μπαταρία προσφέρει με τη σειρά της την αποθηκευμένη ενέργεια, όταν δεν υπάρχει ηλιακό φως, κυρίως δηλαδή τις βραδινές ώρες.
- Ρυθμιστής τάσης: Ρυθμίζει και διατηρεί τη κανονική φόρτιση των μπαταριών από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Όταν η μπαταρία φτάνει στο στάδιο της υπερφόρτισης τότε ελαττώνεται ο χρόνος ζωής της. Για το λόγο αυτό ο ρυθμιστής τάσης ελαττώνει το ρεύμα που προσφέρουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προς τη μπαταρία.
- Καθορισμό ισχύος και συσκευή ελέγχου που περιλαμβάνει φροντίδα για μέτρηση και παρατήρηση.

### ***3.3.4 Χρήση φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα και τον κόσμο***

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια χρησιμοποιούνται ευρέως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς η ηλιακή ενέργεια είναι μια ανεξάντλητη

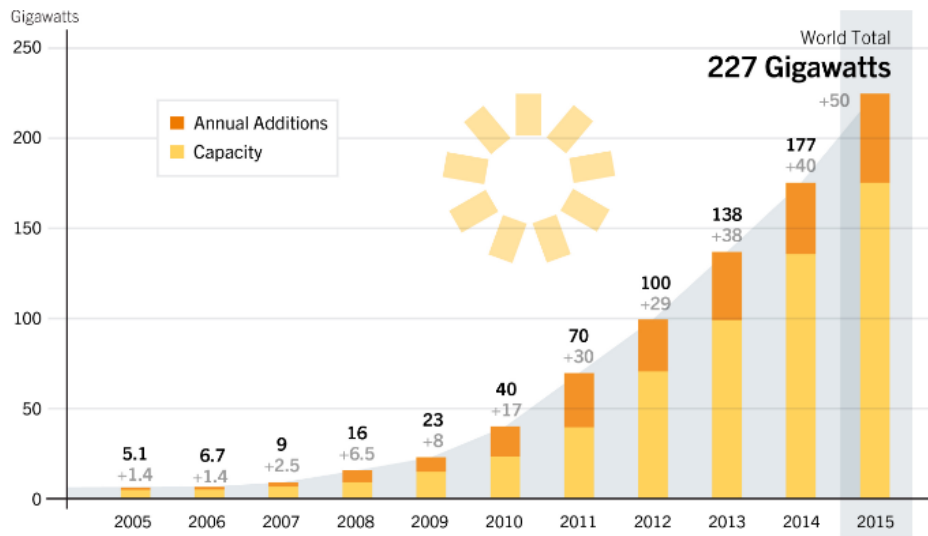
ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, είτε σε μικρής κλίμακας έργα όπως κατοικίες ή σε μεγάλης κλίμακας π.χ. φωτοβολταϊκά πάρκα (Εικόνα 3.10). Τα πλεονεκτήματα της παραγωγής ενέργειας φωτοβολταϊκών είναι αρκετά όπως δεν προκαλεί περαιτέρω ρύπανση στο περιβάλλον, αθόρυβη λειτουργία, εύκολη συντήρηση του συστήματος, τα φωτοβολταϊκά έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (20-30 χρόνια), δυνατότητα επέκτασης του υπάρχοντος συστήματος και ευελιξία του συστήματος (αυτόνομο ή συνδεδεμένο στο δίκτυο). Κάποια μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι η χαμηλή απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας και το αρκετά υψηλό κόστος εγκατάστασης, που βέβαια με την ανάπτυξη της τεχνολογίας στον τομέα αυτό το κόστος παρουσιάζει φθίνουσα πορεία.



**Εικόνα 3.10:** Παγκόσμια μέση ηλιακή ακτινοβολία  
(Πηγή: International Network for Sustainable Energy)

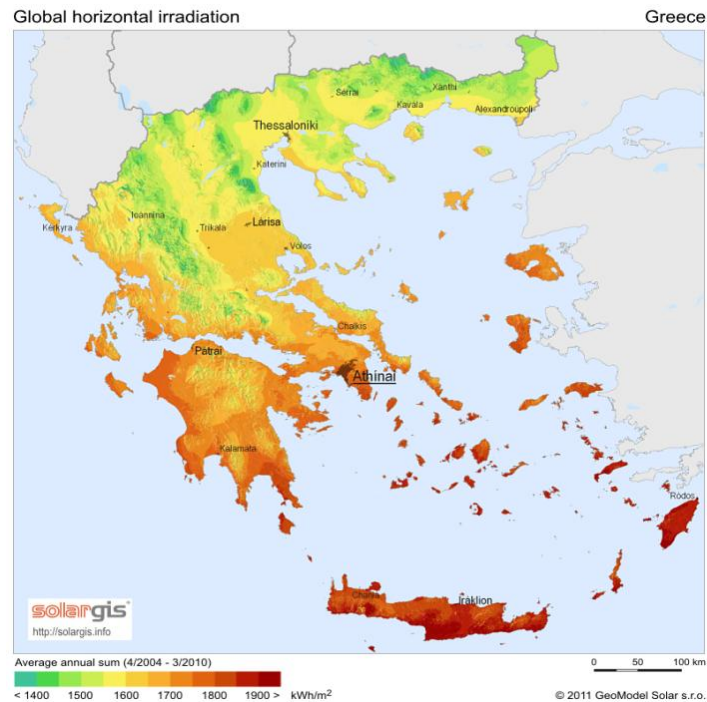
Η χώρα με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών στον κόσμο είναι η Κίνα, που από το 2015 παρουσιάζει ραγδαία αύξηση στην εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας. Σύμφωνα με στοιχεία του 2016 προστέθηκε στην υπάρχουσα εγκατεστημένη ισχύς της χώρας 34,54 GW και έτσι η συνολική ισχύς είναι 78,07 GW. Ακόμη άλλες χώρες με πολύ μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών είναι η Ιαπωνία (42,75 GW), η Γερμανία (41,22 GW) και η ΗΠΑ (40,3 GW). Το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο στον κόσμο βρίσκεται στην Κίνα, το Longyangxia Dam Solar Park με εγκατεστημένη ισχύς 850 MW και συνολική επιφάνεια φωτοβολταϊκών πλαισίων 27 km<sup>2</sup> δηλαδή περίπου 4.000.000 πλαίσια. Η αξιοποίηση λοιπόν της ηλιακής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο αποτελεί σημαντικό τομέα έρευνας και ανάπτυξης τεχνολογίας, καθώς και αξιόλογο τομέα επενδύσεων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.11, ετησίως η εγκατεστημένη ισχύς έχει αύξουσα πορεία και η ενέργεια από την χρήση φωτοβολταϊκών καταλαμβάνει μεγάλο μερίδιο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### Solar PV Global Capacity and Annual Additions, 2005–2015



**Εικόνα 3.11:** Ετήσια παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών (Πηγή: RENEWABLES 2016 GLOBAL STATUS REPORT)

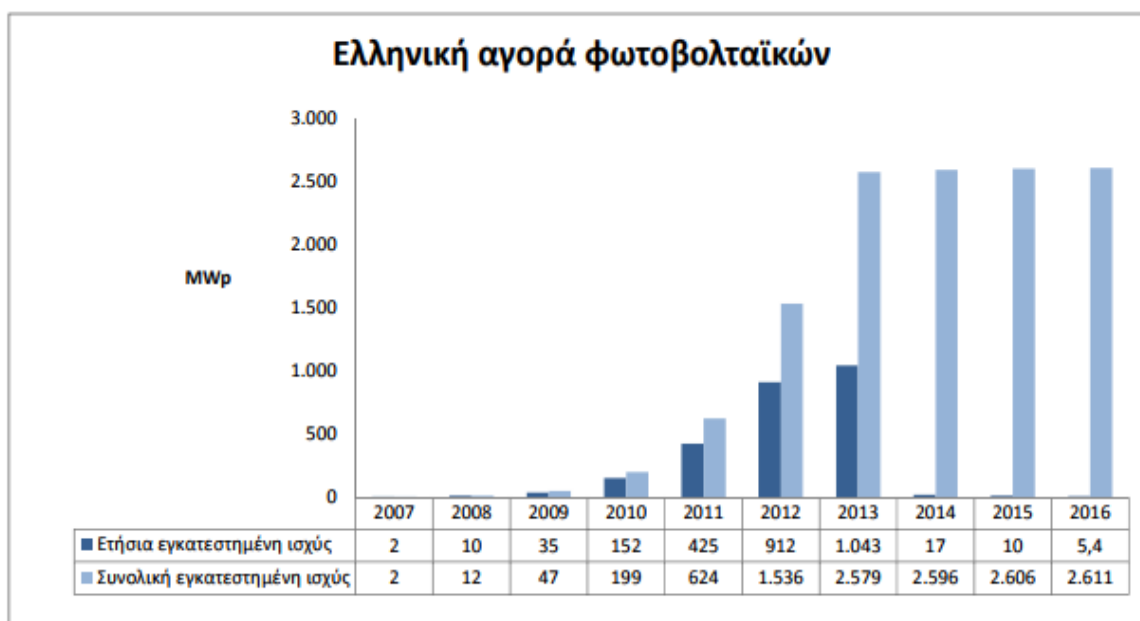
Στην Ελλάδα από το 2006 και μετά η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού παρουσιάζει ανοδική πορεία, καθώς το 2006 ψηφίστηκε νόμος που ενισχύει σημαντικά οικονομικά την ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά και τροφοδοτείται στο δίκτυο. Ακόμη είναι μια χώρα, όπου η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στη χώρα μας κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα τόσο κατά τη καλοκαιρινή όσο και κατά την χειμερινή περίοδο (Εικόνα 3.12).



**Εικόνα 3.12:** Διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην Ελλάδα (Πηγή: solargis.com)



Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του Συνδέσμου εταιριών φωτοβολταϊκών για το 2016, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών κάλυψε το 7,05 % των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια, συγκεκριμένα παρήχθησαν περίπου 3.930 GWh. Ακόμη η συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών έως το 2016 είναι 2.611 MW εκ των οποίων τα 2.066 MW βρίσκονται επί εδάφους και τα υπόλοιπα 545 πάνω σε στέγες (Εικόνα 3.13). Τέλος, η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών στα μη συνδεδεμένα νησιά είναι 160,3 MW (6,1 %) και η συνδεδεμένη στο κύριο ηλεκτρικό δίκτυο είναι 2.450,7 MW (93.9%).



**Εικόνα 3.13:** Ετήσια εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα 2016  
(Πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών Ελλάδος, 2016)

### 3.3.5 Επιλογή φωτοβολταϊκών για την Αστυπάλεια

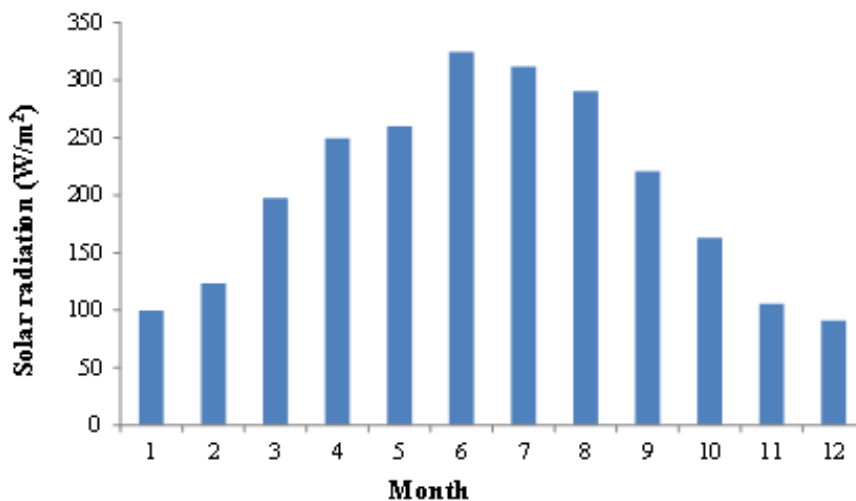
Η Αστυπάλεια ως νησί των Δωδεκανήσων έχει πολύ υψηλή ηλιακή ακτινοβολία με τιμές που κυμαίνονται γύρω στις 1.800 kWh/m<sup>2</sup> και ως νησί του Αιγαίου ακόμα και τους χειμερινούς μήνες η ηλιακή ακτινοβολία είναι σημαντική. Έχοντας υπόψη την κατανάλωση ενέργειας του νησιού, την αιχμή της ζήτησης και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης επιλέχθηκε η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών εγκατεστημένης ισχύος 100 kWp και τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 3.1. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα είναι τοποθετημένα πάνω σε σταθερές βάσεις, δηλαδή θα βρίσκονται μόνιμως κατά την ίδια κλίση και τον ίδιο προσανατολισμό και εδρασμένα πάνω σε επιφανειακά ορθογωνικά θεμέλια. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ομαδοποιούνται και συνδέονται με τους αντιστροφεείς ρεύματος οι οποίοι μετατρέπουν το συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα για την έγχυση του στο ηλεκτρικό δίκτυο.



Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Πάρκου	
Εγκατεστημένη Ισχύς	100 kWp
Αριθμός φ/β πλαισίων	476
Συνολική Επιφάνεια Πλαισίων	754 m <sup>2</sup>
Συνολική Επιφάνεια Πάρκου	11000 m <sup>2</sup>
Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών Πλαισίων	
Τύπος	Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου
Ονομαστική Ισχύς	210 W
Διαστάσεις Πλαισίου	1650.0 × 951.0 × 46.0 mm
Βάρος Πλαισίου	18,6 kg
Απόδοση φ/β γεννήτριας	13,40%
Θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος	- 0,44 %/°C

**Πίνακας 3.1:** Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ισχύς από το φωτοβολταϊκά θα χρησιμοποιηθεί η ωριαία χρονοσειρά 100 χρόνων που αναπτύχθηκε για την ηλιακή ακτινοβολία (Διάγραμμα 3.3). Έχοντας λοιπόν την ηλιακή ακτινοβολία για τον υπολογισμό της αναμενόμενης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, για κάθε ωριαία τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας υπολογίζεται προσεγγιστικά η αντίστοιχη τιμή της παραγόμενης ενέργειας για  $n = 0,13$  και  $A = 754 \text{ m}^2$ . Τελικώς, η μέση τιμή της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της παραπάνω εγκατάστασης φωτοβολταϊκών είναι  $E \approx 162 \text{ MWh}$ .



**Διάγραμμα 3.3:** Ιστόγραμμα συχνοτήτων μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας

## 3.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

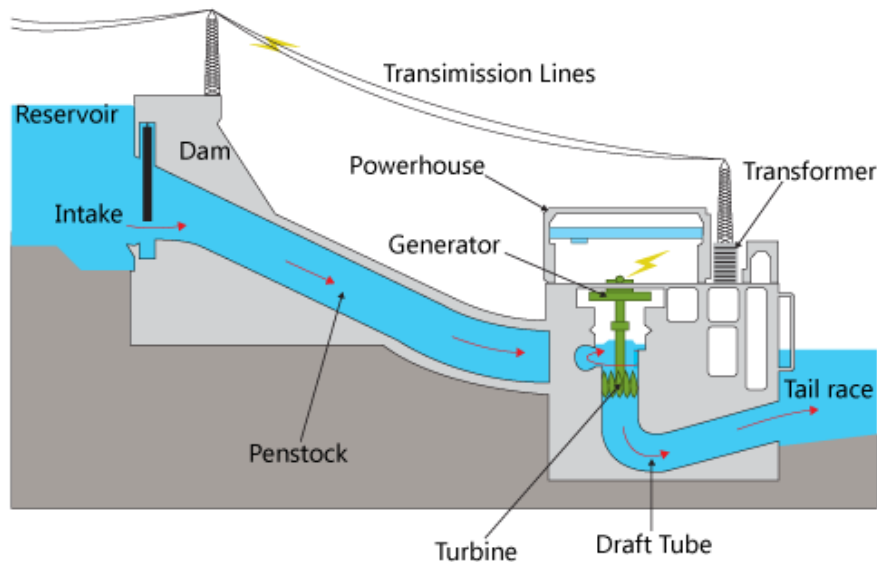
### 3.4.1 Γενικά

Υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που αποταμιεύεται ως δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο με τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά από τη συνέχιση της ροής του ελεύθερου νερού, και αποδίδεται ως κινητική μέσω της υδατόπτωσης. Η κινητική ενέργεια, στη συνέχεια, μπορεί είτε να χρησιμοποιείται αυτούσια επιτόπου (π.χ. νερόμυλοι), είτε να μετατρέπεται σε ηλεκτρική ή άλλες μορφές, που την αποθηκεύουν, ώστε τελικά να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις.

Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών σταθμών βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Η ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας καθορίζεται από τον όγκο του νερού που ρέει, τη διαφορά μανομετρικού ύψους μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του ταμιευτήρα και του στροβίλου. Συνεπώς, ο παραγόμενος ηλεκτρισμός εξαρτάται από την ποσότητα του νερού του ταμιευτήρα. Για το λόγο αυτό μόνο σε περιοχές με σημαντικές βροχοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευαστούν υδροηλεκτρικά έργα. Συνήθως η ενέργεια που τελικώς παράγεται, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά ως προς άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, καλύπτοντας φορτία αιχμής.

Η αρχή λειτουργίας ενός τυπικού υδροηλεκτρικού σταθμού βασίζεται στην εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας των επιφανειακών υδάτων, με μετατροπή της αρχικά σε κινητική ενέργεια και στη συνέχεια σε ηλεκτρική. Η εγκατάσταση ενός υδροηλεκτρικού έργου αξιοποιεί τη φυσική πτώση των νερών και την υψομετρική διαφορά μέσω ενός υπό πίεση υδραυλικού συστήματος που διοχετεύει το νερό σε ένα στρόβιλο. Τα βασικά επιμέρους τεχνικά έργα που αποτελούν ένα υδροηλεκτρικό σταθμό είναι η υδροληψία, ο αγωγός προσαγωγής και ο σταθμός παραγωγής, στην Εικόνα 3.14 παρουσιάζεται η διάταξη ενός υδροηλεκτρικού έργου. Τα υδροηλεκτρικά έργα διαχωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με την ισχύ τους :

- *Μικρής Κλίμακας:* Είναι εγκαταστάσεις που όπως υποδηλώνει το όνομά τους παράγουν από 1 kW έως 1 MW ισχύος. Η βασική τους χρήση είναι η ηλεκτροδότηση μικρών οικισμών ή μικρών εργοστασίων δευτερογενούς παραγωγής.
- *Μεσαίας Κλίμακας:* Παράγουν μέχρι 20 MW ισχύος, είναι σχετικά χαμηλού κόστους κατασκευής ενώ είναι ιδιαίτερα αξιόπιστα κατά τη λειτουργία τους. Χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση είτε αστικών περιοχών είτε για τη λειτουργία μεγάλων παραγωγικών μονάδων με σημαντικές ενεργειακές απαιτήσεις.
- *Μεγάλης κλίμακας:* Παράγουν περισσότερα από 20 MW ισχύος και απαιτούν την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ικανοποιούν υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις.

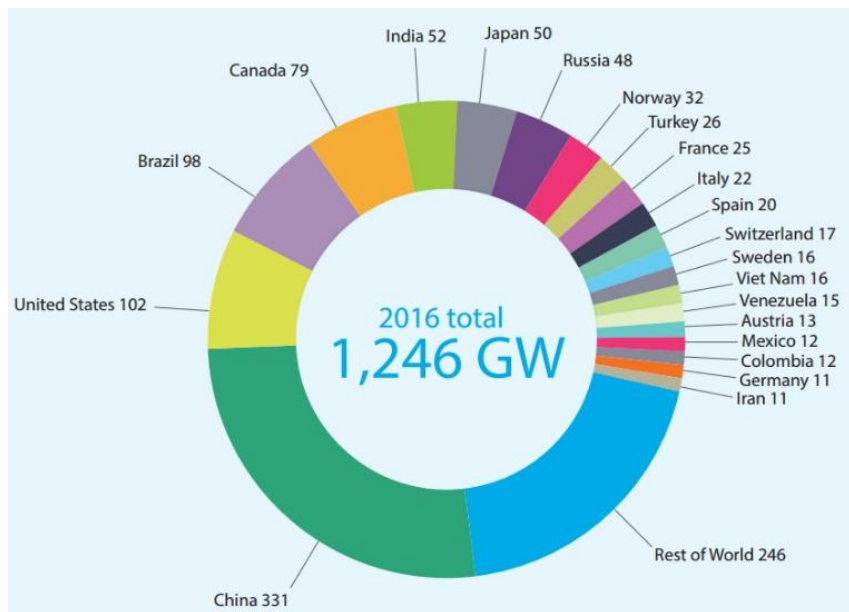


**Εικόνα 3.14:** Τυπική διάταξη υδροηλεκτρικού έργου  
(Πηγή: Renewable Energy Engineering, Knowledge flow)

### ***3.4.2 Αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και τον κόσμο***

Η παραγωγή ενέργειας από υδροηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται σε σημαντικό βαθμό για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών παγκοσμίως. Τα πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι αποτελεί μια αναγνώσιμη πηγή ενέργειας, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί μπορούν να τεθούν άμεσα σε λειτουργία όταν απαιτηθεί και επίσης οι ταμιευτήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για άλλες ανάγκες όπως ύδρευση, άρδευση και ανάσχεση χειμάρρων. Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς υδροηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με στοιχεία για το έτος 2016 είναι 1.246 GW και έχει την δυνατότητα να καλύψει περίπου το 14% των ετήσιων ενεργειακών αναγκών.

Η Κίνα είναι η χώρα με την υψηλότερη εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύ με 331 GW, εκεί βρίσκεται το υδροηλεκτρικό έργο με την μεγαλύτερη ισχύ το Three Gorges Dam ισχύος 22.500 MW. Το έργο αυτό αποτελείται από 32 υδροστροβίλους των 700 MW και 2 των 50 MW, το 2014 παρήγαγε 98,8 TWh ηλεκτρικής ενέργειας, η τιμή αυτή ξεπεράστηκε το 2016 από το υδροηλεκτρικό έργο στο φράγμα Itaipu (μεταξύ Βραζιλίας-Παραγουάης) ισχύος 14.000 MW που παρήγαγε 103,1 TWh. Στην Εικόνα 3.15 φαίνεται η κατανομή της παγκόσμιας εγκατεστημένης υδροηλεκτρικής ισχύος.



**Εικόνα 3.15:** Συνολική εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύς ανά χώρα 2016  
(Πηγή: cleantechnica.com)

Στην Ελλάδα η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των υδροηλεκτρικών σταθμών της ΔΕΗ ανέρχεται σε 3.060 MW, που αποτελείται από 16 μεγάλους και 8 μικρούς σταθμούς, με συνολική μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας 5.000 GWh που καλύπτει περίπου το 9-10 % της ετήσιας ζήτησης. Οι τρεις μεγαλύτεροι σε εγκατεστημένη ισχύ υδροηλεκτρικοί σταθμοί στην Ελλάδα είναι των Κρεμαστών με 437 MW, του Θησαυρού με 384 MW και του Πολύφουτου με 375 MW. Το ετήσιο θεωρητικό δυναμικό της χώρας ανέρχεται σε περίπου 80 TWh αλλά μέχρι σήμερα έχει αναπτυχθεί περίπου το 40%.

### 3.4.3 Διερεύνηση στην Αστυπάλαια

Στο νησί της Αστυπάλαιας υπάρχει φράγμα στην περιοχή Λιβιάδι που κατασκευάστηκε το 1977, είναι χωμάτινο ομογενές τύπου φράγμα και τροφοδοτείται από το χείμαρρο Λιβιάδι. Ο ταμιευτήρας έχει φυσική στεγανότητα (σχιστόλιθοι) και το νερό του φράγματος χρησιμοποιείται για την ύδρευση και άδρευση του νησιού. Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φράγματος.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Φράγματος	
Ύψος	32 m
Μήκος Στέψης	235 m
Πλάτος Στέψης	5 m
Όγκος Αναχώματος	100.000 m <sup>3</sup>
Ωφέλιμος Όγκος	875.000 m <sup>3</sup>
Επιφάνεια Ταμιευτήρα	105.000 m <sup>2</sup>

**Πίνακας 3.2:** Τεχνικά Χαρακτηριστικά φράγματος Λιβάδι

Για την περίπτωση λοιπόν του παραπάνω φράγματος μελετήθηκε η προσθήκη μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού μέγιστης ισχύος της τάξεως των 0,08 MW. Για τον υπολογισμό της ενέργειας παραγωγής αναπτύχθηκε η χρονοσειρά βροχόπτωσης και μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας 100 χρόνων, ώστε να βρεθεί προσεγγιστικά η χρονοσειρά του όγκου νερού V του ταμιευτήρα και το ύψος πτώσης του νερού H. Τέλος, γνωρίζοντας τον όγκο του νερού και το ύψος πτώσης και με βάση τον παρακάτω τύπο για τον υπολογισμό της υδροηλεκτρικής ενέργειας:

$$E = \frac{g * n * H * V}{3600}$$

Όπου : g: επιτάχυνση βαρύτητας 9,81 m/s<sup>2</sup>

n: ο συντελεστής απόδοσης του υδροηλεκτρικού έργου

H: το ύψος πτώσης σε m

V: όγκος νερού σε m<sup>3</sup>

Τελικώς, το παραπάνω εξεταζόμενο μικρό υδροηλεκτρικό έργο έχει την δυνατότητα να αποδώσει μέση ετήσια ηλεκτρική ενέργεια ίση με 25,5 MW.

## 3.5 Γεωθερμική Ενέργεια

### 3.5.1 Γενικά

Γεωθερμία ή γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

α) Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό 0,04 - 0,06 W/m<sup>2</sup>

β) Με ρεύματα μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, ενώ συνήθως κυμαίνεται από 25° C μέχρι 360° C. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150° C), η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο έχει η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την κάλυψη αναγκών του, καθώς είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις:

- Η υψηλής ενθαλπίας (>150 °C) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η μέσης ενθαλπίας (80 έως 150 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως).
- Η χαμηλής ενθαλπίας (25 έως 80 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες και για παραγωγή γλυκού νερού.

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας συναντά ορισμένα βασικά προβλήματα, τα οποία θα πρέπει να αντιμετωπιστούν ικανοποιητικά για την οικονομική εκμετάλλευση της εναλλακτικής αυτής μορφής ενέργειας. Οι τύποι αυτοί των προβλημάτων είναι ο σχηματισμός επικαθίσεων (ή όπως συχνά λέγεται οι καθαλατώσεις ή αποθέσεις) σε κάθε σχεδόν επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό, η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών, καθώς και ορισμένες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις (διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους, εκπομπές τοξικών αερίων, ιδίως του υδρόθειου).

Το CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται από γεωθερμικές μονάδες ποικίλλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πεδίου, καθώς και την τεχνολογία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, αν και οι εκπομπές του είναι κατά πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές ατμοηλεκτρικών μονάδων και συγκρίνονται ευνοϊκά και με τις εκπομπές (έμμεσες ή άμεσες) από άλλες ΑΠΕ. Το H<sub>2</sub>S, λόγω της έντονης οσμής του και της σχετικής τοξικότητάς του, είναι υπεύθυνο τις περισσότερες φορές για τη προκατάληψη που εκδηλώνεται κατά της γεωθερμίας. Οι εκπομπές H<sub>2</sub>S ποικίλλουν από 0,5 g/kWh μέχρι και 7 g/kWh. Οι εκπομπές του H<sub>2</sub>S μπορούν να ελεγχθούν σχετικά εύκολα και να μειωθούν σε συγκεντρώσεις 1 ppb με μια πληθώρα μεθόδων, όπως με τη διεργασία Stredford, με την καύση και επανεισαγωγή, με την οξειδωτική μέθοδο Dow κτλ. Η κύρια ανησυχία από την αξιοποίηση της γεωθερμίας υψηλής ενθαλπίας προέρχεται από τη διάθεση των γεωθερμικών νερών στους υδάτινους αποδέκτες. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της περιεκτικότητάς του σε διάφορα χημικά συστατικά, το γεωθερμικό ρευστό προτού διατεθεί σε υδάτινους αποδέκτες θα πρέπει να υποστεί κάποια επεξεργασία και να μειωθεί η θερμοκρασία του. Η περιβαλλοντικά

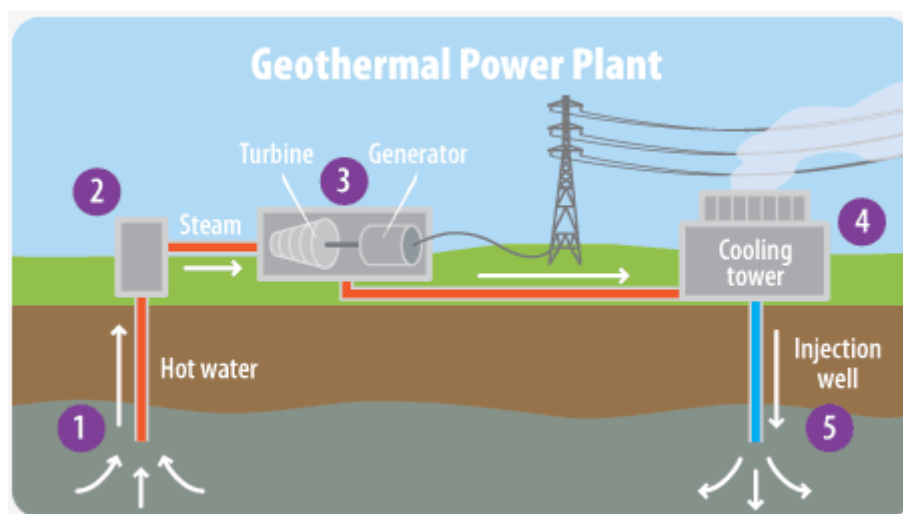
περισσότερο αποδεκτή μέθοδος διάθεσης των γεωθερμικών ρευστών είναι η επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρα.

Τα πλεονεκτήματα της εκμετάλλευσης της ενέργειας από γεωθερμία είναι τα παρακάτω:

- Συνεχής παροχή ενέργειας, με υψηλό συντελεστή λειτουργίας (>90%).
- Μικρό λειτουργικό κόστος, αν και το κόστος παγίων είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση και με τις συμβατικές μορφές ενέργειας.
- Μικρή απαίτηση γης.
- Αποτελεί τοπική μορφή ενέργειας με συνέπεια την οικονομική ανάπτυξη της γεωθερμικής περιοχής.
- Συμβολή στην μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, με τον περιορισμό των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων.
- Συμβολή στην επίτευξη των στόχων που έχουν προταθεί από την Ε.Ε. και του Πρωτοκόλλου του Κιότο.

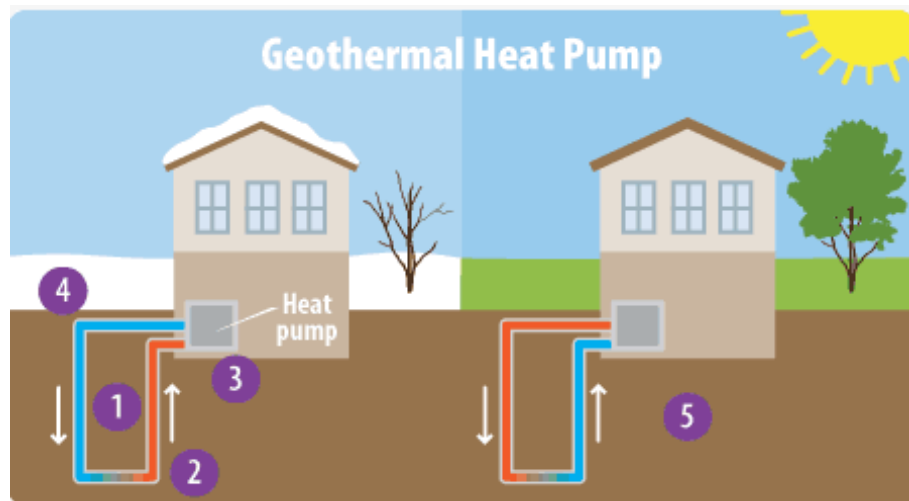
Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να εκμεταλλευτεί με δύο τρόπους για παραγωγή ενέργειας :

- Γεωθερμικό εργοστάσιο παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας, όπου το ρευστό αντλείται από το βάθος της γης μέσω γεώτρησης υπό υψηλή πίεση. Όταν το νερό φτάσει στην επιφάνεια, η πίεση πέφτει, το οποίο προκαλεί την μετατροπή του ρευστού σε ατμό. Στην συνέχεια ο ατμός περιστρέφει έναν στρόβιλο, ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε μία γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Ο ατμός έπειτα ψύχεται σε έναν ειδικό πύργο ψύξης και μετατρέπεται ξανά σε ρευστό. Το παγωμένο ρευστό αντλείται πίσω στην γη για να ξεκινήσει ξανά η ίδια διαδικασία (Εικόνα 3.16).



**Εικόνα 3.16:** Διάταξη γεωθερμικού εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Πηγή: epa.gov)

- Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την θέρμανση και τον κλιματισμό κατοικιών και άλλων χώρων. Αυτά τα συστήματα μεταφέρουν θερμότητα μέσω της άντλησης νερού ή ψυκτικού (ειδικού τύπου υγρό) μέσω σωλήνων κάτω από την επιφάνεια της γης. Κατά την διάρκεια του χειμώνα, το ρευστό απορροφά θερμότητα από την γη και μέσω αντλίας μεταφέρεται στο κτίριο. Ενώ το καλοκαίρι, μερικές αντλίες θερμότητας έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν αντίστροφα και να συμβάλουν στον κλιματισμό κτιρίων (Εικόνα 3.17).

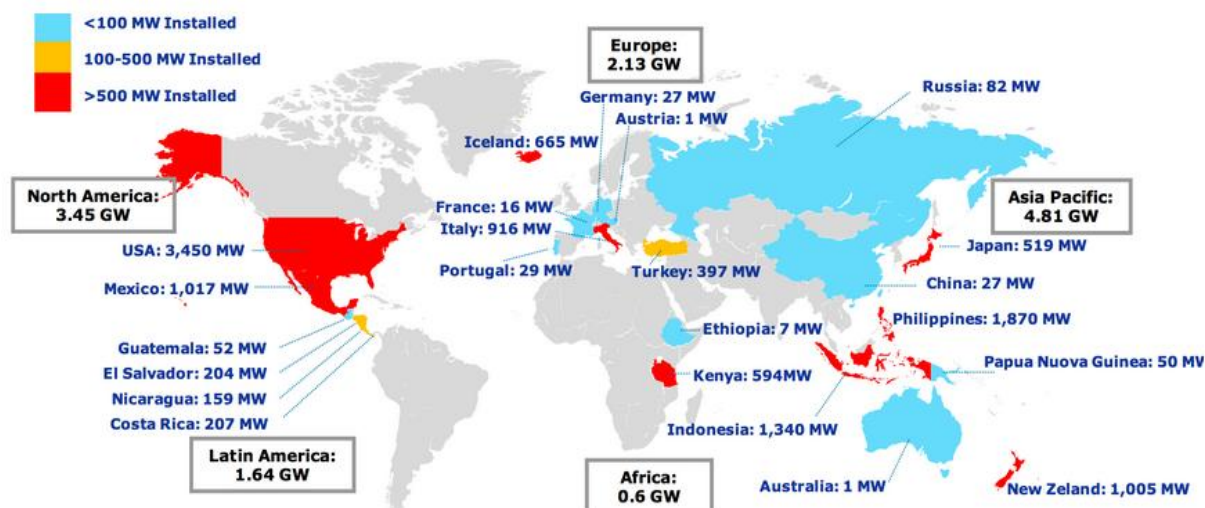


Εικόνα 3.17: Διάταξη γεωθερμικών αντλιών θερμότητας  
(Πηγή: epa.gov)

### 3.5.2 Αξιοποίηση γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα και τον Κόσμο

Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα στην περιοχή Larderello στην Τοσκάνη της Ιταλίας λειτουργούσε μια χημική βιομηχανία που χρησιμοποιούσε τα θερμά νερά που ανέβλυζαν από φυσικές πηγές ή αντλούνταν από ρηχές γεωτρήσεις. Στην ίδια περιοχή το 1904 έγιναν οι πρώτες επιτυχημένες απόπειρες για τη χρήση αυτής της θερμότητας για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας (<150°C) που είναι πιο δυσεύρετα. Η γεωθερμική ενέργεια πλέον χρησιμοποιείται σε 24 χώρες του κόσμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 12.636 MW σύμφωνα με στοιχεία για το έτος 2015. Η χώρα με την υψηλότερη εγκατεστημένη ισχύ είναι η ΗΠΑ με 3.450 MW, που ικανοποιεί μόλις το 0,3% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια. Στην Κένυα η εγκατεστημένη ισχύς γεωθερμίας κάλυψε το 51% της ζήτησης για ηλεκτρισμό το έτος 2015. Όσον αφορά την Ευρώπη την υψηλότερη εγκατεστημένη ισχύ έχει η Ιταλία με 916 MW και συμμετοχή 1,5% στο ενεργειακό μείγμα της χώρας, ενώ η Ισλανδία καλύπτει το 30% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με εγκατεστημένη ισχύ 665 MW (Εικόνα 3.18).





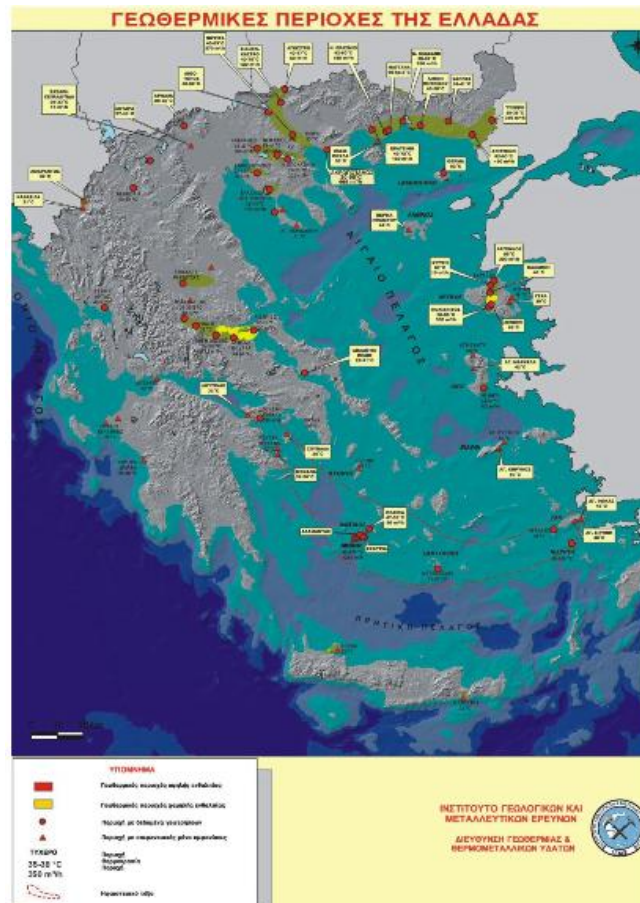
**Εικόνα 3.18:** Χάρτης εγκατεστημένης ισχύος γεωθεμίας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 2015 (Πηγή: Renewable Energy World,2015)

Στην Ελλάδα λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, ο ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1.500 m). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική από οικονομική άποψη τη γεωθερμική εκμετάλλευση. Οι γεωλογικές συνθήκες στην Ελλάδα ευνόησαν γενικά τη δημιουργία ενός πολύ σημαντικού γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής ενθαλπίας. Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) τα γνωστά σήμερα αποθέματα γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας ανέρχονται σε 200.000 TΠH ανά έτος. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα. Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να είναι σημαντική, καθώς αποτελούν ενεργειακή πηγή φιλική στο περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

Η χώρα μας αξιοποιεί την γεωθερμία για ιαματικά λουτρά, θέρμανση θερμοκηπίων και ιχθυοκαλλιέργειών, ενώ η γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας έχει να επιδείξει μηδενικές εφαρμογές στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Μήλο και Νίσυρο έχουν ανακαλυφθεί σπουδαία γεωθερμικά πεδία και έχουν γίνει γεωτρήσεις παραγωγής. Στην Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325 °C σε βάθος 1.000 m. και στην Νίσυρο 350 °C σε βάθος 1.500 m, οι γεωτρήσεις αυτές θα μπορούσαν να στηρίξουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής 2 και 3 MW αντίστοιχα. Στην Βόρεια Ελλάδα η γεωθερμία προσφέρεται για θέρμανση, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες κ.λ.π. Στην λεκάνη του Στρυμόνα έχουν εντοπισθεί τα πολύ σημαντικά πεδία Θερμών-Νιγρίτας, Λιθότροπου - Ηράκλειας, Θερμοπηγής - Σιδηρόκαστρου και Αγγίστρου. Μεγάλα και μικρότερα γεωθερμικά θερμοκήπια λειτουργούν στην Νιγρίτα και το Σιδηρόκαστρο.

Στο ηφαιστειακό τόξο του Ν. Αιγαίου, που περιλαμβάνει τα νησιά Νίσυρος, Σαντορίνη, Μήλος, Κίμωλος, Κως, καθώς επίσης τα Μέθανα και το Σουσάκι Κορινθίας, εντοπίζονται σημαντικά γεωθερμικά πεδία που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας. Η Αστυπάλαια βρίσκεται στο παραπάνω ηφαιστειακό τόξο, επομένως είναι πολύ πιθανό να υπάρχουν γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ελάχιστη ισχύ 0,5 MW, βεβαίως θα πρέπει να γίνουν ειδικές γεωτρήσεις ώστε να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλες μετρήσεις που να επιβεβαιώνουν την ύπαρξη γεωθερμίας στο νησί.



**Εικόνα 3.18:** Γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα  
(Πηγή: ΙΓΜΕ)

## 3.6 Κυματική Ενέργεια

### 3.6.1 Γενικά

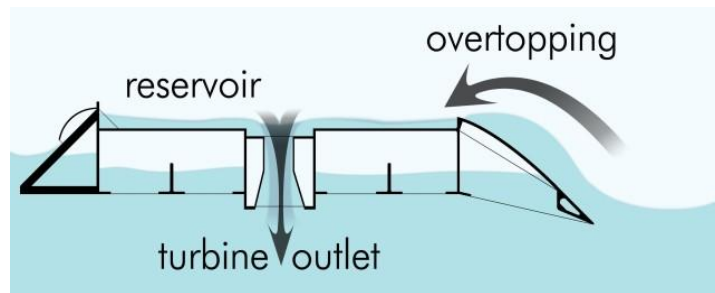
Οι ωκεανοί μπορούν να μας προσφέρουν σημαντικά ποσά ενέργειας και να προσφέρουν αξιοσημείωτη συνεισφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αξιοποιώντας μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι για την εκμετάλλευση της ενέργειας της θάλασσας:

- Από τα κύματα
- Από τις παλίρροιες
- Από τις θερμοκρασιακές διαφορές του νερού

Τα θαλάσσια κύματα προκαλούνται από τον αέρα όπως φυσά πέρα από τη θάλασσα και έτσι δημιουργείται η κυματική ενέργεια, που είναι μια ισχυρή πηγή ενέργειας. Το πρόβλημα είναι ότι δεν είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί αυτή η ενέργεια για να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλα ποσά. Κατά συνέπεια, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος κυμάτων είναι σπάνιοι.

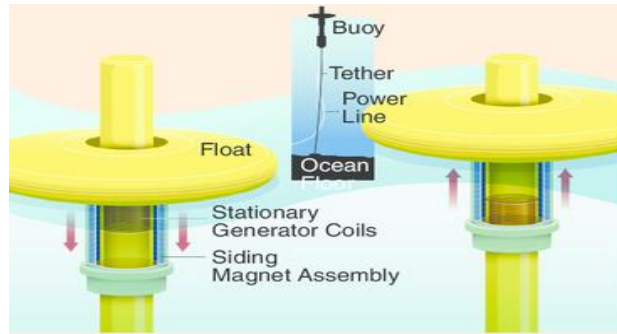
Οι κατασκευές που μετατρέπουν την κυματική ενέργεια σε ηλεκτρική γενικά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την αιχμαλώτιση της ενέργειας από τα κύματα, την τοποθεσία της κατασκευής και το σύστημα μετατροπής της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες κατασκευών ανάλογα τον τρόπο λειτουργία τους:

- *Διατάξεις ανύψωσης (Overtopping devices)*: Είναι μεγάλες κατασκευές που χρησιμοποιούν την ταχύτητα των κυμάτων για να γεμίσουν μία δεξαμενή σε μία υψηλότερη στάθμη από αυτή του νερού γύρω από την κατασκευή. Από την δεξαμενή μέσω υδροστροβίλων διέρχεται το νερό και έτσι πραγματοποιείται η παραγωγή ενέργειας (Εικόνα 3.19).



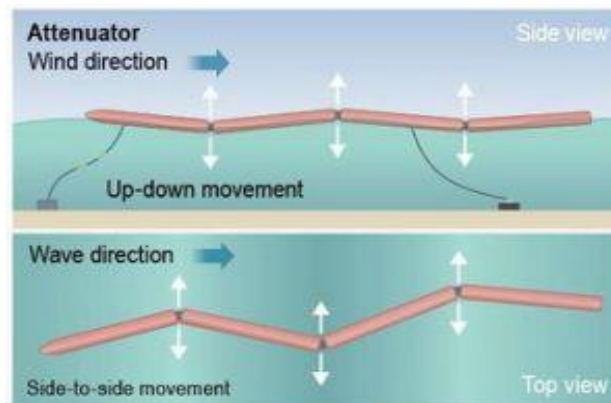
**Εικόνα 3.19:** Διάταξη ανύψωσης για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας (Πηγή: UIowa Wiki)

- *Σημειακός απορροφητής (Point absorber buoy)*: Πλωτή κατασκευή η οποία απορροφά την κυματική ενέργεια από κάθε διεύθυνση μέσω των κινήσεών της στην επιφάνεια των υδάτων ή κοντά σε αυτή. Έχει μικρές διαστάσεις σε σχέση με το τυπικό μήκος κύματος, με διάμετρο συνήθως της τάξης των λίγων μέτρων. Το χαρακτηριστικό της σημειακής απορρόφησης σημαίνει βασικά την ικανότητα απορρόφησης της ενέργειας μιας θαλάσσιας περιοχής μεγαλύτερης από τις διαστάσεις της συσκευής (Εικόνα 3.20).



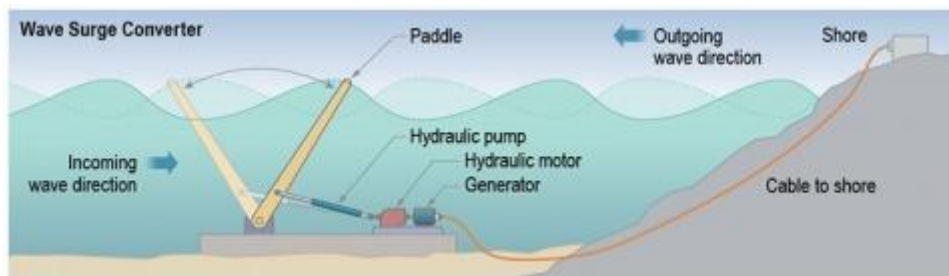
**Εικόνα 3.20:** Διάταξη σημειακού απορροφητή (Πηγή: NNMREC)

- *Εξασθενητής κυματισμών (Surface attenuator):* Είναι μακρόστενη πλωτή συσκευή ευθυγραμμισμένη κάθετα προς το μέτωπο του κύματος. Η συσκευή ουσιαστικά επιπλέει επί των διερχόμενων κυμάτων και αποσπά την ενέργεια τους με την επιλεκτική δέσμευση των κινήσεων καθ' όλο της το μήκος. Ένα σημερινό παράδειγμα εξασθενητή κυματισμών είναι η συσκευή Pelamis (Εικόνα 3.21).



**Εικόνα 3.21:** Διάταξη εξασθενητή κυματισμών (Πηγή: Ocean Power Delivery ltd)

- *Παλλόμενοι μετατροπείς των κυματικών κλυδωνισμών (Oscillating wave surge converter):* Διαθέτουν μία επίπεδη επιφάνεια αρθρωμένη μέσω απλής στροφικής άρθρωσης σε βάση στον πυθμένα. Εκμεταλλεύονται την οριζόντια κίνηση των κυμάτων και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω υδραυλικών συστημάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η υποβρύχια συσκευή WaveRoller (Εικόνα 3.22).



**Εικόνα 3.22:** Διάταξη παλλόμενου μετατροπέα κυματικών κλυδωνισμών  
(Πηγή: energy.gov)

Άλλες κατασκευές που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας είναι η παλλόμενη υδάτινη στήλη, η βυθιζόμενη συσκευή διαφορικής πίεσης κ.α.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα της αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

- Η ενέργεια είναι δωρεάν καθώς δεν χρησιμοποιείται κανένα είδος καύσιμης ύλης.
- Σημαντικό ποσό παράγωγης ενέργειας.
- Η λειτουργία και η συντήρηση των κατασκευών εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων δεν είναι ακριβή.
- Είναι φιλική προς το περιβάλλον καθώς δεν παράγονται ρυπογόνα στοιχεία.
- Προστατεύουν την ακτή στην οποία βρίσκονται, ιδιαίτερος χρήσιμο για τα λιμάνια.
- Δεν επηρεάζεται το θαλάσσιο περιβάλλον.

Ενώ τα μειονεκτήματα της παραγωγής ενέργειας από τα κύματα είναι:

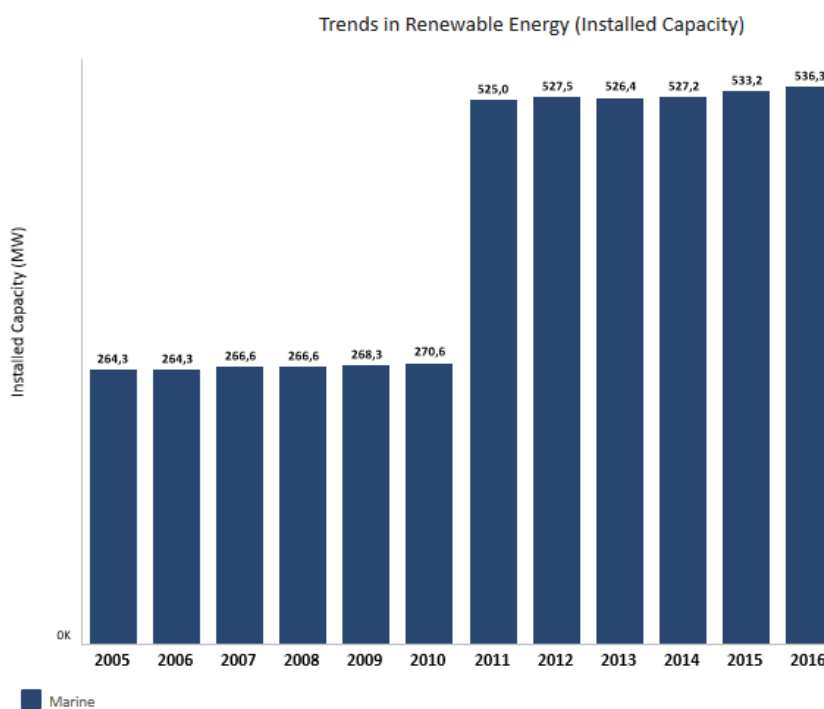
- Η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από την δύναμη των κυμάτων, άλλες φορές λαμβάνουμε μεγάλα ποσά ενέργειας και άλλες μηδενικά.
- Απαιτείται προσεκτική επιλογή της τοποθεσίας εγκαταστάτης της μονάδας, θα πρέπει να βρεθεί σημείο με ισχυρούς κυματισμούς.
- Οι εγκαταστάσεις μπορεί να είναι θορυβώδεις.
- Προσεκτική κατασκευή και συντήρηση ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν ισχυρά καιρικά φαινόμενα.
- Το κόστος μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας στη στεριά είναι πολύ υψηλό.

### **3.6.2 Αξιοποίηση κυματικής ενέργειας στην Ελλάδα και τον κόσμο**

Η αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ χαμηλή σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές σε παγκόσμιο επίπεδο. Το δυναμικό της ενέργειας από τον θαλάσσιο κυματισμό έχει τη δυνατότητα να προσφέρει σημαντικά ποσά ενέργειας και παρουσιάζει διακυμάνσεις ανάλογα με τη γεωγραφική



περιοχή. Συγκεκριμένα στις ακτές των ωκεανών παρουσιάζονται μεγαλύτεροι κυματισμοί σε σχέση με μία κλειστή θάλασσα όπως η Μεσόγειος. Το θεωρητικό δυναμικό της θαλάσσιας ενέργειας έχει εκτιμηθεί ότι θα μπορούσε να φτάσει την ισχύ των 2 TW. Οι χώρες που έχουν κατασκευάσει αξιόλογες μονάδες για την μετατροπή της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι η Πορτογαλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Αυστραλία, ΗΠΑ και Νότιο Κορέα. Στην Εικόνα 3.23 παρουσιάζεται η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος μονάδων που αξιοποιούν την θαλάσσια ενέργεια, παρατηρείται ότι το έτος 2011 υπήρξε σχεδόν διπλασιασμός της σε σχέση με το 2010, αλλά από το 2011 μέχρι 2016 δεν υπήρξαν σημαντικές μεταβολές. Η απότομη αύξηση μεταξύ του ετών 2010 και 2011 οφείλεται στο γεγονός ότι η Νότιος Κορέα εγκατέστησε μονάδες εκμετάλλευσης της θαλάσσιας ενέργειας ισχύος 255 MW, ενώ πριν η αξιοποίηση της ενέργειας αυτής ήταν ανεκμετάλλευτη στην χώρα αυτή.



**Εικόνα 3.23:** Ετήσια εγκατεστημένη ισχύς μονάδων αξιοποίησης της θαλάσσιας ενέργειας (Πηγή: IRENA)

Στην Ελλάδα πάρολο που το δυναμικό είναι σημαντικό ιδιαίτερα στα νησιά της χώρας, δεν υπάρχουν ολοκλήρωμένες μονάδες για την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας, αλλά μόνο δοκιμαστικές μονάδες, όπως αυτή που κατασκευάστηκε στο Ηράκλειο της Κρήτης για την κάλυψη των αναγκών του λιμανιού σε ηλεκτρική ενέργεια.

### 3.6.3 Διερεύνηση στην Αстуπάλια

Στην Αстуπάλια ως νησί του Αιγαίου υπάρχει σημαντικό αιολικό δυναμικό και επομένως θα δημιουργούνται μεγάλοι κυματισμοί, που θα μπορούσαν να προσφέρουν μεγάλα ποσά

ηλεκτρικής ενέργειας. Για την διερεύνηση αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας στο νησί αναπτύχθηκαν ωριαίες χρονοσειρές 100 χρόνων για το ύψος και την περίοδο των κυμάτων και εξετάστηκε η τοποθέτηση διάτάξεων ανύψωσης κύματος (overtopping wave energy converter) ισχύος 300 kW, το μήκος της κατασκευής 125 m και ύψος κατασκευής 1 m από την επιφάνεια της θάλασσας (Διάγραμμα 3.4).

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από τα κύματα χρησιμοποιείται ο παρακάτω μαθηματικός τύπος για την ροή ενέργειας κύματος:

$$P = \frac{\rho * g^2 * T * H^2}{32\pi} [W/m]$$

Όπου: P: η ροή ενέργειας ανά μήκος κύματος σε W/m

$\rho$ : η πυκνότητα του θαλασσινού νερού 1.025 kg/m<sup>3</sup>

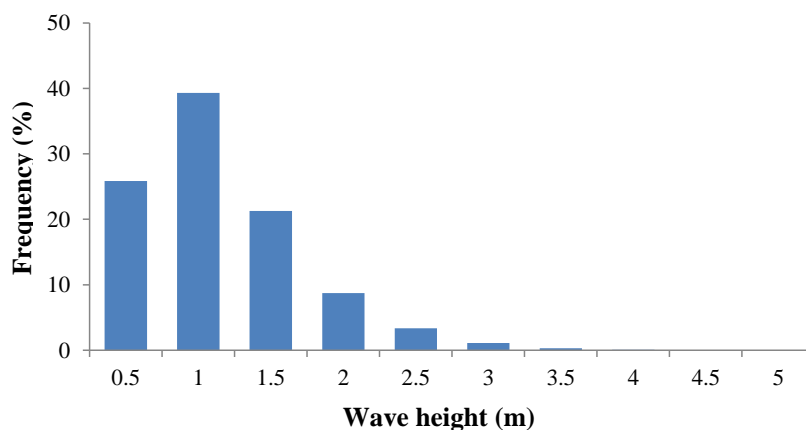
g: η επιτάχυνση της βαρύτητας 9,8 m/s<sup>2</sup>

T: περίοδος του κύματος σε s

H: το ύψος κύματος σε m

Παρατηρείται ότι τελικώς υπολογίζεται η ροή της ενέργειας, που εξαρτάται από το μήκος των κορυφών δύο διαδοχικών κυματισμών.

Τέλος, υπολογίστηκε ότι μια διάταξη ανύψωσης κύματος (overtopping wave energy converter) ισχύος 300 kW και συνλεστική απόδοσης 0,32 έχει τη δυνατότητα προσεγγιστικά να παραγει ετήσια ηλεκτρική ενέργεια στο νησί ίση με 835 MWh.



**Διάγραμμα 3.4:** Ιστόγραμμα συχνοτήτων ύψος κύματος





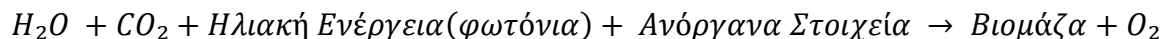
## 4. Ενέργεια από βιομάζα

### 4.1 Γενικά

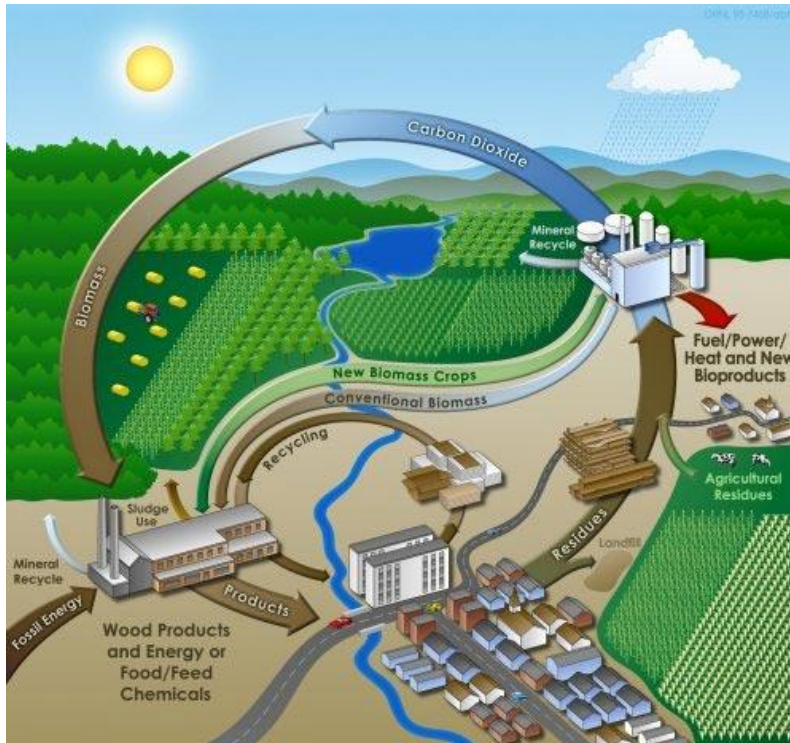
Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά, στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, σ' αυτήν περιλαμβάνονται:

- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως π.χ. τα αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από τις ενεργειακές καλλιέργειες (έτσι ονομάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας) γεωργικών και δασικών ειδών, όπως π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά.
- Τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά.
- Τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, όπως π.χ. το ελαιοπυρηνόξυλο, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι κ.ά.
- Το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Η βιοενέργεια αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών, που παράγεται σε κύκλο. Η δημιουργία της βασίζεται στην αέναη χρήση φυσικών ενεργειακών ροών που μιμείται τους οικολογικούς κύκλους. Κατά την διαδικασία αυτή, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς και νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος. Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:



Επομένως παρατηρούμε ότι ο άνθρακας προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα και επιστρέφει σε αυτή, οι θρεπτικές ουσίες λαμβάνονται από το έδαφος και επιστρέφουν σε αυτό και τα υπολείμματα του ενός σταδίου συνιστούν τις εισροές του επόμενου (Εικόνα 4.1).



**Εικόνα 4.1:** Ενεργειακός κύκλος βιομάζας  
(Πηγή: [alternativeenergyatunc.wordpress.com](http://alternativeenergyatunc.wordpress.com))

Η ενέργεια από βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.). Η χρήση της βιομάζας ως πηγής ενέργειας δεν είναι νέα. Σ' αυτήν εξάλλου συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που, μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας. Η βιομάζα αποτελεί τη μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ότι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Η βιομάζα χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λπ.) και ακόμα για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντίζελ κλπ.).

Η αξιοποίηση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, συγκεκριμένα:

- Είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.
- Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου - επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του

άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.

- Η μηδενική ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.
- Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος.
- Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικό-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.

Ενώ τα μειονεκτήματα της ενέργειας από χρήση βιομάζας είναι:

- Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
- Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
- Παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευση της βιομάζας που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης.
- Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.

## **4.2 Το ξύλο για την παραγωγή βιομάζας**

Το ξύλο αποτελεί το συνηθέστερο καύσιμο για παράγωγη ενέργειας από βιομάζα εδώ και παρά πολλά χρόνια για θέρμανση αλλά και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε σε μορφή καυσόξυλου, συσσωματωμάτων βιομάζας (pellets) ή σε θρυμματισμένη μορφή (Εικόνα 4.2). Τα υπολείμματα ξύλου προέρχονται από:

- Βιομηχανίες χάρτου και πολτού, ξυλουργεία
  - Πολύ καθαρά
  - Χαμηλή υγρασία μέχρι 5%
  - Ευρεία χρήση σε πολλά συστήματα καύσης
  - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για τις ανάγκες της μονάδας που παράγονται.
- Υπολείμματα ξύλου από άχρηστα προϊόντα, ξυλαποθήκες, οικοδομές και κατεδαφίσεις
  - Εκτρέπονται σε μονάδες ανάκτησης για διαχωρισμό του καθαρού ξύλου.

- Δασικά υπολείμματα
  - Μη χρησιμοποιούμενα υπολείμματα υλοτομίας
  - Μη εμπορεύσιμα δέντρα
  - Νεκρά δέντρα και ξύλα που κόβονται για την προστασία των δασών.
- Κλαδέματα
  - Υπολείμματα από κλάδεμα σε κήπους, δρόμους και πρασιές, που συνήθως καταλήγουν στις χωματερές ή πιο σπάνια για την παραγωγή λιπάσματος.



**Εικόνα 4.2:** Διάφορες μορφές του ξύλου για βιομάζα  
(Πηγή: [renove.co.uk](http://renove.co.uk))

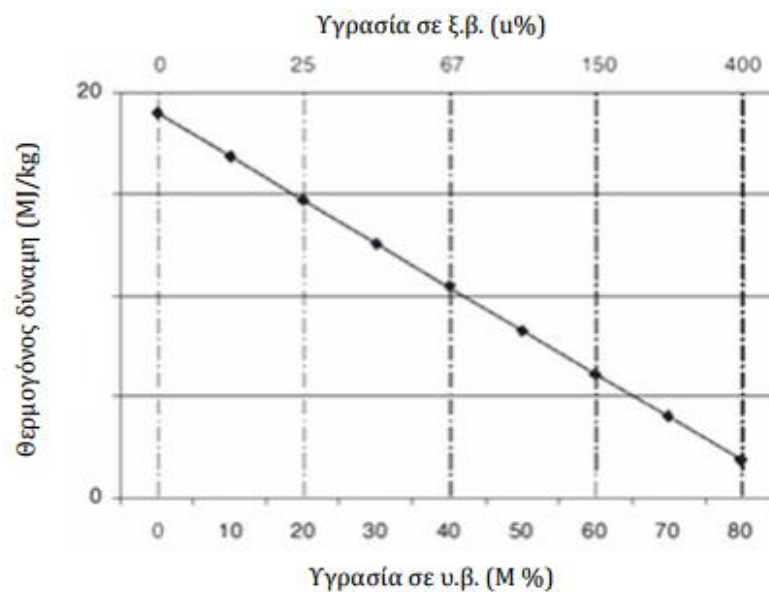
Τα βασικά συστατικά του ξύλου είναι η λιγνίνη και η κυτταρίνη που μαζί αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της ξηρής μάζας του. Η λιγνίνη είναι μία από τις πλέον διαδεδομένες φυσικές πολυμερείς ενώσεις ενώ η κυτταρίνη είναι πολυσακχαρίδιο, γιατί το μόριό της είναι μακριά αλυσίδα αποτελούμενη από μόρια γλυκόζης. Η λιγνίνη είναι πλούσια σε άνθρακα και υδρογόνο με αποτέλεσμα η θερμογόνος δύναμη της να είναι υψηλότερη της κυτταρίνης. Το ξύλο και ο φλοιός του περιέχουν επίσης υγρές ουσίες όπως οι φαινόλες και τα τερπένια. Συγκριτικά με άλλα καύσιμα, το ξύλο έχει σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα (περίπου 50% της ξηρής μάζας) και υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο (περίπου 40%), κάτι που οδηγεί σε σχετικά χαμηλή θερμογόνο δύναμη ανά μονάδα ξηρής μάζας. Η περιεκτικότητα του ξύλου σε άζωτο (N) είναι 0,5 - 2,3% και σε υδρογόνο (H) 6 - 6,5% ανάλογα με το είδος του δένδρου. Το ξύλο πρακτικά δεν περιέχει θείο (S) καθώς η περιεκτικότητά του σ' αυτό είναι περίπου 0,05%. Αν η καύση του ξύλου είναι πλήρης τότε παράγονται διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ ), ωστόσο στην πράξη η καύση του ποτέ δεν είναι πλήρης, έτσι παράγονται επίσης ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και υδρογονανθράκων ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ).

Οι τρεις βασικότερες ιδιότητες του ξύλου είναι:

- *Υγρασία:* Είναι η περιεκτικότητα του ξύλου σε νερό. Έχει μεγάλη επίδραση στη θερμογόνο δύναμη του ξύλου, αφού το νερό που περιέχει το ξύλο, για να εξατμιστεί καταναλώνει μέρος της θερμικής ενέργειας που παράγεται κατά την καύση του ξύλου

(2,5 MJ/kg νερού), με συνέπεια τη μείωση της ωφέλιμης θερμότητας, που παράγεται κατά την καύση. Όσο πιο μεγάλη είναι η υγρασία τόσο πιο μικρή είναι η θερμογόνος δύναμη του ξύλου (Εικόνα 4.3). Η υγρασία του ξύλου κυμαίνεται συνήθως από 20 έως 65%. Ξύλο με υγρασία μεγαλύτερη του 80% δεν καίγεται πλέον από μόνο του.

- *Πυκνότητα:* Η πυκνότητα, τόσο του πρωτογενούς ξύλου, όσο και των αποβλήτων του, είναι μικρότερη του νερού και εξαρτάται από το είδος του δένδρου, την περιοχή όπου φυτρώνει και την ηλικία του.
- *Θερμογόνος δύναμη:* Είναι η ποσότητα θερμικής ενέργειας που παράγεται από την καύση ενός κιλού ξύλου καθώς όλο το νερό που περιέχει αυτό εξατμίζεται. Η θερμογόνος δύναμη του ξύλου μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος και το τμήμα του δένδρου από το οποίο προέρχεται το ξύλο χωρίς ωστόσο μεγάλες διακυμάνσεις. Η θερμογόνος δύναμη σε ξηρή βάση, των διαφόρων ειδών ξύλου, κυμαίνεται μέσα σε ένα πολύ περιορισμένο διάστημα, από 16 έως 21 MJ/kg (Πίνακας 4.1).



**Εικόνα 4.3:** Θερμογόνος δύναμη ως συνάρτηση της υγρασίας σε ξηρή και υγρή βάση (Πηγή:cres.gr)

Είδος	Φαινόμενη Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)	Επιτρεπόμενη Υγρασία (%)
Ξύλο (ξηρό)	360 - 590	18,5 - 21	< 20
Φλοιοί δέντρων (ξηροί)	260	17 - 18	< 20
Πέλλετ ξύλου	650	18	< 10
Θρυμματισμένο ξύλο	175 - 200	16	< 25
Τεμάχια ξύλου/Πριονίδια	380 - 480	18	< 20

**Πίνακας 4.1:** Προσεγγιστικές τιμές θερμογόνου δύναμης, πυκνότητας και επιτρεπόμενης υγρασίας

Παρατηρείται ότι το ξύλο έχει σημαντική θερμογόνο δύναμη σχεδόν τη μισή από την αντίστοιχη του πετρελαίου που κυμαίνεται από 40 – 43 MJ/kg και η παράγωγή ενέργειας από αυτό αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Σημαντική επίσης είναι η υγρασία του ξύλου, θα πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, ώστε να μην καταναλώνεται ενέργεια για την αποβολή της υγρασίας, έτσι είναι απαραίτητο να αποθηκεύεται σε κατάλληλους χώρους. Σύμφωνα με υπολογισμούς που έχουν γίνει 1 τόνος ξηρής ουσίας βιομάζας ισοδυναμεί με 0,4 τόνους πετρελαίου.

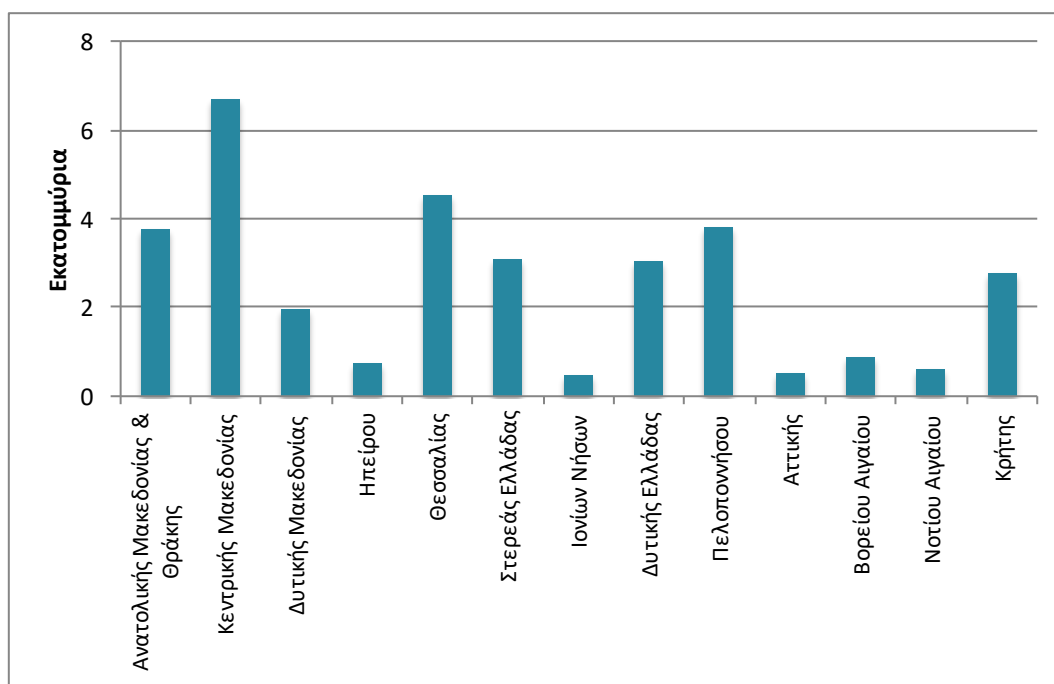
### 4.3 Αξιοποίηση γεωργικών υπολειμμάτων για την παραγωγή βιομάζας

Τα γεωργικά υπολείμματα χρησιμοποιούνται ευρέως για την παράγωγή βιομάζας, έτσι αξιοποιούνται πλήρως οι γεωργικές καλλιέργειες, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό υπολειμμάτων παραμένουν ανεκμετάλλευτα στις καλλιέργειες μέχρι είτε να αποσυντεθούν, να καούν ή να χρησιμοποιηθούν για βοσκή ζώων. Τα αγροτικά υπολείμματα που χρησιμοποιούνται κυρίως για την παράγωγή βιομάζας είναι:

- Υπολείμματα αροτριάων καλλιεργειών
  - Άχυρο σιτηρών
  - Στέλεχος καλαμποκιών
- Εκμετάλλευση δενδρώδους βιομάζας
  - Κλαδέματα δέντρων
  - Νεκρά κλαδιά, φλοιοί δέντρων
- Αγροτοβιομηχανικών υπολειμμάτων
  - Πυρήνες φρούτων
  - Περικάρπια ξηρών καρπών
  - Υπολείμματα οινοποίησης
- Ζωικά Απόβλητα

Η γεωργία αλλά και οι υπόλοιποι τομείς που εξαρτώνται από αυτή αποτελούν σημαντικό τομέα της οικονομίας και ανάπτυξης πολλών χωρών και αναφέρεται πάντα στα γεωγραφικά δεδομένα κάθε χώρας. Η γεωργία στην Ελλάδα βασίζεται σε μικρές διασκορπισμένες οικογενειακές μονάδες, ενώ η έκταση της συνεταιριστικής οργάνωσης παραμένει σε χαμηλά συγκριτικά επίπεδα, έναντι όλων των προσπαθειών που έχουν γίνει τα τελευταία 30 χρόνια, κυρίως υπό την εποπτεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η ελληνική γεωργία απασχολεί 528.000 αγρότες, το 12% του συνολικού εργατικού δυναμικού. Παράγει μόνο το 3,6% του εθνικού ΑΕΠ (περίπου 15 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως). Πολλοί μετανάστες της χώρας απασχολούνται στον αγροτικό τομέα της οικονομίας. Η Ελλάδα παράγει μια μεγάλη ποικιλία καλλιεργειών και προϊόντων κτηνοτροφίας. Η αλιεία διαδραματίζει επίσης σημαντικό ρόλο, ενώ η δασοκομία διαδραματίζει δευτερεύων ρόλο.

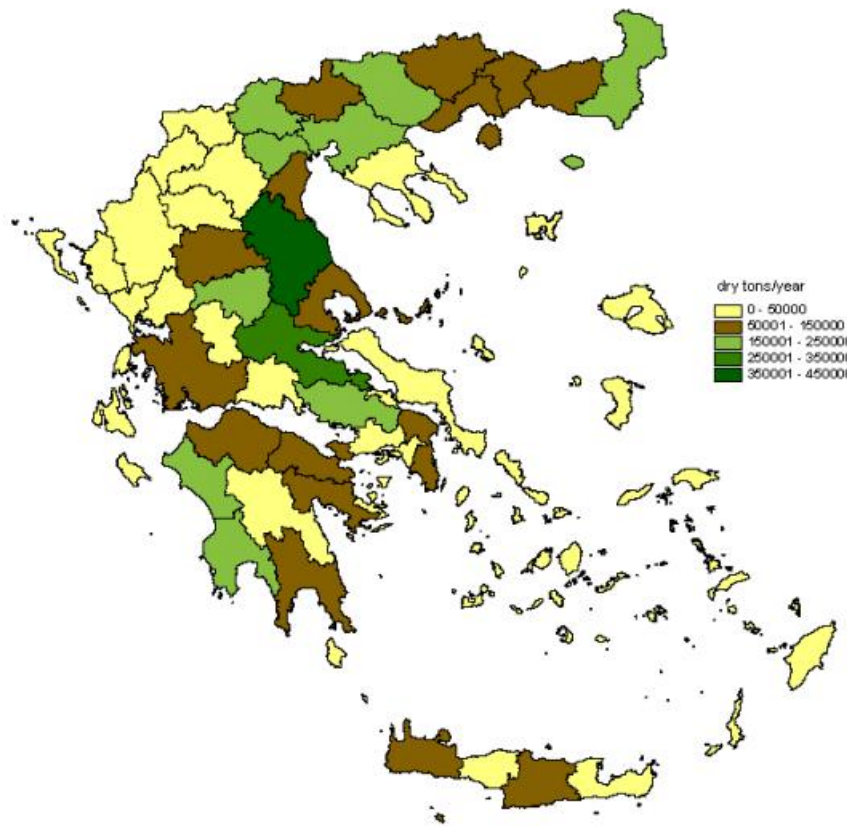
Συμφώνα με στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας για το 2013 η συνολική έκταση των γεωργικών καλλιεργειών στην Ελλάδα είναι περίπου 32.825.170 στρέμματα, από αυτά τα 17.370.581 είναι αροτριαίες καλλιέργειες, τα 673.195 είναι κηπευτικά, τα 10.164.095 είναι δενδρώδεις καλλιέργειες, τα 947.228 αποτελούν αμπελώνες και τα 3.670.071 για αργανάπαυση (1 – 5 χρόνων). Στο Διάγραμμα 4.1 απεικονίζεται η κατανομή των παραπάνω γεωργικών καλλιεργειών σε στρέμματα για κάθε περιφέρεια της χώρας.



**Διάγραμμα 4.1:** Κατανομή στρεμμάτων γεωργικής έκτασης ανά περιφέρεια

Παρατηρείται λοιπόν ότι οι γεωργικές καλλιέργειες καταλαμβάνουν σημαντικό ποσοστό της ελληνικής γης, ακόμα και στα νησιά του Αιγαίου παρόλο το πιο ξηρό περιβάλλον. Έτσι υπάρχουν αξιόλογες ποσότητες αγροτικών υπολειμμάτων που μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή βιομάζας (Εικόνα 4.3).

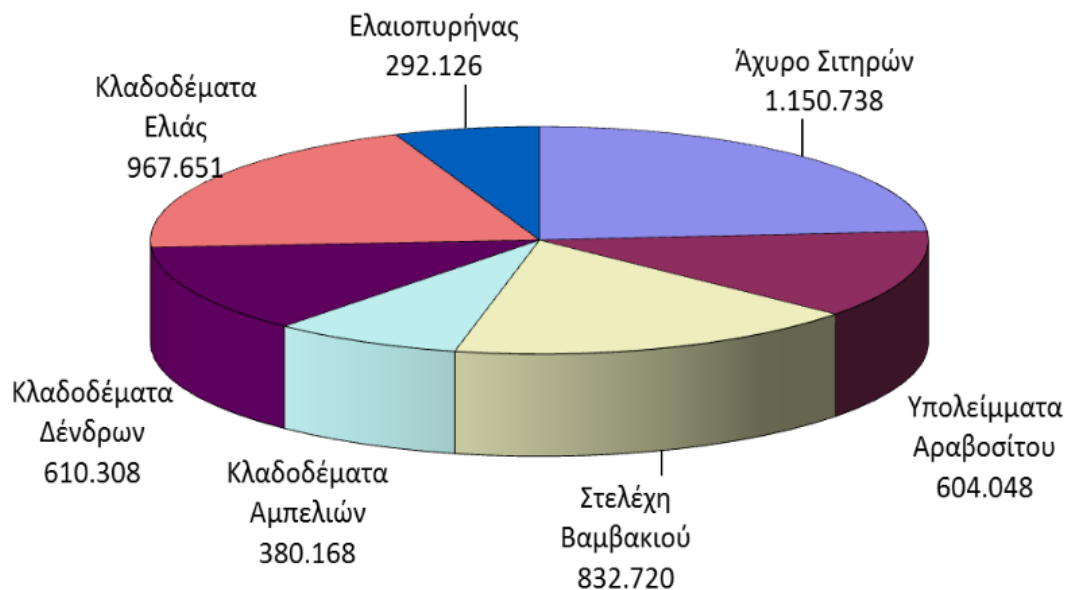




**Εικόνα 4.3:** Θεωρητικό δυναμικό γεωργικών υπολειμμάτων στην Ελλάδα ανά νομό  
( Πηγή: cres.gr)

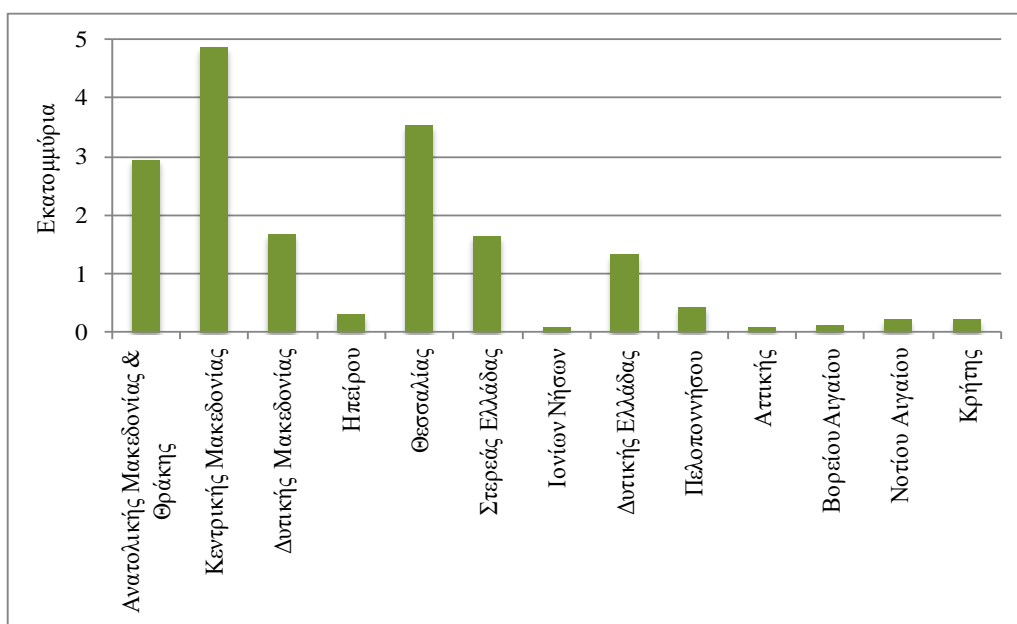
Πέρα από τα άμεσα αγροτικά υπολείμματα που λαμβάνονται από τις γεωργικές καλλιέργειες όπως τα κλαδέματα, το άχυρο σιτηρών, υπάρχουν επίσης και τα αγροτοβιομηχανικά υπολείμματα όπως ο πυρήνας ροδάκινων, βερίκοκων, ελιών κ.α. Η καταμέτρηση των αγροτικών υπολειμμάτων είναι αρκετά δύσκολη διαδικασία, καθώς υπάρχουν πολλές αποκλίσεις μεταξύ των διάφορων μελετών συνήθως λόγω λήψης διαφορετικών παραδοχών, διακύμανση της ετήσιας απόδοσης της παράγωγης, διαφορετική ποιότητα γεωργικής γης κάθε περιοχής και οι διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές που ακολουθούνται από κάθε παραγωγό. Επομένως όλες οι τιμές που θα παρουσιαστούν παρακάτω για τις ποσότητες υπολειμμάτων είναι αρκετά προσεγγιστικές και μπορεί να παρουσιάζουν αποκλίσεις από την πραγματική κατάσταση. Το θεωρητικό διαθέσιμο δυναμικό αγροτικών υπολειμμάτων που θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί για την παραγωγή βιομάζας της χώρας έχει εκτιμηθεί περίπου σε 4,9 Mt ξηρής ουσίας/έτος, στην Εικόνα 4.4 φαίνεται η κατανομή της παραπάνω ποσότητας ανά είδος αγροτικού υπολείμματος.





**Εικόνα 4.4:** Κατανομή διαθέσιμου δυναμικού βιομάζας 2009 (τόνοι ξηρής ουσίας)  
( Πηγή: cres.gr)

Σημαντικό ποσοστό της ελληνικής γης καταλαμβάνουν οι αροτριάες καλλιέργειες, είναι καλλιέργειες που δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις για την καλλιέργεια τους και μπορούν να καλλιεργηθούν ακόμα και σε ημιορεινές περιοχές εκτός από πεδιάδες (Διάγραμμα 4.2). Οι κυριότερες αροτριάες καλλιέργειες περιλαμβάνουν το σιτάρι, καλαμπόκι, βαμβάκι, βρώμη, κριθάρι και σίκαλη. Η μεγάλη σημασία των αροτριάων παγκοσμίως οφείλεται στο ότι παράγουν περισσότερο από όλες τις άλλες κατηγορίες φυτών, παρουσιάζουν μεγάλη προσαρμοστικότητα σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος, αποτελούν την κυριότερη πηγή τροφίμων και αποθηκεύονται εύκολα γιατί περιέχουν μικρό ποσοστό υγρασίας.



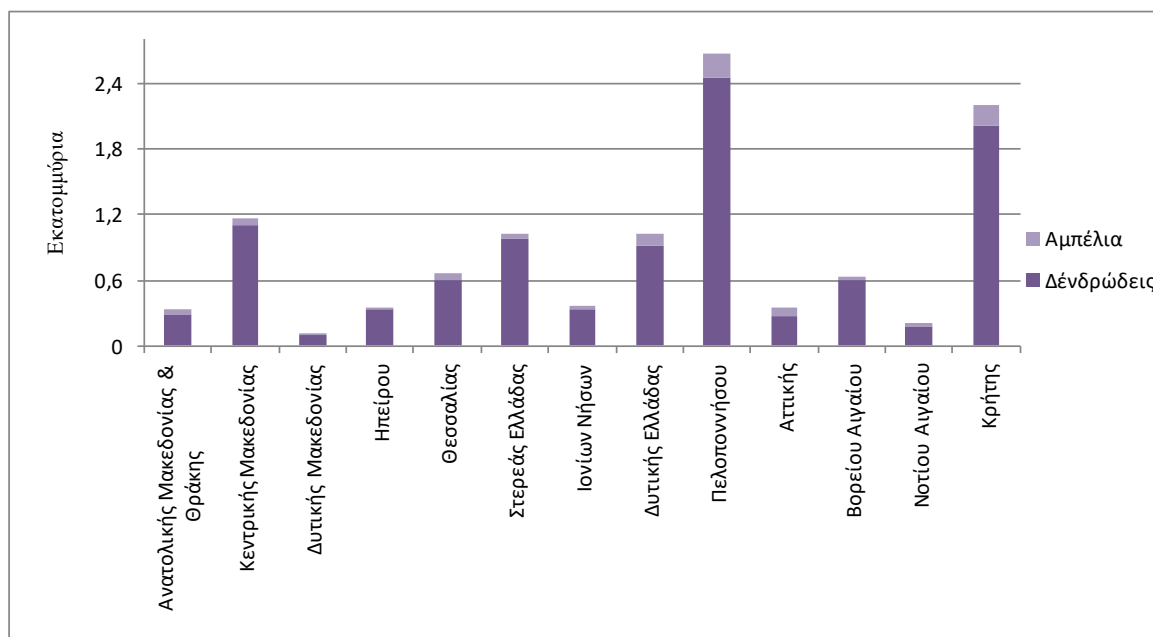
**Διάγραμμα 4.2:** Κατανομή στρεμμάτων αροτριάων καλλιεργειών ανά περιφέρεια

Από τις αροτριάιες καλλιέργειες τα αγροτικά υπολείμματα που μπορούν να αξιοποιηθούν είναι τα άχυρα που παραμένουν στις καλλιέργειες μετά τον θερισμό των σιτηρών (σιτάρι, βρώμη, κριθάρι, σίκαλη), στέλεχη καλαμποκιού και βαμβακιού επίσης από το βαμβάκι μπορούν να αξιοποιηθούν τα υπολείμματα από την εκκόκκιση του σύσπορου του βάμβακος που παραμένουν στα εκκοκκιστήρια. Στον παρακάτω Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι προσεγγιστικές τιμές των χαρακτηριστικών των βασικών υπολειμμάτων από τις αροτριάιες καλλιέργειες.

Καλλιέργειες	Μέρος Φυτού	Υγρασία μετά την συγκομιδή (%)	Παραγωγή ξηράς ουσίας (kg/στρέμμα)	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)	Περίοδος Συλλογής
Σιτάρι	Άχυρο	10	217	18,5	Ιούνιος-Αύγουστος
Κριθάρι	Άχυρο	10	120	18,2	Ιούνιος-Αύγουστος
Καλαμπόκι	Στέλεχος	14,7	1010	18	Σεπτέμβριος-Νοέμβριος
Βρώμη	Άχυρο	8,5	355	18	Ιούνιος-Αύγουστος
Σίκαλη	Άχυρο	8	200	18,3	Ιούνιος-Αύγουστος
Βαμβάκι	Στέλεχος	40	350	18	Σεπτέμβριος-Οκτώβριος
	Υπολείμματα εκκοκκισμού	15	100	17,5	Σεπτέμβριος-Οκτώβριος

**Πίνακας 4.2:** Χαρακτηριστικά υπολειμμάτων αροτριάιων καλλιεργειών

Οι δενδρώδεις καλλιέργειες αποτελούν σημαντικό κομμάτι της γεωργίας στην Ελλάδα όπως οι ελιές, τα αειθαλή και φυλλοβόλα οπωροφόρα δέντρα αλλά και τα αμπέλια (Διάγραμμα 4.3). Οι ελιές αξιοποιούνται σε μεγάλο βαθμό στην Ελλάδα για την παραγωγή ελαιόλαδου, το ελληνικό ελαιόλαδο θεωρείται ένα από τα καλύτερα στον κόσμο με μεγάλη εξαγωγή στο εξωτερικό. Από τα ελαιόδεντρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιομάζας τα κλαδέματα των δέντρων, αλλά και ο πυρήνας που παραμένει στα ελαιοτριβεία μετά την παραγωγή του ελαιολάδου και μετατρέπεται σε πυρηνόξυλο μετά από ξήρανση. Το πυρηνόξυλο αποτελείται από τον πυρήνα της ελιάς, το σαρκώδες μέρος της ελιάς (αποξηραμένη) σε μορφή σκόνης και τη φλούδα του καρπού, επίσης σε μορφή σκόνης. Το πυρηνόξυλο παράγεται από τα ελαιοτριβεία και για να χρησιμοποιηθεί ξηραίνεται είτε σε μεγάλα περιστρεφόμενα ξηραντήρια των πυρηνελαιουργείων, είτε σε μικρή κλίμακα από το ίδιο το ελαιοτριβείο με ειδικά ξηραντήρια βιομάζας που εξασφαλίζουν την ιδανική ξήρανσή του προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Το δυναμικό της χώρας σε πυρηνόξυλο είναι περίπου 300.000 τόνοι.



**Διάγραμμα 4.3:** Κατανομή στρεμμάτων δενδρωδών καλλιεργειών και αμπελιών

Από τις υπόλοιπες δενδρώδεις καλλιέργειες και τα αμπέλια χρησιμοποιούνται τα κλαδέματα τους για την παραγωγή βιομάζας. Επιπλέον αξιοποιούνται οι πυρήνες των ροδάκινων που παραμένουν στις μονάδες επεξεργασίας ροδάκινου, όπου συνήθως ξηραίνονται σε ειδικές μηχανές και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας από βιομάζα, το μεγαλύτερο ποσοστό χρησιμοποιείται από τις ίδιες τις μονάδες για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους και το υπόλοιπο πωλείται. Τέλος, τα κελύφη των ξηρών καρπών όπως των αμύγδαλων και των καρυδιών, που αποτελούν υπολείμματα μονάδων επεξεργασίας ξηρών καρπών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα. Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι προσεγγιστικές τιμές των χαρακτηριστικών κάποιων αγροτικών υπολειμμάτων από δενδρώδεις καλλιέργειες και αμπέλια αλλά και από αγροτοβιομηχανικά υπολείμματα.

Καλλιέργειες	Μέρος Φυτού	Υγρασία μετά την συγκομιδή (%)	Παραγωγή ξηράς ουσίας (kg/στρέμμα)	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)	Περίοδος Συλλογής
Ελιές	Κλαδέματα	43	37,2	19	Δεκέμβριος-Μάρτιος
	Πυρήνας	48	120	19,7	Νοέμβριος-Φεβρουάριος
Ροδακινιές	Κλαδέματα	41	52,1	18,8	Δεκέμβριος-Μάρτιος
	Πυρήνας	20	180	19,3	Μάιος-Σεπτέμβριος
Αμπέλια	Κλαδέματα	39	32,1	18,7	Ιανουάριος-Φεβρουάριος
Βερικοκιές	Κλαδέματα	38	53,2	17,8	Δεκέμβριος-Μάρτιος
Αχλαδιές	Κλαδέματα	39	48,7	18,7	Ιανουάριος-Μάρτιος
Αμυγδαλιές	Κελύφη	20	220	19,1	Αύγουστος-Σεπτέμβριος

**Πίνακας 4.3:** Χαρακτηριστικά υπολειμμάτων από δενδρώδεις καλλιέργειες, αμπέλια και αγροτοβιομηχανίες

#### 4.4 Ενεργειακές καλλιέργειες

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη, τα οποία αξιοποιούνται για την παραγωγή βιομάζας, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς όπως παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων κ.ά. Οι παραδοσιακές καλλιέργειες των οποίων το τελικό προϊόν θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων θεωρούνται, επίσης ενεργειακές καλλιέργειες. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν το σιτάρι, το κριθάρι, ο αραβόσιτος, τα ζαχαρότευτλα κι ο ηλιάνθος όταν χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλης και βιοντίζελ). Οι γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Πολυετείς:
  - *Καλάμι (Arundo donax)*: Το καλάμι ανήκει στα αγρωστώδη πολυετή φυτά. Συναντάται κοντά σε ποτάμια, λίμνες και γενικά σε περιοχές με υψηλή υγρασία, όμως μπορεί να καλλιεργηθεί σε ευρεία κλίμακα εδαφών και κλιμάτων. Η καλλιέργειά του παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα αφού μπορούν να παραχθούν σημαντικές ποσότητες βιομάζας ακόμη και σε συνθήκες μειωμένων εισροών (άρδευση, λίπανση). Στην Ελλάδα οι επιδόσεις των καλλιεργειών καταγράφηκαν από 0,5 έως 3 τόνους ανά στρέμμα σε ξηρή ουσία. Η θερμογόνος αξία του ανέρχεται σε 18,6 MJ/kg ξηρού βάρους, με χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα 1,64% επί του ξηρού βάρους.



**Εικόνα 4.5:** Καλλιέργεια καλαμιού  
(Πηγή: gaiapedia.gr)

- *Αγριαγκινάρα (Cynara cardunculus)*: Πολυετές είδος αγκαθιού, που προσαρμόζεται πολύ καλά στο ξηρό κλίμα των μεσογειακών χωρών και επειδή είναι χειμερινό φυτό, δίνει το μέγιστο των αποδόσεων ακόμη και χωρίς άρδευση, εκμεταλλευόμενο τις φθινοπωρινές και χειμερινές βροχοπτώσεις. Ακόμη λόγω του εύρωστου ριζικού συστήματος που διαθέτει προστατεύει από τη διάβρωση τα επικλινή κι άγονα εδάφη. Η παραγωγή ξηράς ουσίας, ανάλογα την πυκνότητα φύτευσης, κυμάνθηκε από 1 έως 2 τόνους ανά στρέμμα. Η θερμογόνος δύναμη για τα διάφορα μέρη του φυτού κυμαίνεται από 15 έως 24 MJ/kg. Τα φύλλα έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε τέφρα 14%, ενώ για τα υπόλοιπα μέρη είναι από 3,3 έως 5,3% (Εικόνα 4.6).



**Εικόνα 4.6:** Καλλιέργεια αγριαγκινάρας  
(Πηγή: tovima.gr)



- *Μίσχανθος (Miscanthus x giganteus)*: Πολυετές ριζωματώδες φυτό που ανήκει στα αγρωστώδη και με καταγωγή από την ΝΑ Ασία. Χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλές επιδόσεις τόσο σε χλωρή όσο και σε ξηρή ουσία, χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και ανθεκτικότητα σε ασθένειες. Η απόδοση της καλλιέργειας του εξαρτάται από την περιοχή και τις κλιματικές συνθήκες. Στην Ελλάδα το ύψος του φυτού μπορεί να φτάσει τα 3 m και η ετήσια παραγωγή ξηρής ουσίας κυμαίνεται από 1 έως 2 τόνους ανά στρέμμα. Η άρδευση αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την επίτευξη της μέγιστης παραγωγής. Τα στελέχη του έχουν σημαντική θερμιδική αξία 17,3 MJ/kg και χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα 1,64% επί του ξηρού βάρους.



**Εικόνα 4.7:** Καλλιέργεια μίσχανθου  
(Πηγή: gaiapedia.gr)

- *Switchgrass (Panicum virgatum)*: Πολυετές ριζωματώδες φυτό που ανήκει στα αγρωστώδη, με καταγωγή από την Νότιο Αμερική που καλλιεργείται ευρέως στις ΗΠΑ. Υπό κατάλληλες συνθήκες μπορεί να φτάσει τα 2,5 m, μπορεί να αποδώσει σημαντικές ποσότητες βιομάζας κάτω από κατάλληλες συνθήκες και με χαμηλές αρδευτικές ανάγκες. Στην Ελλάδα οι αποδόσεις του κυμάνθηκαν από 1,7 τόνους ξηρής ουσίας σε συνθήκες μη άρδευσης και 2,1 τόνους για αρδευόμενες καλλιέργειες, με θερμογόνο δύναμη 17,4 MJ/kg.



**Εικόνα 4.8:** Καλλιέργεια switchgrass  
(Πηγή: gaiapedia.gr)

- Ετήσιες
  - *Γλυκό σόργο (Sorghum bicolor)*: Ετήσιο αγρωστώδες φυτό, που προέρχεται από την Ασία και απαντάται σε περιοχές με υποτροπικό έως εύκρατο κλίμα και έχει υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά σάκχαρα στο στέλεχος. Η καλλιέργειά του παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα αφού μπορούν να παραχθούν σημαντικές ποσότητες βιομάζας ακόμη και σε συνθήκες μειωμένων εισροών (άρδευση, λίπανση). Είναι ενδιαφέρον φυτό για παραγωγή βιοαιθανόλης εξαιτίας της υψηλής του περιεκτικότητας σε διαλυτά σάκχαρα (40%) και της υψηλής απόδοσης σε βιομάζα 1,2 τόνους ανά στρέμμα.



**Εικόνα 4.9:** Καλλιέργεια γλυκού σόργου  
(Πηγή: farmacon.gr)

- *Κενάφ (Hibiscus cannabinus)*: Ετήσιο αγρωστώδες φυτό μικρής ημέρας, είναι φυτό τροπικών και υποτροπικών κλιμάτων, που μπορεί να προσαρμοστεί σε ένα μεγάλο εύρος κλιματικών και εδαφικών συνθηκών. Από πειραματικές καλλιέργειες στην Ελλάδα προέκυψε ότι η απόδοση σε ξηρή ουσία κυμαίνεται από 0,7 έως 2,4 τόνους ανά στρέμμα.



**Εικόνα 4.10:** Καλλιέργεια κενάφ  
(Πηγή: gaiapedia.gr)

- *Ελαιοκράμβη (Brassica napus, Brassica carinata)*: Ετήσιο φυτό που ανήκει στη οικογένεια των Σταυρανθών, καλλιεργείται κυρίως ως πρώτη υλη για την παραγωγή ελαίου και τα υπολείμματα της χρησιμοποιούνται στην κτηνοτροφία λόγω υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη. Θεωρείται παγκοσμίως ως το τρίτο σημαντικότερο ελαιοπαραγωγό φυτό, μετά τη σόγια και το φοίνικα. Ο μικρός στρογγυλός σπόρος της έχει κατά μέσο όρο μεγάλη περιεκτικότητα σε λάδι (30 – 50%). Οι αποδόσεις σε σπόρο και ξηρή βιομάζα κυμαίνονται από 120 έως 250 kg ανά στρέμμα και 300 έως 800 kg ανά στρέμμα αντίστοιχα. Από ένα στρέμμα που παράγει 120 – 250 kg σπόρου μπορούν να παραχθούν 43 έως 90 λίτρα βιοντίζελ.

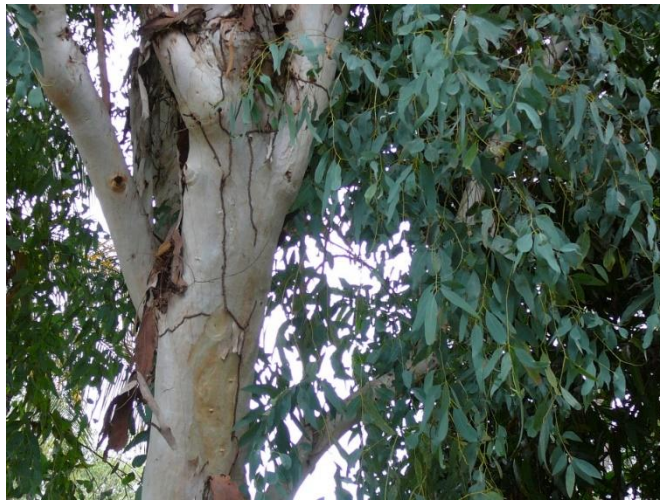


**Εικόνα 4.11:** Καλλιέργεια ελαιοκράμβης  
(Πηγή: agronews.gr)



Εκτός από τις γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες υπάρχουν επίσης οι δασικές και συγκεκριμένα:

- *Ευκάλυπτος (Eucalyptus globulus labill & camaldulensis dehh)*: Ο ευκάλυπτος είναι ένα μακρόβιο και αειθαλές δέντρο που έχει γρήγορη ανάπτυξη. Το είδος *camaldulensis dehh* πληροί τις προδιαγραφές των ενεργειακών καλλιεργειών, καθώς παρουσιάζει καλύτερη ικανότητα προσαρμογής σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, αναπτύσσεται γρήγορα και μεγάλη παραγωγή βιομάζας. Ακόμη η επίδραση της άρδευσης και λίπανσης δεν έχουν στατιστικά σημαντική επίδραση στην απόδοση της καλλιέργειας. Η ετήσια απόδοση ξηρής ουσίας της καλλιέργειας ευκαλύπτου είναι 1,8 έως 3,2 τόνους ανά στρέμμα με θερμογόνο δύναμη 19 MJ/kg.



**Εικόνα 4.12:** Δέντρο ευκαλύπτου  
(Πηγή: greenagenda.gr)

- *Ψευδακακία (Robinia pseudoacacia)*: Είναι ψυχανθές, πολυετές και δενδρώδες φυτό, που χαρακτηρίζεται από ταχύτατη ανάπτυξη του υπέργειου μέρους, σημαντική παραγωγή βιομάζας και εξαιρετική αναβλάστηση μετά την κοπή. Το ενδιαφέρον για την ψευδακακία αυξάνει τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Ασία. Η ψευδακακία, εξαιτίας του ταχύτατου ρυθμού ανάπτυξης, της υψηλής πυκνότητας του ξύλου και της χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, σε σχέση με άλλα είδη, θεωρείται πολύ παραγωγικό φυτό σε βιομάζα.



**Εικόνα 4.13:** Δέντρο ψευδακακίας  
(Πηγή: gaiapedia.gr)

Για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ο ευκάλυπτος, η ψευδακακία, το καλάμι, ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα, το ινώδες σόργο, το κενάφ και το switchgrass (Πίνακας 4.4). Για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων τα ενεργειακά φυτά που μπορούν να αξιοποιηθούν είναι ο ηλίανθος, η ελαιοκράμβη, η σόγια και άλλα ελαιούχα φυτά (που περιέχουν ελαιούχους σπόρους) για την παραγωγή βιοντίζελ και το γλυκό σόργο, το σιτάρι, το καλαμπόκι, και άλλα για την δημιουργία βιοαιθανόλης. Ενώ για την παραγωγή αέριων βιοκαυσίμων κατάλληλα είναι η αγριαγκινάρα, το σόργο και το καλαμπόκι.

Στην Ελλάδα οι ενεργειακές καλλιέργειες που έχουν αναπτυχθεί είναι περίπου 75.000 στρέμματα ελαιοκράμβης, οι περιοχές όπου καλλιεργείται είναι στη Βόρειο Ελλάδα ( Λαγκαδάς Θεσσαλονίκης, Σέρρες και Ξάνθη) και παρέχουν αξιόλογη ποσότητα παραγωγής. Ακόμη υπολογίζεται ότι υπάρχουν προσεγγιστικά 35.000 στρέμματα καλλιέργειών αγριαγκινάρας, κυρίως στην περιοχή της Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας, που μετατρέπονται σε μορφή σύμπηκτων (pellets) και αποτελεί στερεό καύσιμο βιομάζας με υψηλή θερμογόνο δύναμη.

Καλλιέργειας	Παραγωγή ξηρής ουσίας (tn/στρέμμα)	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)	Συλλογή
<b>Αγριαγκινάρα</b>	1 - 2	18	Ιούλιο-Αύγουστο
<b>Καλάμι</b>	2 - 3	18,6	Ιανουάριο-Φεβρουάριο
<b>Μίσχανθος</b>	1 - 2	17,3	Δεκέμβριο-Φεβρουάριο
<b>Ευκάλυπτος</b>	1,8 - 3,2	19	Όλο το έτος
<b>Switchgrass</b>	1,4 - 2,5	17,4	Νοέμβριο-Φεβρουάριο
<b>Κενάφ</b>	0,7 - 2	17	Οκτώβριο-Δεκέμβριο
<b>Σόργο</b>	1 - 3	17,2	Οκτώβριο

**Πίνακας 4.4:** Ετήσια παραγωγή ξηρής ουσίας, θερμογόνος δύναμη και περίοδος συλλογής ενεργειακών καλλιιεργειών για παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων

Τα πλεονεκτήματα των ενεργειακών καλλιεργειών είναι τα παρακάτω:

- Μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και της ρύπανσης του περιβάλλοντος.
- Προστασία των εδαφών έναντι της διάβρωσης.
- Εκμετάλλευση εδαφών χαμηλής γονιμότητας.
- Σημαντικό κέρδος για τους απασχολούμενους αγρότες.
- Τα περισσότερα ενεργειακά φυτά έχουν ελάχιστες απαιτήσεις άρδευσης, καθώς αξιοποιούν κυρίως το νερό των βροχοπτώσεων.
- Χαμηλές εισροές λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.

Ενώ κάποια από τα μειονεκτήματα είναι:

- Εποχιακή παραγωγή και μεγάλη διασπορά.
- Αυξημένος όγκος και υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία.
- Απαιτηση μεγάλων εδαφικών εκτάσεων για την παραγωγή τους.
- Δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευση.

#### **4.5 Εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης βιομάζας**

Για την αξιοποίηση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας απαιτούνται κατάλληλες εγκαταστάσεις για την εκμετάλλευση της, είτε για την παραγωγή θερμικής ενέργειας ή για ηλεκτροπαραγωγή (συμπαράγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας). Αρχικά για την δημιουργία μίας μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται περιβαλλοντική άδεια, αδειοδότηση ν. 3468/2006, εξασφάλιση πρόσβασης στο δίκτυο και εξασφάλιση κατάλληλου καυσίμου βιομάζας. Η χορήγηση άδειας για ηλεκτροπαραγωγή δίνεται από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), επίσης από τον αρμόδιο διαχειριστή (ΔΕΔΔΗΕ) άδεια για τη σύνδεση των σταθμών που εξαιρούνται της λήψης άδειας παραγωγής. Όριο απαλλαγής από την υποχρέωση έκδοσης άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα, βιοαέριο και βιορευστά είναι το 1 MW εγκατεστημένης ισχύος.

Η ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα διαφέρει από τις υπόλοιπες ΑΠΕ στο ότι η αρχική ενεργειακή πηγή αποτελείται από ένα πλήθος πρώτων υλών με ποικίλες ιδιότητες. Για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα πρέπει να συνεργάζονται δύο διαφορετικά συστήματα:

- ένα σύστημα τροφοδοσίας που παράγει, συλλέγει και παραδίδει το καύσιμο
- και ένας σταθμός που παράγει και διαθέτει την ηλεκτρική ενέργεια.

Αντίθετα με άλλες εγκαταστάσεις ΑΠΕ που απαιτούν ακριβές και εξελιγμένες εγκαταστάσεις, η βιομάζα μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια με εξοπλισμό και σταθμούς ίδιου τύπου με αυτούς που λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα. Οι διαδικασίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία της βιομάζας είναι οι παρακάτω:

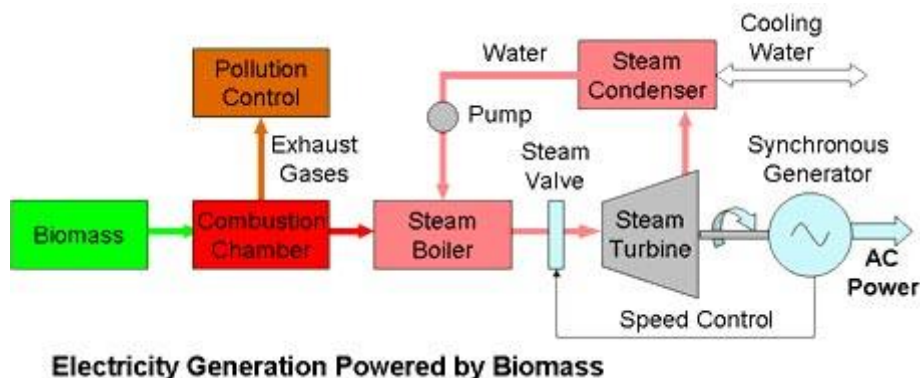
- *Άμεση καύση:* Η οξείδωση της βιομάζας με περίσσεια αέρα, η οποία παρέχει θερμά καυσαέρια (800-1.000°C) που παράγουν ατμό. Στη συνέχεια ο ατμός χρησιμοποιείται για την ηλεκτροπαραγωγή, εκτονωμένος μέσω ατμοστροβίλου σε ένα κύκλο Rankine. Συνήθως σε ένα κύκλο ατμού με συμπύκνωση παράγεται μόνο ηλεκτρισμός, ενώ σε έναν κύκλο με απομάστευση πραγματοποιείται συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.
- *Αεριοποίηση:* Είναι η μετατροπή της βιομάζας σε μίγμα εύφλεκτων αερίων από τη μερική οξείδωση της οργανικής ύλης παρουσία ατμού σε υψηλές θερμοκρασίες, στην περιοχή 800-900° C. Το αέριο που παράγεται καθαρίζεται μέσω διαφόρων ειδικών φίλτρων και στη συνέχεια χρησιμοποιείται ως καύσιμο που τροφοδοτεί αεροστροβίλους για την παραγωγή ενέργειας.
- *Πυρόλυση:* Είναι η μετατροπή της βιομάζας σε υγρά (βιοέλαιο), στερεά και αέρια προϊόντα με τη θέρμανση της βιομάζας απουσία αέρα σε θερμοκρασία γύρω στους 500° C. Η πυρόλυση μπορεί να παράγει αποκλειστικά βιοέλαιο, με βαθμό απόδοσης μέχρι και 80% με τη διαδικασία της αστραπιαίας πυρόλυσης. ο βιοέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του πετρελαίου (έχει λιγότερο από μισή θερμογόνο δύναμη) σε εφαρμογές θέρμανσης, λέβητες, φούρνους αλλά και μηχανές εσωτερικής καύσης.

Μία μονάδα αξιοποίησης της βιομάζας ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη μέθοδο της αεριοποίησης αποτελείται από τα παρακάτω βασικά επιμέρους τμήματα (Εικόνα 4.7):

- Την μονάδα ξήρανσης γεωργικών υπολειμμάτων για την απομάκρυνση της υγρασίας και την μετατροπή τους σε καύσιμο βιομάζας. Σε μονάδες που χρησιμοποιούν καύσιμο σύμπηκτα (pellets) δεν είναι υποχρεωτική η εγκατάσταση της.
- Τον αποθηκευτικό χώρο, όπου τοποθετείται η βιομάζα ώστε να διατηρεί τις ιδιότητες της σταθερές και να μην αλλοιωθεί, μέχρι τη στιγμή που θα διοχετευθεί στον αεριοποιητή για να ξεκινήσει η διαδικασία αεριοποίησης.
- Τον αεριοποιητή, εφόσον η βιομάζα έχει τροφοδοτηθεί εκεί, ξεκινάει η διαδικασία αεριοποίησης. Στη θερμική αεριοποίηση, στόχος της διεργασίας είναι να μετατρέψει πλήρως το στερεό καύσιμο σε ένα εύφλεκτο αέριο μείγμα. Για να επιτευχθεί το παραπάνω, απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες διεργασίας (700–1100°C) και ένα σημαντικό τμήμα της ενεργειακής πρώτης ύλης θα μετατραπεί σε ένα σύνθετο αέριο (syngas) στο εσωτερικό του αεριοποιητή.
- Το σύστημα καθαρισμού ή φιλτραρίσματος. Το σύνθετο αέριο αποτελεί ένα μείγμα χημικών στοιχείων. Σε αυτό το στάδιο λαμβάνει χώρα ο καθαρισμός με διάφορα

φίλτρα και εν συνεχεία η ψύξη του αερίου, ώστε το τελικό αποτέλεσμα (αέριο) να καταλήξει στην τελική επιθυμητή μορφή και να είναι κατά το μέγιστο αποδοτικότερο.

- Τη δεξαμενή ύδατος. Κατά την είσοδο του παραγόμενου αερίου στο σύστημα φιλτραρίσματος, απαιτείται η χρήση ύδατος για τον καθαρισμό και την ψύξη του. Η δεξαμενή, που αποτελείται από τέσσερεις θαλάμους, κατασκευάζεται σε κοντινή απόσταση και η σύνδεση πραγματοποιείται μέσω ειδικών σωλήνων με υψηλές μηχανικές αντοχές.
- Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (διάταξη genset): γεννήτρια - μηχανή εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Εφόσον το αέριο έχει υποστεί όλες τις προαναφερθείσες διεργασίες, τροφοδοτείται στη ΜΕΚ, η οποία καταναλώνει το αέριο και σε συνεργασία με την γεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια, με σημαντικά υψηλές αποδόσεις.
- Τα έργα υποδομής, που απαιτούνται για τη βέλτιστη λειτουργία της μονάδας βιομάζας. Σε αυτά συγκαταλέγονται η μεταλλική κατασκευή για την προστασία του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, έργα οδοποιίας για την εύκολη και χωρίς προβλήματα πρόσβαση, πυρασφάλεια, περίφραξη, σύστημα ασφαλείας κ.α.

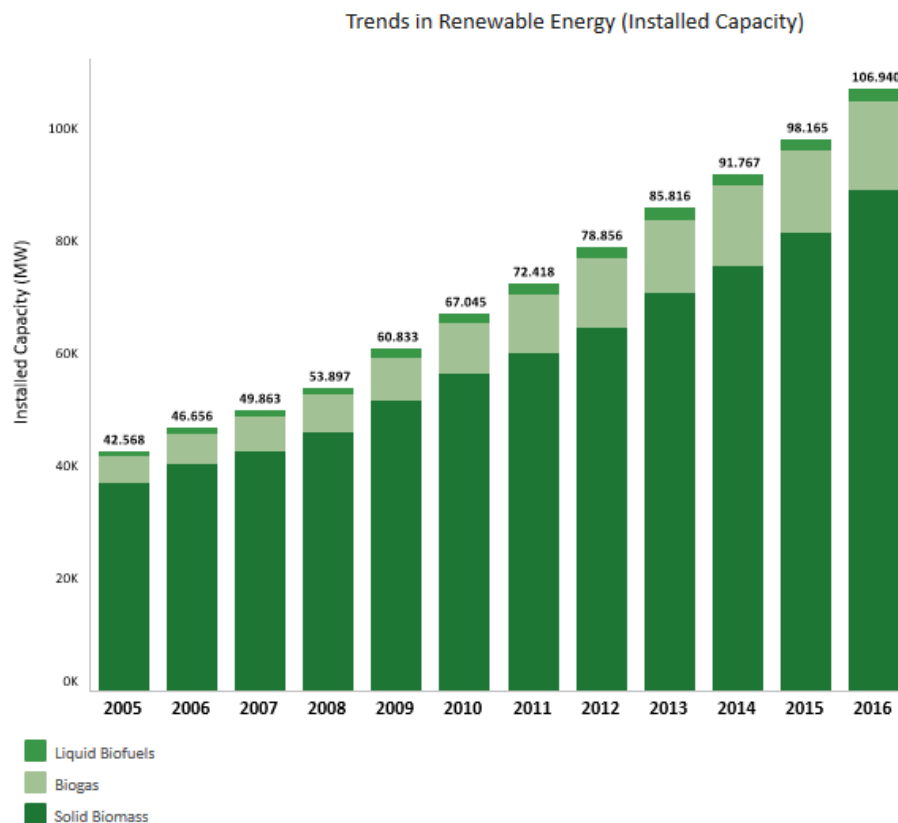


**Εικόνα 4.7:** Διάταξη μονάδας παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα  
(Πηγή: zbgboiler.com)

#### **4.6 Αξιοποίηση βιομάζας στην Ελλάδα και τον Κόσμο**

Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στον πλανήτη μας υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε  $172 \cdot 10^9$  τόνους ξηρής ουσίας, αλλά μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα. Συμφωνά με στοιχεία για το έτος 2015, η ενέργεια από βιομάζα κάλυψε το 2% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται σημαντική αύξηση της χρήσης βιομάζας, όχι μόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης αλλά και την παραγωγή βιοκαυσίμων, όπως

βιοαιθανόλης (Εικόνα 4.8). Συγκεκριμένα την δεκαετία από το 2006 έως το 2016, η εγκατεστημένη ισχύς μονάδων αξιοποίησης βιομάζας για παραγωγή ενέργειας αυξήθηκε από την τιμή 47 σε 107 GW, ενώ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσίασε αύξηση από 209 TWh σε 477 TWh. Οι 5 χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα στον κόσμο είναι οι ΗΠΑ με 62 TWh, η Κίνα με 53 TWh, η Γερμανία με 50 TWh, η Βραζιλία με 49 TWh και η Ιαπωνία με 35 TWh.



**Εικόνα 4.8:** Παγκόσμια ετήσια εγκατεστημένη ισχύς εγκαταστάσεων αξιοποίησης βιομάζας (Πηγή: IRENA)

Στην Ελλάδα τα ετήσια διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατ. τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί με τα σημερινά δεδομένα να ξεπεράσει αρκετά εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30-40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. Σημειώνεται ότι 1 τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0,4 τόνους πετρελαίου. Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμότητας στον οικιακό τομέα (θέρμανση, μαγειρική), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργεία και στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάμινοι κ.α.) σε περιορισμένη όμως κλίμακα.

Σύμφωνα με στοιχεία για το έτος 2016 μόλις το 2,5% της ηλεκτρικής ζήτησης της χώρας καλύφθηκε με τη χρήση βιομάζας. Συγκεκριμένα για το ίδιο έτος η συνολική εγκατεστημένη

ισχύς 38 μονάδων αξιοποίησης βιομάζας και βιοαερίου ήταν 59,1 MW, από αυτές οι 31 είναι μονάδες βιοαερίου με ισχύ 51 MW. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις παραπάνω μονάδες ήταν 253 GWh. Τέλος, η εκμετάλλευση βιομάζας καθώς και βιοαερίου παρουσιάζουν σημαντικές προοπτικές στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ως στόχος της Ελλάδας, που έχει οριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση είναι έως το έτος 2020 η εγκατεστημένη ισχύς της να φτάσει την τιμή των 350 MW.

#### 4.7 Θεωρητικό δυναμικό βιομάζας στην Αστυπάλαια

Στην Αστυπάλαια η γεωργία δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένος τομέας απασχόλησης, τα γεωργικά προϊόντα που παράγονται χρησιμοποιούνται για τις ανάγκες της τοπικής κοινωνίας. Η γεωργική δραστηριότητα ως προς τη φυτική παραγωγή εντοπίζεται στις πεδινές εκτάσεις στο νοτιοδυτικό και βορειοανατολικό τμήμα του νησιού (Λιβάδι και Βαθύ αντίστοιχα). Η άρδευση γίνεται από ιδιωτικά πηγάδια - γεωτρήσεις, από το φράγμα αλλά και από το δημοτικό δίκτυο ύδρευσης. Σύμφωνα με στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, η έκταση της γης που δύναται να καλλιεργηθεί φτάνει τα 3.700 στρέμματα, ενώ η έκταση της γης που αξιοποιείται στο νησί για τις γεωργικές καλλιέργειες είναι 2.267 στρέμματα από αυτά τα 310 είναι αρδευόμενα. Η κατανομή των παραπάνω εκτάσεων παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.5.

Κατηγορίες Καλλιεργειών	Σύνολο έκτασης (στρέμματα)	Αρδευόμενη έκταση (στρέμματα)
Φυτά μεγάλης καλλιέργειας (αροτριάια κτλ)	973	88
Κηπευτικά-Θερμοκήπια	109	109
Αμπέλια	25	25
Δενδρώδεις καλλιέργειες	306	88
Αγρανάπαυση	854	-
<b>Σύνολο</b>	<b>2267</b>	<b>310</b>

Πίνακας 4.5: Κατανομή γεωργικής γης Αστυπάλαιας

Τα ετήσια γεωργικά υπολείμματα που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν από τις παραπάνω γεωργικές καλλιέργειες είναι τα κλαδέματα των δενδρωδών καλλιεργειών και των αμπελιών, οι πυρήνες μετά την επεξεργασία των ελιών και τα υπολείμματα των αροτριάιων καλλιεργειών. Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας που έχει τη δυνατότητα να παράγει από το θεωρητικού δυναμικό βιομάζας του νησιού θεωρήθηκε συντελεστής απόδοσης της μονάδας 0,35 και προσεγγιστικά μπορούν να παραχθούν 190 MWh ανά έτος (Πίνακας 4.6). Για την εκμετάλλευση της ηλεκτρικής ενέργειας από την αξιοποίηση των αγροτικών υπολειμμάτων για την παράγωγή καυσίμου βιομάζας απαιτείται η κατασκευή μονάδας παραγωγής ενέργειας εγκατεστημένης ισχύς 0,5 – 1 MW με συντελεστή απόδοσης



0,35, εξαρτάται αν θα καλλιεργηθούν ενεργειακές καλλιέργειες που θα αυξήσουν πολύ σημαντικά το δυναμικό του νησιού σε βιομάζα.

Από τις ενεργειακές καλλιέργειες που αναφέρθηκαν, αυτή που κρίνεται πιο κατάλληλη να καλλιεργηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του νησιού και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτό είναι η αγριαγκινάρα. Όπως αναφέρθηκε αποτελεί ένα φυτό που προσαρμόζεται εύκολα στις κλιματολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής, το κυριότερο πλεονέκτημά του είναι ότι αναπτύσσεται από τον Οκτώβριο έως τον Ιούνιο και αναπτύσσεται εκμεταλλεύόμενο το νερό των φθινοπωρινών και χειμερινών βροχοπτώσεων. Βέβαια η προσθήκη άρδευσης τους μήνες του Απρίλιου και του Μαΐου μπορεί να μεγιστοποιήσει την παραγωγή σε ξηρή ουσία της καλλιέργειας και να φτάσει σχεδόν τη διπλάσια ποσότητα. Για άρδευση λοιπόν της καλλιέργειας για δύο μήνες ετησίως, ο προσεγγιστικός όγκος νερού που απαιτείται είναι 180 m<sup>3</sup>/στρέμμα (Πίνακας 4.7).

<b>Καλλιέργειες</b>	<b>Έκταση (στρέμματα)</b>	<b>Παραγωγή Υπολειμμάτων (tn)</b>	<b>Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)</b>	<b>Ηλεκτρική Ενέργεια (MWh)</b>
Αμπέλια	25	0,8	18,7	1,46
Ελαιόδεντρα	181	28,5	19,6	54,07
Δενδρώδεις	125	6,5	18,5	11,69
Καλαμπόκι	5	5,1	18	8,84
Σιτάρι	20	4,3	18,5	7,81
Κριθάρι	350	42,0	18,2	74,32
Βρώμη	50	17,8	18	31,06
<b>Σύνολο</b>	<b>756</b>	<b>104,9</b>	<b>-</b>	<b>189,2</b>

**Πίνακας 4.6:** Ετήσιο θεωρητικό δυναμικό ενέργειας από βιομάζα στην Αστυπάλεια



<b>Καλλιέργεια</b>	<b>Έκταση (στρέμματα)</b>	<b>Ετήσιος Όγκος νερού άρδευσης (m<sup>3</sup>/στρέμμα)</b>	<b>Παραγωγή ξηρής ουσίας (tn/στρέμμα)</b>	<b>Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας (MWh)</b>
<b>Αγριαγκινάρα</b>	500	- 180	500 1000	875 1750

**Πίνακας 4.7:** Ετήσιο θεωρητικό ενεργειακό δυναμικό καλλιέργειας αγριαγκινάρας στην Αστυπάλαια για περίπτωση χωρίς άρδευση και με άρδευση



## **5. Διερεύνηση ενεργειακού μείγματος της Αστυπάλαιας**

### **5.1 Εισαγωγή**

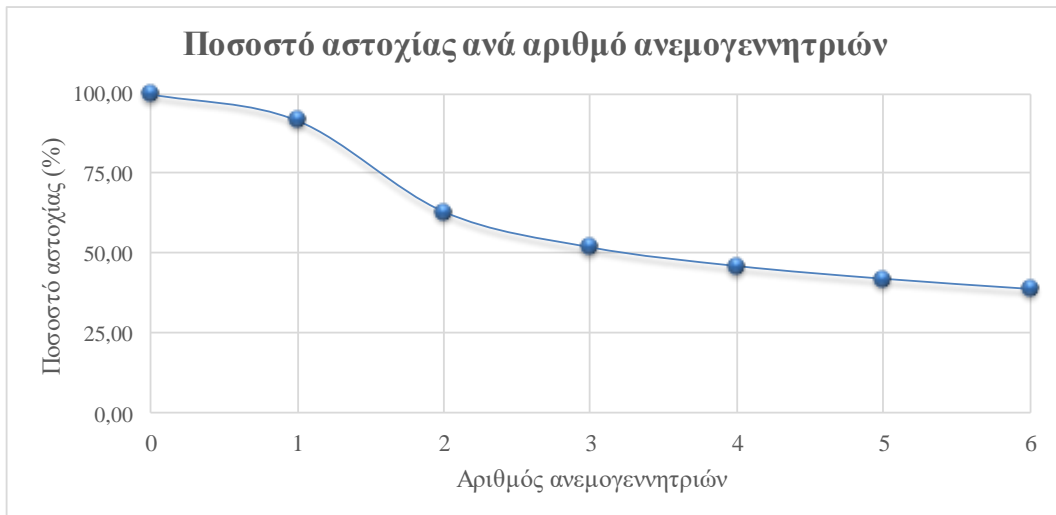
Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί διερεύνηση του ενεργειακού μείγματος της Αστυπάλαιας και η προσθήκη σε αυτό ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το υπάρχον σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι μη συνδεδεμένο από το κεντρικό δίκτυο της χώρας και χρησιμοποιεί ενέργεια από πετρελαϊκούς σταθμούς για την κάλυψη της ενέργειας ζήτησης. Η εγκατεστημένη ισχύς είναι 4,66 MW και η αποδιδόμενη ισχύς είναι 3,9 MW, ενώ σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΗ για τα έτη 2014 και 2015 η μέση ωριαία αιχμή ζήτησης ήταν 2,24 MWh και η μέση ετήσια ζήτηση ενέργειας ήταν 6,25 GWh. Σκοπός είναι να διερευνηθεί κατά πόσο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα μπορούσαν να συμβάλουν στην κάλυψη της ζήτησης ενέργειας και κατά πόσο είναι δυνατό να μειωθεί η συμμετοχή του πετρελαίου στο ενεργειακό μείγμα του νησιού. Θα εξεταστούν μερικές περιπτώσεις προσθήκης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα του νησιού, συγκεκριμένα της αιολικής, ηλιακής, αλλά και της ενέργεια από βιομάζα.

### **5.2 Διερεύνηση αιολικής και ηλιακής ενέργειας**

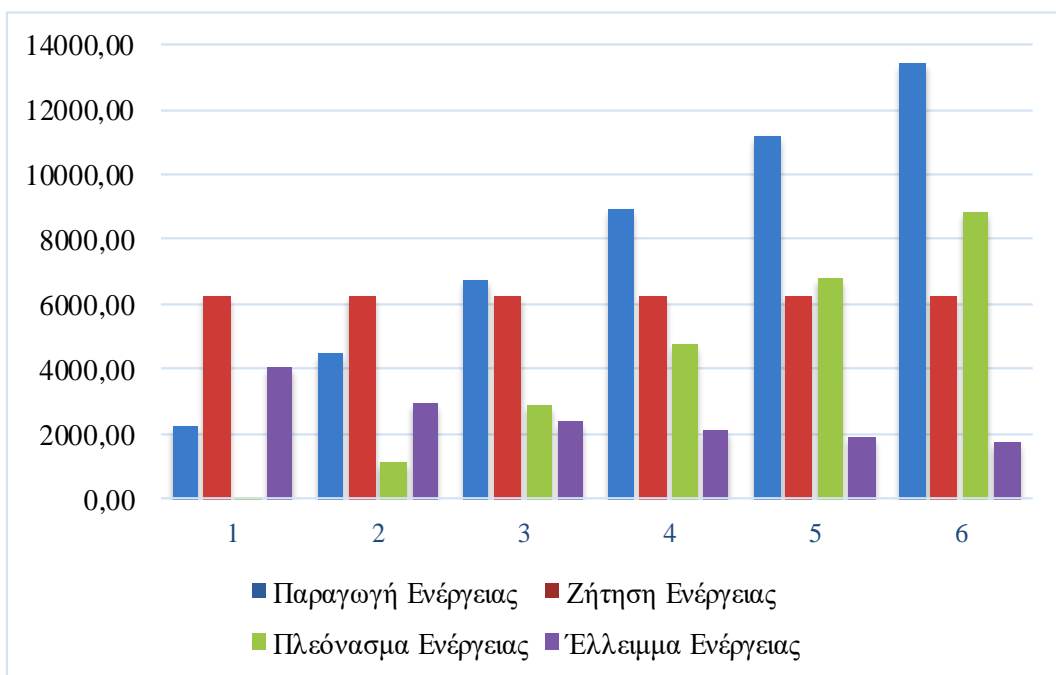
#### **5.2.1 Προσθήκη ανεμογεννητριών**

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο διερευνήθηκε η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στην Αστυπάλαια για την συμμετοχή της στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού, έχοντας την ωριαία χρονοσειρά του θεωρητικού αιολικού δυναμικού 100 χρόνων. Το μοντέλο της ανεμογεννήτριας που επιλέχθηκε είναι ισχύος 500 kW, ύψους 75 m και διαμέτρου 54 m, συντελεστή απόδοσης 0,5 και με ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 2.233 MWh. Παρακάτω λοιπόν θα εξεταστεί η προσθήκη ανεμογεννητριών, χρησιμοποιώντας υπολογιστικό φύλλο Excel και αξιοποιώντας τις ωριαίες χρονοσειρές της ταχύτητας ανέμου και της ωριαίας συνθετικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

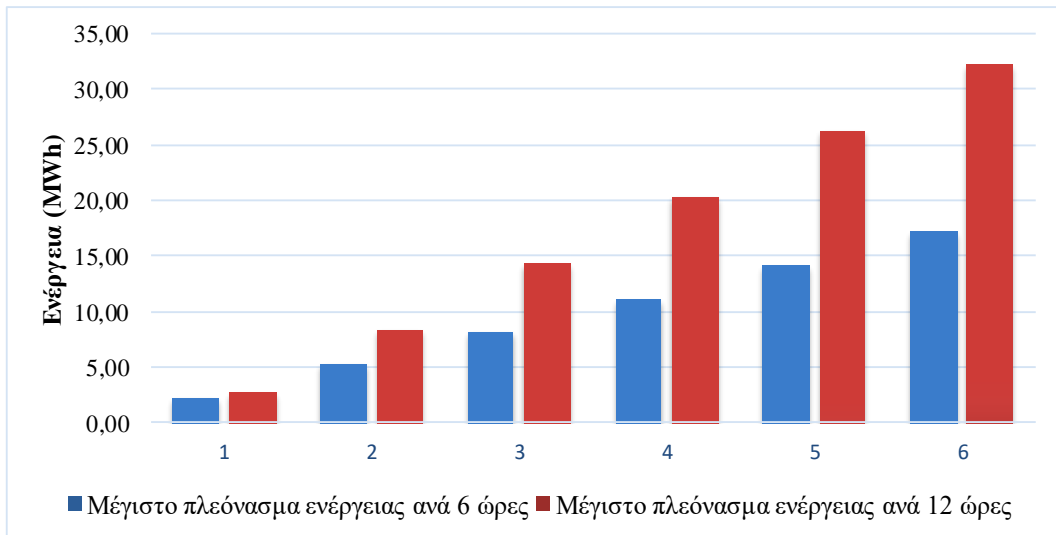
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι για κάθε ωριαία τιμή της ταχύτητας ανέμου υπολογίστηκε η αντίστοιχη τιμή της παραγόμενης ενέργειας από την ανεμογεννήτρια, έχοντας την αντίστοιχη ωριαία ζήτηση, αλλά και το ωριαίο πλεόνασμα και έλλειμμα ενέργειας. Εξετάστηκε η προσθήκη μέχρι 6 ανεμογεννητριών των 500 kW. Αρχικά υπολογίστηκε το ποσοστό αστοχίας ανά αριθμό ανεμογεννητριών, το ποσοστό όπου η διαφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την ανεμογεννήτρια από την αντίστοιχη τιμή της ζήτησης είναι μικρότερη του μηδενός, δηλαδή το ποσοστό όπου οι ανεμογεννήτριες αστοχούν να καλύψουν την ωριαία ηλεκτρική κατανάλωση (Διάγραμμα 5.1). Στη συνέχεια κατασκευάστηκε το διάγραμμα της παραγόμενης, του πλεονάσματος και του ελλείμματος ενέργειας ανά αριθμό ανεμογεννητριών, ώστε να συγκριθούν με την ζήτηση ενέργειας (Διάγραμμα 5.2). Το διάγραμμα του πλεονάσματος ενέργειας για συνεχή 6ωρη και 12ωρη λειτουργία των ανεμογεννητριών (Διάγραμμα 5.3), παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές των πλεονασμάτων ενέργειας, τα οποία βλέπουμε παρουσιάζουν αύξουσα πορεία όσο αυξάνεται ο αριθμός των ανεμογεννητριών.



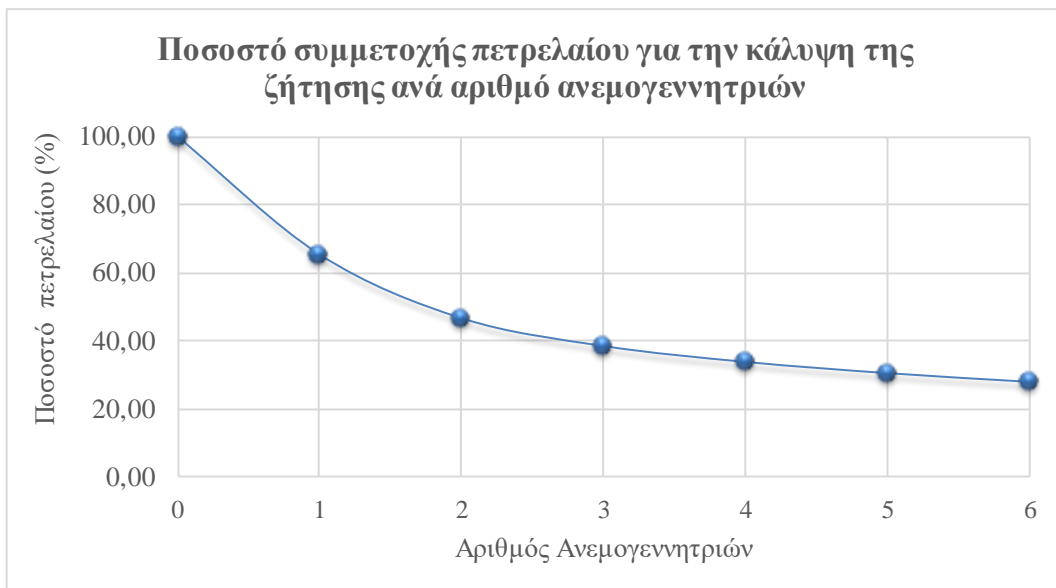
**Διάγραμμα 5.1:** Ποσοστό αστοχίας ανά αριθμό ανεμογεννητριών



**Διάγραμμα 5.2:** Παραγωγή, ζήτηση, πλεόνασμα και έλλειμμα ενέργειας ανά αριθμό ανεμογεννητριών



**Διάγραμμα 5.3:** Μέγιστο πλεόνασμα ενέργειας για συνεχή 6ωρη και 12ωρη λειτουργία των ανεμογεννητριών ανά τον αριθμό τους



**Διάγραμμα 5.4:** Ποσοστό συμμετοχής πετρελαίου για την κάλυψη της ζήτησης ανά αριθμό ανεμογεννητριών

Από τα παραπάνω παρατηρείται αρχικά ότι το ποσοστό αστοχίας της κάλυψης της ωριαίας ζήτησης με την αξιοποίηση ανεμογεννητριών (Διάγραμμα 5.1) παρουσιάζει σημαντική μείωση από την λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας σε δυο, συγκεκριμένα από 92 σε 63 %, στην συνέχεια ενώ το ποσοστό συνεχίζει να παρουσιάζει φθίνουσα πορεία η μείωση είναι σημαντικά μικρότερη. Στο διάγραμμα 5.2 διαπιστώνεται ότι το πλεόνασμα ενέργειας έχει

αυξητική πορεία ιδιαίτερα από την λειτουργία τριών ανεμογεννητριών και μετά, ενώ αντιθέτως το αντίστοιχο έλλειμμα δεν παρουσιάζει αξιόλογη μείωση. Το ποσοστό συμμετοχής του πετρελαϊκού σταθμού στην παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Διάγραμμα 5.4) όπως αναμενόταν παρουσιάζει μείωση, η οποία είναι μεγαλύτερη από την αλλαγή σε λειτουργία δύο ανεμογεννητριών.

Με βάση τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι καλύτερη επιλογή για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στην Αστυπάλεια είναι με τη χρήση μίας ή δύο ανεμογεννητριών, επειδή όπως παρατηρήθηκε με την αύξηση των ανεμογεννητριών από δύο σε τρεις δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή στην κάλυψη της ζήτησης, ενώ στη λειτουργία μίας ανεμογεννήτριας το πλεόνασμα είναι πολύ χαμηλό.

	Αριθμός Ανεμογεννητριών	Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MWh)	Πλεόνασμα Ενέργειας (MWh)	Ποσοστό αστοχίας (%)	Ποσοστό συμμετοχής πετρελαίου για την κάλυψη της ζήτησης (%)
<b>Ανεμογεννήτρια (500 kW)</b>	1	2.232,58	55,10	91,68	65,24
	2	4.465,32	1.112,33	62,92	46,48

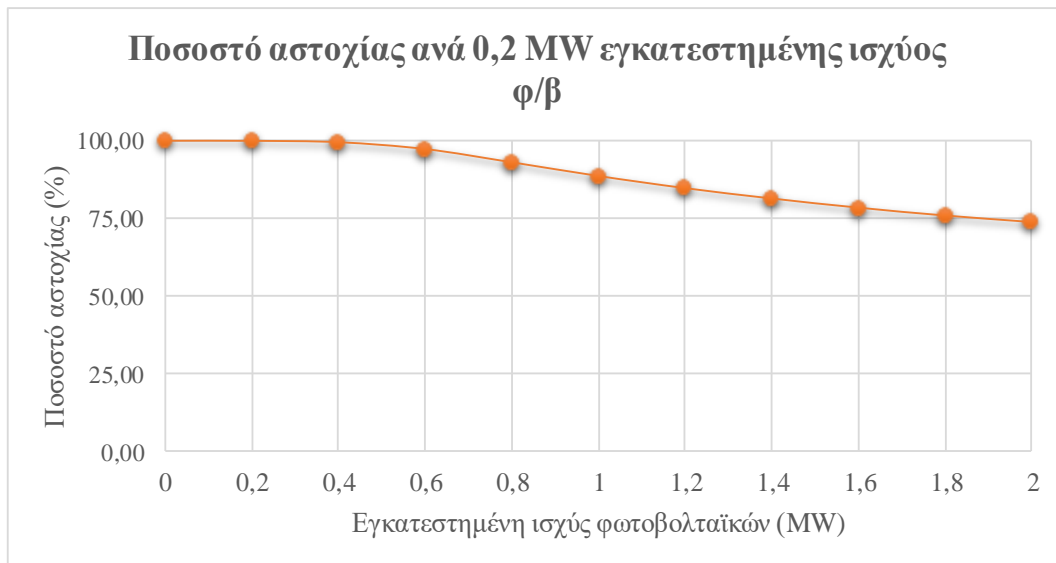
**Πίνακας 5.1:** Στοιχεία λειτουργίας μίας και δύο ανεμογεννητριών

Στον Πίνακα 5.1 παρατηρείται ότι με τη χρήση μίας ανεμογεννήτριας το πλεόνασμα είναι αρκετά χαμηλό και υπάρχει μείωση και περίπου 35% πτώση της συμμετοχής του πετρελαίου στο ενεργειακό μείγμα. Αν και η λειτουργία δυο ανεμογεννητριών προκαλεί μεγάλο πλεόνασμα, η συμμετοχή του πετρελαίου μειώνεται σε ποσοστό μικρότερο του 50%. Υπάρχουν μέθοδοι αξιοποίησης του παραπάνω πλεονάσματος όπως μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας ή θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την λειτουργία εγκατάστασης αφαλάτωσης νερού.

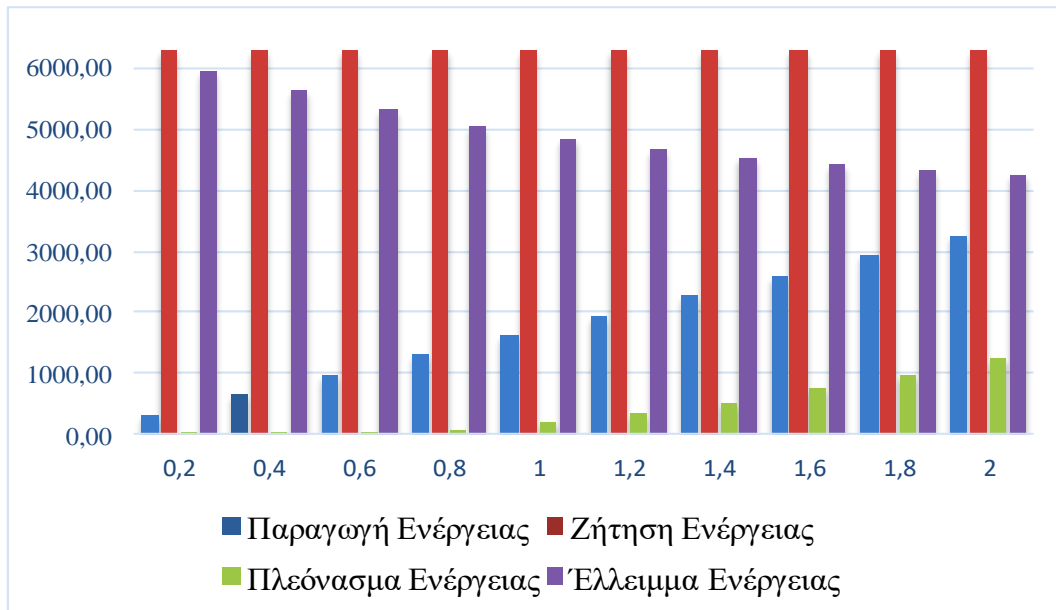
## 5.2.2 Προσθήκη φωτοβολταϊκών

Το φωτοβολταϊκά που επιλέχθηκαν στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας είναι εγκατεστημένης ισχύος 0,1 MW, επιφάνειας 754 m<sup>2</sup> και συντελεστή απόδοσης 13,4%. Ομοίως θα ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία όπως με την ανεμογεννήτρια, δηλαδή στο Excel έχοντας υπολογίσει την ωριαία παραγωγή ενεργείας με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και έχοντας και την ωριαία ζήτηση, θα εξεταστεί σε τι ποσοστό μπορούν να συμμετάσχουν τα φωτοβολταϊκά στην κάλυψη της ζήτησης. Εξετάστηκε η προσθήκη φωτοβολταϊκών εγκατεστημένης ισχύος από 0,2 έως 2 MW, με μεταβολή ανά 0,2 MW.

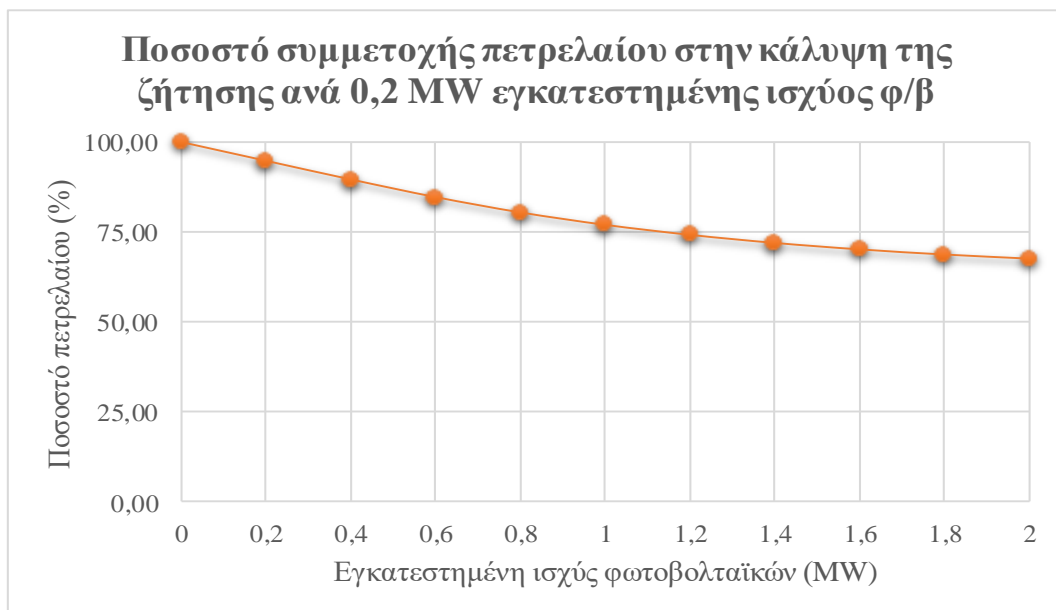
Η θεωρητική ετήσια παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για 0,2 MW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών είναι 325 MWh. Στο Διάγραμμα 5.5 απεικονίζεται η μεταβολή του ποσοστού αστοχίας ανά εγκατεστημένη ισχύ, δηλαδή το ποσοστό που η ενεργεία των φωτοβολταϊκών δεν θα καλύψει την ωριαία ζήτηση. Όπως ήταν αναμενόμενο το ποσοστό αστοχίας δεν παρουσιάζει τόσο σημαντική μείωση, όσο το αντίστοιχο με την λειτουργία ανεμογεννητριών κι αυτό γιατί τα φωτοβολταϊκά είναι λιγότερο αποδοτικά και λειτουργούν μόνο κατά την διάρκεια της ημέρας και τη νύχτα η παραγωγή είναι μηδενική.



**Διάγραμμα 5.5:** Ποσοστό αστοχίας ανά 0,2 MW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών



**Διάγραμμα 5.6:** Παραγωγή, ζήτηση, πλεόνασμα και έλλειμμα ενέργειας ανά 0,2 MW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών



**Διάγραμμα 5.7:** Ποσοστό συμμετοχής πετρελαίου για την κάλυψη της ζήτησης ανά 0,2 MW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών

Στο Διάγραμμα 5.6 παρατηρείται ότι τα ελλείμματα είναι πολύ υψηλά και η παραγωγή ενέργειας δεν είναι ικανοποιητική, ώστε να καλύψει μεγάλο ποσοστό της ζήτησης. Σε αντίθεση με το αντίστοιχο διάγραμμα για τη χρήση ανεμογεννητριών, τα πλεονάσματα ενέργειας είναι πολύ χαμηλά, επομένως το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας παράγωγης



καταναλώνεται και δεν χάνεται. Τέλος, στο Διάγραμμα 5.7 έχουμε το ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή ενέργειας του πετρελαίου, ενώ η καμπύλη παρουσιάζει φθίνουσα πορεία, φαίνεται ότι μετά την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ισχύος 1 MW, η μεταβολή είναι πολύ μικρότερη.

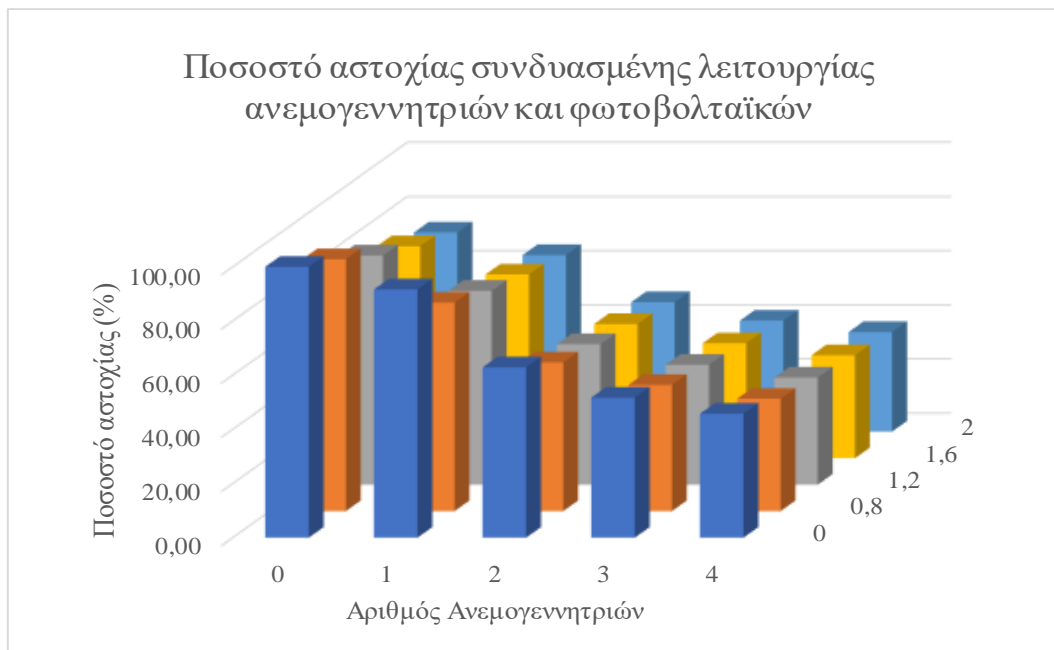
Με βάση τα παραπάνω δεδομένα πιο αποδοτική κρίνεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ισχύος 1 MW, για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί.

	<b>Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)</b>	<b>Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MWh)</b>	<b>Πλεόνασμα Ενέργειας (MWh)</b>	<b>Ποσοστό αστοχίας (%)</b>	<b>Ποσοστό συμμετοχής πετρελαίου για την κάλυψη της ζήτησης (%)</b>
<b>Φωτοβολταϊκά</b>	1	1622,28	190,39	88,54	77,14

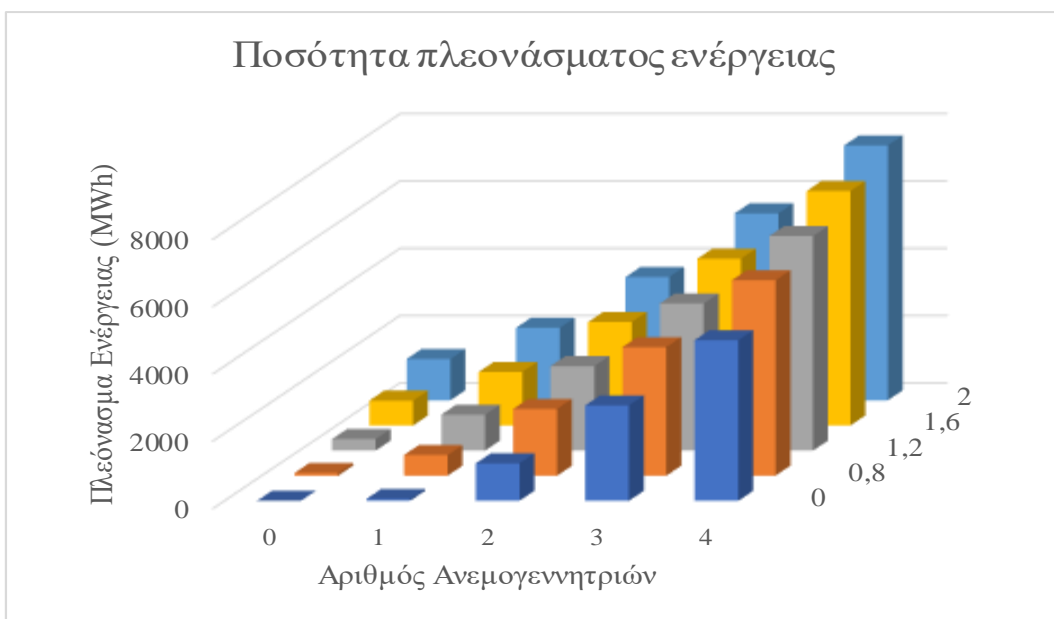
**Πίνακας 5.2:** Στοιχεία λειτουργίας φωτοβολταϊκών εγκατεστημένης ισχύος 1 MW

### **5.2.3 Συνδυασμός λειτουργίας ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών**

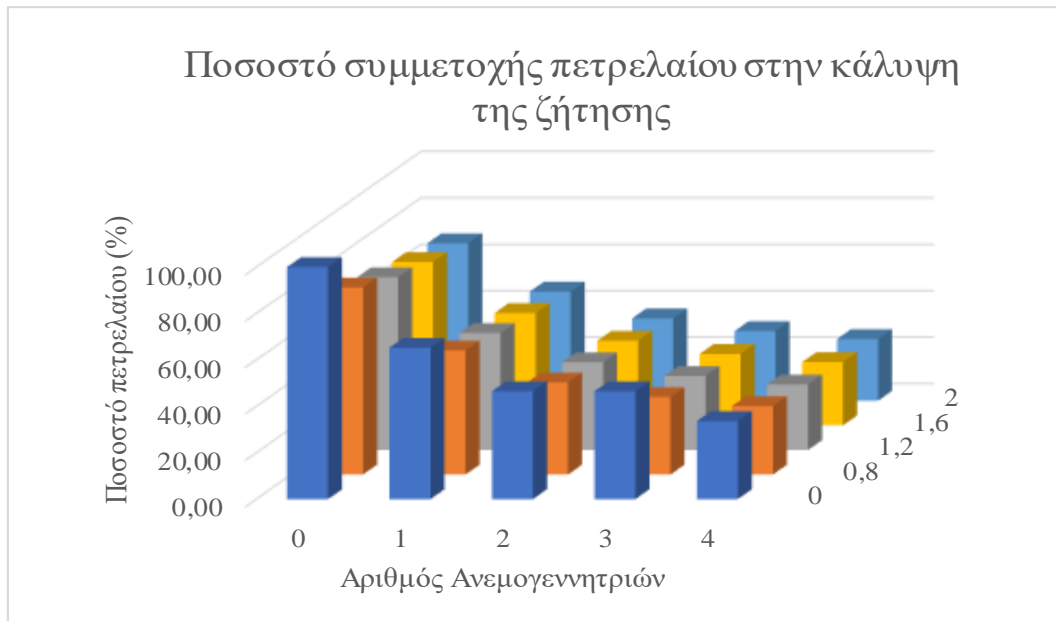
Ο συνδυασμός διαφορετικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει εφαρμογή σε πολλά ενεργειακά έργα, καθώς αξιοποιούν διαφορετικό δυναμικό και η λειτουργία τους εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες. Η λειτουργία της μίας εγκατάστασης είναι ανεξάρτητη από την άλλη, αλλά το άθροισμα της ενέργειας παραγωγής τους αξιοποιείται για την κάλυψη της ζήτησης ενέργειας. Στην περίπτωση της συνδυασμένης λειτουργίας ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών είναι δυνατή η παραγωγή σημαντικής ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας δύο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που βρίσκονται σε αφθονία στο περιβάλλον. Ακόμη ένα πλεονέκτημα είναι ότι τα φωτοβολταϊκά αποδίδουν ενέργεια μόνο κατά την διάρκεια της ημέρας, προσθέτοντας και ανεμογεννήτριες στο σύστημα δίνεται η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας και τις βραδινές ώρες. Παρακάτω συγκρίνεται η ταυτόχρονη λειτουργία μέχρι 4 ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών εγκατεστημένης ισχύος από 0,8 – 2 MW, με μεταβολή ανά 1 μονάδα του αριθμού των ανεμογεννητριών και ανά 0,4 MW για τα φωτοβολταϊκά.



**Διάγραμμα 5.8:** Ποσοστό αστοχίας συνδυασμένης λειτουργίας ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών



**Διάγραμμα 5.9:** Ποσότητα πλεονάσματος ενέργειας κατά την συνδυασμένη λειτουργία ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών



**Διάγραμμα 5.10:** Ποσοστό συμμετοχής πετρελαίου στην κάλυψη της ζήτησης ενέργειας κατά την συνδυασμένη λειτουργία ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών

Στο Διάγραμμα 5.8 απεικονίζεται η μεταβολή του ωριαίου ποσοστού αστοχίας της κάλυψης της ζήτησης ενέργειας, που όπως ήταν αναμενόμενο παρουσιάζει φθίνουσα πορεία όσο αυξάνεται ο αριθμός των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών και ιδιαίτερα με την αύξηση του αριθμού της εγκατεστημένης ισχύος των ανεμογεννητριών, καθώς παράγουν μεγαλύτερο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος των παραπάνω μονάδων έχει ως αποτέλεσμα υψηλά πλεονάσματα ενέργειας κυρίως λόγω της αύξησης των ανεμογεννητριών (Διάγραμμα 5.9). Ο συνδυασμός δυο διαφορετικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμβάλλει στην μείωση της χρήσης πετρελαίου στο ενεργειακό μείγμα σε μεγάλο ποσοστό, όπως αναμενόταν (Διάγραμμα 5.10). Με βάση τα παραπάνω στοιχεία προτείνεται η εγκατάσταση του συνδυασμού 2 ανεμογεννητριών (1 MW) και φωτοβολταϊκών εγκατεστημένης ισχύος 0,8 MW με συμμετοχή του πετρελαϊκού σταθμού στην κάλυψη της ζήτησης κατά 39,65 %. Ωστόσο ο συνδυασμός αυτός παράγει ένα μεγάλο πλεόνασμα, το οποίο παραμένει ανεκμετάλλευτο, αλλά όπως προτάθηκε και νωρίτερα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθούν ειδικές μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας ή μια άλλη επιλογή θα ήταν να αξιοποιηθεί για την λειτουργία εγκατάστασης αφαλάτωσης νερού.

	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MWh)	Πλεόνασμα Ενέργειας (MWh)	Ποσοστό αστοχίας (%)	Ποσοστό συμμετοχής πετρελαίου για την κάλυψη της ζήτησης (%)
Ανεμογεννήτριες	1	5762,95	1981,87	54,92	39,65
Φωτοβολταϊκά	0,8				

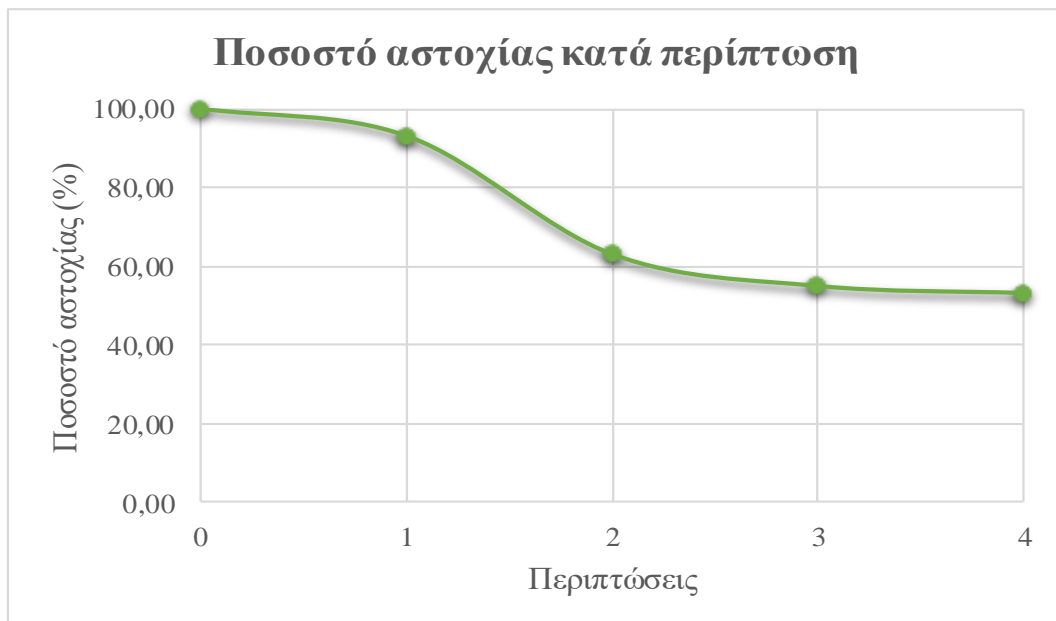
**Πίνακας 5.3:** Στοιχεία λειτουργίας συστήματος 2 ανεμογεννητριών (1 MW) και φωτοβολταϊκών ισχύος 0,8 MW

### 5.3 Προσθήκη βιομάζας στο ενεργειακό μείγμα

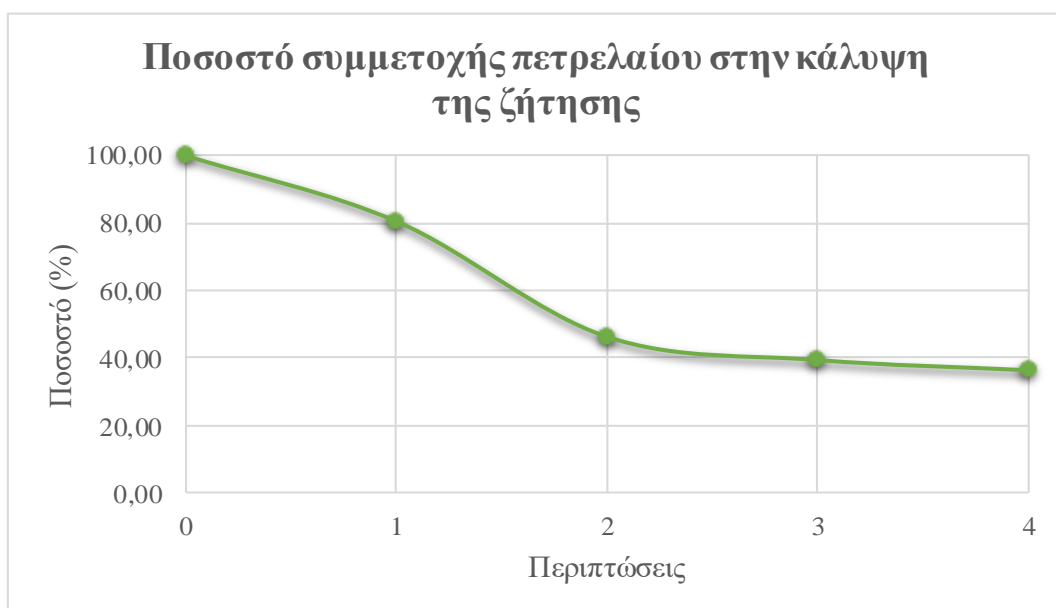
#### 5.3.1 Αξιοποίηση της βιομάζας από τα αγροτικά υπολείμματα

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο υπολογίστηκε το θεωρητικό δυναμικό αγροτικών υπολειμμάτων της Αστυπάλαιας, που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την παράγωγή καύσιμου βιομάζας και της εκμετάλλευσής τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ετήσια ενέργεια που θεωρητικά έχει τη δυνατότητα να παραχθεί είναι μέχρι 190 MWh. Θα εξεταστεί η αξιοποίηση της βιομάζας για την μείωση των ελλειμμάτων από την συνδυασμένη λειτουργία ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών που επιλέχθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα στον συνδυασμό λειτουργίας 2 ανεμογεννητριών (1 MW) και φωτοβολταϊκών εγκατεστημένης ισχύος 0,8 MW, θα προστεθεί η παραγόμενη ενέργεια από την εκμετάλλευση των αγροτικών υπολειμμάτων, αλλά θα προστίθεται ομοιόμορφα μόνο στα ελλείμματα που υπάρχουν και έτσι το πλεόνασμα ενέργειας θα παραμένει σταθερό. Τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν θα συγκριθούν με αυτά που βρέθηκαν για τη λειτουργία αντίστοιχα (ως περίπτωση 0 θεωρείται αυτή, όπου οι ανανεώσιμες πηγές δεν συμμετέχουν καθόλου στο ενεργειακό μείγμα):

1. Περίπτωση λειτουργίας φωτοβολταϊκών ισχύος 0,8 MW.
2. Περίπτωση λειτουργίας 2 ανεμογεννητριών (1MW).
3. Περίπτωση συνδυασμένης λειτουργίας 2 ανεμογεννητριών (1 MW) και 0,8 MW ισχύος φωτοβολταϊκών.
4. Περίπτωση συνδυασμένης λειτουργίας 2 ανεμογεννητριών (1 MW), 0,8 MW ισχύος φωτοβολταϊκών και της καύσης βιομάζας ενέργειας 190 MWh.



**Διάγραμμα 5.11:** Ποσοστό αστοχίας του συστήματος κατά περίπτωση



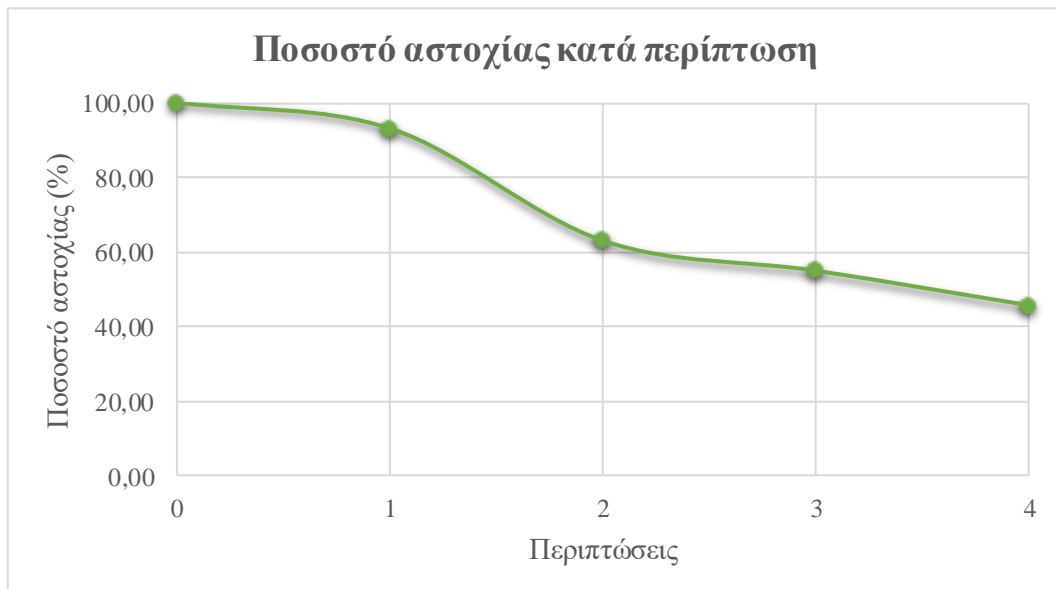
**Διάγραμμα 5.12:** Ποσοστό συμμετοχής πετρελαίου στην κάλυψη της ενέργειας ζήτησης

Παρατηρείται λοιπόν μικρή μείωση του ωριαίου ποσοστού αστοχίας του συστήματος που αξιοποιεί τη βιομάζα από τα γεωργικά υπολείμματα, η βιομάζα αξιοποιείται μόνο όταν υπάρχουν ελλείμματα ενέργειας χωρίς να υπάρχουν αυξήσεις στο πλεόνασμα ενέργειας. Ουσιαστικά η βιομάζα μπορεί να πάρει το ρόλο του πετρελαίου και να συμπληρώνει τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που συμμετέχουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν αυτό απαιτείται (Διάγραμμα 5.11,5.12).

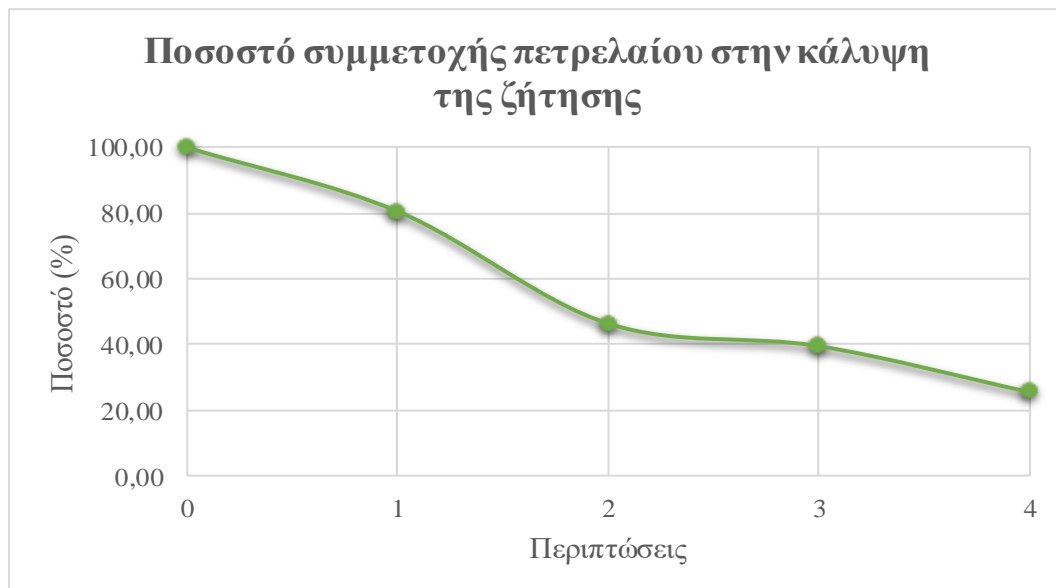
### 5.3.2 Αξιοποίηση της βιομάζας από ενεργειακή καλλιέργεια αγριαγκινάρας χωρίς άρδευση

Θα ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία όπως με την αξιοποίηση των αγροτικών υπολειμμάτων, αλλά στην περίπτωση αυτή θα εκμεταλλευτεί για την παραγωγή βιομάζας ενεργειακή καλλιέργεια 500 στρεμμάτων χωρίς άρδευση και θεωρητική ετήσια απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας 875 MWh. Χωρίζουμε πάλι περιπτώσεις, όπως και προηγουμένως:

1. Περίπτωση λειτουργίας φωτοβολταϊκών ισχύος 0,8 MW.
2. Περίπτωση λειτουργίας 2 ανεμογεννητριών (1MW).
3. Περίπτωση συνδυασμένης λειτουργίας 2 ανεμογεννητριών (1 MW) και 0,8 MW ισχύος φωτοβολταϊκών.
4. Περίπτωση συνδυασμένης λειτουργίας 2 ανεμογεννητριών (1 MW), 0,8 MW ισχύος φωτοβολταϊκών και της καύσης βιομάζας ενέργειας 875 MWh.



**Διάγραμμα 5.13:** Ποσοστό αστοχίας του συστήματος κατά περίπτωση



**Διάγραμμα 5.14:** Ποσοστό συμμετοχής πετρελαίου στην κάλυψη της ενέργειας ζήτησης

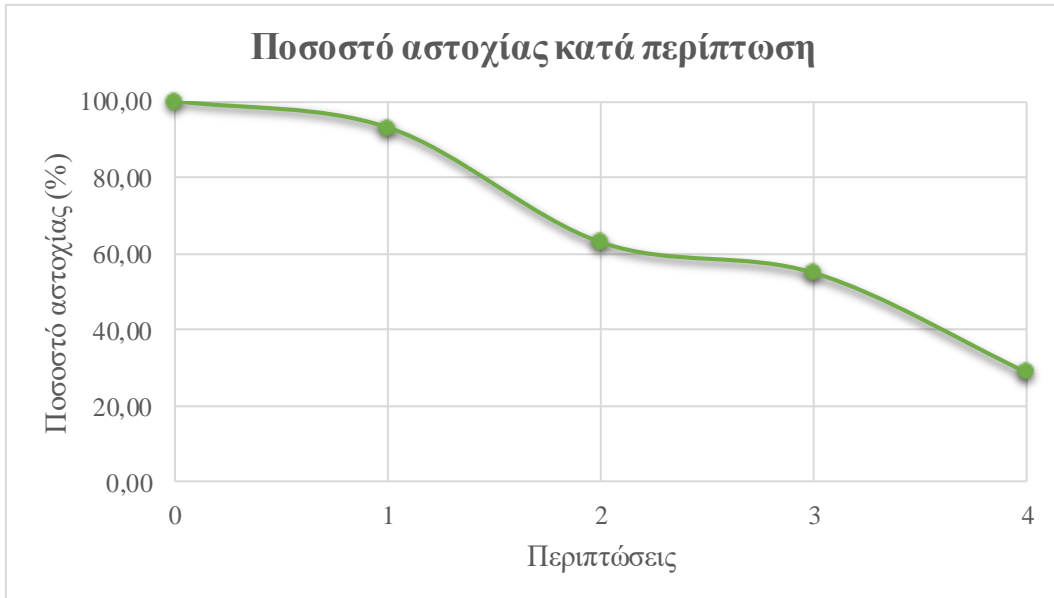
Η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας από βιομάζα προκάλεσε σημαντικές μεταβολές στα αποτελέσματα, το ποσοστό της συμμετοχής του πετρελαίου στην κάλυψη της ζήτησης μειώθηκε από 37% σε 26% περίπου μειώνοντας έτσι σημαντικά το έλλειμμα ενέργειας. Επίσης το ωριαίο ποσοστό αστοχίας του συστήματος μειώθηκε αρκετά και έφτασε την τιμή του 46%, έτσι η προσθήκη υψηλότερης ενέργειας από βιομάζα για τη μείωση των ωριαίων ελλειμμάτων παρατηρείται ότι έχει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του ενεργειακού μείγματος της περιοχής μελέτης (Διάγραμμα 5.13, 5.14).

### **5.3.3 Αξιοποίηση της βιομάζας από ενεργειακή καλλιέργεια αγριαγκινάρας με άρδευση**

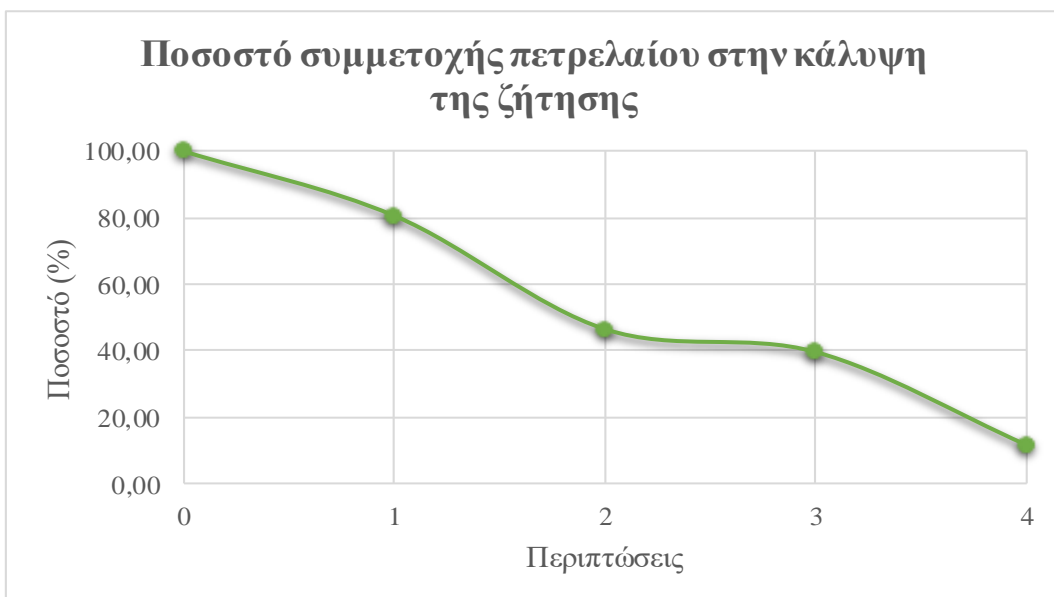
Εφαρμόστηκε επίσης ενεργειακή καλλιέργεια αγριαγκινάρας πάλι έκτασης 500 στρεμμάτων, αλλά με την προσθήκη άρδευσης όπως αναφέρθηκε στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο. Η ποσότητα της παραγόμενης ξηρής ουσίας μπορεί ακόμη να είναι και η διπλάσια από την αντίστοιχη ποσότητα χωρίς την άρδευση. Συγκεκριμένα θεωρητικά η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια παραγωγής είναι η διπλάσια και φτάνει την τιμή των 1.750 MWh. Θα συνδυάσουμε πάλι το σύστημα ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών με την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η ενέργεια από την βιομάζα κατανέμεται ομοιόμορφα όταν υπάρχουν ωριαία ελλείμματα και το πλεόνασμα ενεργείας παραμένει σταθερό από την συνδυασμένη λειτουργία των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών που προτάθηκαν.

1. Περίπτωση λειτουργίας φωτοβολταϊκών ισχύος 0,8 MW.
2. Περίπτωση λειτουργίας 2 ανεμογεννητριών (1MW).

3. Περίπτωση συνδυασμένης λειτουργίας 2 ανεμογεννητριών (1 MW) και 0,8 MW ισχύος φωτοβολταϊκών.
4. Περίπτωση συνδυασμένης λειτουργίας 2 ανεμογεννητριών (1 MW), 0,8 MW ισχύος φωτοβολταϊκών και της καύσης βιομάζας ενέργειας 1.750 MWh.



**Διάγραμμα 5.15:** Ποσοστό αστοχίας του συστήματος κατά περίπτωση



**Διάγραμμα 5.16:** Ποσοστό συμμετοχής πετρελαίου στην κάλυψη της ενέργειας ζήτησης



Ο διπλασιασμός της ποσότητας του στερεού βιοκαυσίμου από την εκμετάλλευση της καλλιέργειας αγριαγκινάρας, όπως απεικονίζεται στα Διαγράμματα 5.15 και 5.16, προκαλεί μεγάλη μείωση στο ωριαίο ποσοστό αστοχίας που φτάνει την τιμή του 29%. Εντυπωσιακή επίσης είναι η πολύ σημαντική μείωση της χρήσης πετρελαίου για την κάλυψη της ζήτησης, που συμμετέχει στην παραγωγή ενέργειας κατά 12%. Διαπιστώνεται λοιπόν η σημαντική συνεισφορά που θα μπορούσαν να παρέχουν οι ενεργειακές καλλιέργειες και ιδιαίτερα αυτής της αγριαγκινάρας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς είναι ένα φυτό που μπορεί να προσαρμοστεί στο ξηρό περιβάλλον των νησιών ικανοποιητικά. Επιπλέον, η ενέργεια από την αξιοποίηση της βιομάζας μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε στιγμή κριθεί ότι είναι απαραίτητο για την κάλυψη μέρους του ελλείμματος που δημιουργείται από το υπόλοιπο σύστημα, καθώς η συμμετοχή της σε ένα ενεργειακό σύστημα μιμείται την αντίστοιχη του πετρελαίου.



## 6. Συμπεράσματα

Με βάση όσα εξεταστήκαν παραπάνω στην εργασία αυτή και τα αποτελέσματα που προέκυψαν, εξήχθησαν πολύ σημαντικά συμπεράσματα για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όχι μόνο για την Αστυπάλαια αλλά και για τα υπόλοιπα μη συνδεδεμένα νησιά, καθώς και γενικά την εκμετάλλευση ΑΠΕ στην χώρα μας. Συγκεκριμένα:

- Η διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε βασίστηκε σε θεωρητικά δεδομένα και τα πραγματικά στοιχεία μπορεί να αποκλείουν σημαντικά από αυτά που εξετάστηκαν στην εργασία αυτή. Όπως για παράδειγμα οι τιμές παραγωγής υπολειμμάτων ανά στρέμμα είναι αρκετά προσεγγιστικές, εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες και μπορεί να παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές ανά διαστήματα.
- Οι μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ενέργεια των μη συνδεδεμένων νησιών είναι τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω του τουρισμού, οπότε παρουσιάζονται οι ωριαίες αιχμές ζήτησης και πολλές φορές οι πετρελαϊκοί σταθμοί λειτουργούν στα όρια τους.
- Η αιολική ενέργεια μπορεί να αποδώσει σημαντικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά ταυτόχρονα και μεγάλα πλεονάσματα, τα οποία θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν είτε με ειδικές μπαταρίες αποθήκευσης ή αξιοποίηση τους σε αλλά έργα όπως εγκαταστάσεις αφαλάτωσης ύδατος.
- Η ηλιακή ενέργεια για να αποδώσει αξιόλογες ποσότητες ενέργειας θα πρέπει να έχει αρκετά υψηλή εγκατεστημένη ισχύ και ακόμη είναι απαραίτητη αρκετά μεγάλη έκταση γης για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών.
- Η υδραυλική ενέργεια από την προσθήκη μικρού υδροηλεκτρικού έργου στο υπάρχον φράγμα προσφέρει πολύ χαμηλή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η αξιοποίηση της γεωθερμίας θα πρέπει να ερευνηθεί περαιτέρω τόσο για την Αστυπάλαια αλλά και τα υπόλοιπα νησιά του ενεργού ηφαιστειακού τόξου.
- Η κυματική ενέργεια ενώ έχει τη δυνατότητα να συνεισφέρει αρκετά στην κάλυψη της ζήτησης, αλλά στην χώρα μας δεν έχουν υπάρξει αξιόλογες προσπάθειες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η συνδυασμένη αξιοποίηση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει τη δυνατότητα να επιφέρει σημαντική μείωση στην χρήση πετρελαίου.
- Η βιομάζα μπορεί να μιμηθεί το ρόλο του πετρελαίου (ενέργεια βάσης), δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιείται οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί και να μειώνει ή ακόμα και

να καλύπτει πλήρως τα ελλείμματα ενέργειας κατά την λειτουργία άλλων εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

- Οι ενεργειακές καλλιέργειες θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε πολλά νησιά και όχι μόνο, ιδιαίτερα η καλλιέργεια αγριαγκινάρας έχει πολύ χαμηλό κόστος εγκατάστασης και διατήρησης και η άρδευση δεν κρίνεται απαραίτητη.
- Η εκμετάλλευση της βιομάζας από τα αγροτικά υπολείμματα και τις ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί ακόμη να γίνει στους ήδη υπάρχοντες πετρελαϊκούς σταθμούς με κάποιες ειδικές τροποποιήσεις.
- Ένα σημαντικό ζήτημα είναι η συλλογή της βιομάζας από τα αγροτικά υπολείμματα, η διαφορετική περίοδος συλλογής των υπολειμμάτων μπορεί να θεωρηθεί σημαντικό εμπόδιο για την αξιοποίησή τους, καθώς είναι απαραίτητη η σωστή αποθήκευσή τους για να μην αλλοιωθούν σε ειδικές κατασκευές υπό κατάλληλες συνθήκες.
- Πρέπει ακόμη να ληφθούν υπόψη και άλλα οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά θέματα, καθώς η εγκατάσταση τέτοιων μονάδων απαιτεί σημαντικούς οικονομικούς πόρους, κατάλληλο εξοπλισμό και ανθρώπινο δυναμικό.

## 7. Βιβλιογραφία

### *Ελληνική:*

- [1] Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων υδατικού διαμερίσματος νήσων Αιγαίου, Α΄ ΦΑΣΗ: Συλλογή, επεξεργασία και διαχείριση δεδομένων, Τεύχος 1-Νήσος Αστυπάλαια, Νομός Δωδεκανήσου, Περιφέρεια Νότιου Αιγαίου, 2005
- [2] Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων υδατικού διαμερίσματος νήσων Αιγαίου, Β΄ ΦΑΣΗ: Ανάλυση υποδομών και χρήσεων & δεδομένα αξιοποίησης υδατικών πόρων, Τεύχος 1-Νήσος Αστυπάλαια, Νομός Δωδεκανήσου, Περιφέρεια Νότιου Αιγαίου, 2006
- [3] Αργυράκης Ι.Γ., Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί της ΔΕΗ Α.Ε. και η συμβολή τους στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας
- [4] Βάμβουκα-Καλουμένου Δ., Ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας. Η περίπτωση της Κρήτης, Πολυτεχνείο Κρήτης
- [5] Βουγιουκλάκης Κ., Εξελίξεις στον τομέα των ΑΠΕ στην Ελλάδα, ΚΑΠΕ
- [6] Γερασίμου Α., Η αγροτική βιομάζα και οι δυνατότητες αξιοποίησης της στην Ελλάδα, Αθήνα, 2013
- [7] Γέτμο Θ.Α., Σ. Φουντά, Α. Ταγαράκη και Ν. Γιαννόπουλος, Μελέτη αξιοποίησης παραγόμενης βιομάζας στο Ν. Λάρισα με καύση για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2006
- [8] Δαναλάτος Ν., Βιώσιμη παραγωγή στέρεου βιοκαυσίμου από ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα. Η περίπτωση της αγριαγκινάρας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2007
- [9] Ελευθεριάδης Ι., Δυναμικό βιομάζας και στερεά βιοκαύσιμα, Τμήμα Βιομάζας, ΚΑΠΕ
- [10] Ελευθεριάδης Ι., Δυνατότητες καλλιέργειας των ενεργειακών φυτών στον Ελληνικό χώρο, Τμήμα Βιομάζας, ΚΑΠΕ
- [11] Επιχειρησιακό σχέδιο αγροτικής ανάπτυξης 2014-2020, Περιφέρεια Νότιου Αιγαίου
- [12] Έρευνα διάρθρωσης γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων έτους 2013, Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, Πειραιάς 2015
- [13] Ζαφείρης Χ., Βιοαέριο στην Ελλάδα προοπτικές και προβλήματα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2017
- [14] Ζαφείρης Χ., Δυναμικό παράγωγης βιοαερίου από απόβλητα αγροτοβιομηχανιών, Παιανία, 2012
- [15] Μαλτέζος Φ., Αποτίμηση λειτουργίας φωτοβολταϊκών σταθμών, Αθήνα, 2013

- [16] Μαμάσης Ν., Σημειώσεις στην Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, Αθήνα, Ε.Μ.Π., 2015
- [17] Μουρτσιάδης Α., Ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας, 2010
- [18] Μπαλάρας Κ., Αργυρίου Α., Καραγιάννης Φ., Συμβατικές και ήπιες μορφές ενέργειας, 2006
- [19] Ντζούρας Ν., Διαδικασίες αδειοδότησης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής / εγκαταστάσεων παραγωγής / διανομής θερμικής ενέργειας, από βιομάζα / βιοαέριο / βιορευστά, 2016
- [20] Στεφανάκος Ι., Σημειώσεις στην Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, Αθήνα, Ε.Μ.Π., 2016
- [21] Τα φράγματα και οι λιμνοδεξαμενές του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, Β' Έκδοση – Νέα Έργα, 2006
- [22] Φωτιάδη Α., Φυσική Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2015
- [23] Χρήστου Μ., Δυναμικό βιομάζας στην Ελλάδα, Τμήμα Βιομάζας, ΚΑΠΕ, Αθήνα, 2010
- [24] Χρήστου Μ., Ενεργειακές καλλιέργειες στον Ευρωπαϊκό και Ελληνικό χώρο, Τμήμα Βιομάζας, ΚΑΠΕ
- [25] Χρήστου Μ., Ενεργειακό δυναμικό αγροτικών, κτηνοτροφικών και δασικών υπολειμμάτων, Τμήμα Βιομάζας, ΚΑΠΕ, Παιανία, 2013

### **Ξενόγλωσση:**

- [26] Bevilacqua G., B. Zanuttigh, Overtopping Wave Energy Converters: general aspects and stage of development, University of Bologna
- [27] Chalakatevaki M., P. Stamou, S. Karali, V. Daniil, P. Dimitriadis, K. Tzouka, T. Pliopoulou, D. Koutsoyiannis, P. Papanicolaou, and N. Mamassis, Creating the electric energy mix in a non-connected island, *Energy Procedia*, 125, 425–434, doi:10.1016/j.egypro.2017.08.089, 2017
- [28] Chalakatevaki M., P. Stamou, S. Karali, V. Daniil, P. Dimitriadis, K. Tzouka, T. Pliopoulou, D. Koutsoyiannis, P. Papanicolaou and N. Mamassis (2017) Creating the electric energy mix in a non-connected island, European Geosciences Union General Assembly 2017, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 19, Vienna, 19, EGU2017-16919, European Geosciences Union.
- [29] Fernandez J., L. Marquez and P. Venturi, Technical and economic aspects of *Cynara Cardunculus* L.: An energy crop for the Mediterranean region
- [30] Hadjimitsis E., E. Demetriou, K. Sakellari, H. Tyralis, T. Pliopoulou, and D. Koutsoyiannis, Investigation of the stochastic nature of temperature and humidity for energy

management, *EGU General Assembly 2017, GRA, Vol. 19, Vienna*, 19, EGU2017-10164-5, EGU, 2017

[31] Koskinas A., E. Zacharopoulou, G. Pouliasis, I. Engonopoulos, K. Mavroyeoryos, E. Deligiannis, G. Karakatsanis, P. Dimitriadis, T. Iliopoulou, D. Koutsoyiannis, and H. Tyralis, Simulation of electricity demand in a remote island for optimal planning of a hybrid renewable energy system, *EGU General Assembly 2017, GRA, Vol. 19, Vienna*, 19, EGU2017-10495-4, EGU, 2017

[32] Koudouris G., P. Dimitriadis, T. Iliopoulou, N. Mamassis, and D. Koutsoyiannis, Investigation of the stochastic nature of solar radiation for renewable resources management, *EGU General Assembly 2017, GRA, Vol. 19, Vienna*, 19, EGU2017-10189-4, EGU, 2017

[33] Moschos E., G. Manou, C. Georganta, P. Dimitriadis, T. Iliopoulou, H. Tyralis, D. Koutsoyiannis, and V. Tsoukala, Investigation of the stochastic nature of wave processes for renewable resources management: a pilot application in a remote island in the Aegean sea, *EGU General Assembly 2017, GRA, Vol. 19, Vienna*, 19, EGU2017-10225-3, EGU, 2017

[34] Papoulakos K., G. Pollakis, Y. Moustakis, A. Markopoulos, T. Iliopoulou, P. Dimitriadis, D. Koutsoyiannis, and A. Efstratiadis, Simulation of water-energy fluxes through small-scale reservoir systems under limited data availability, *EGU General Assembly 2017, GRA, Vol. 19, Vienna*, 19, EGU 2017-10334-4, EGU, 2017

[35] Renewables 2017 Global Status Report, REN 21, Paris 2017

[36] Roussis D., I. Parara, N. Gournari, Y. Moustakis, P. Dimitriadis, T. Iliopoulou, D. Koutsoyiannis, and G. Karakatsanis, Energy variability and weather finance engineering, *EGU General Assembly 2017, GRA, Vol. 19, Vienna*, 19, EGU2017-16919, EGU, 2017

[37] Vlyssides A., S. Mai and E.M. Barampouti, Energy generation potential in Greece from agricultural residues and livestock manure, School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens

[38] Zabaniotou A.A., G. Kalogiannis, E. Kappas and A.J. Karabelas, Olive residues (cuttings and kernels) rapid pyrolysis product yields and kinetics, 2000

### ***Διαδίκτυο:***

[39] <https://www.dei.gr/el> (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού)

[40] <https://www.deddie.gr/> (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΔΕΔΔΗΕ)

[41] <https://el.wikipedia.org/wiki/Πύλη:Κύρια> (Ελληνική Βικιπαίδεια)

[42] [https://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page) (Αγγλική Βικιπαίδεια)

[43] <http://irena.org/> (International Renewable Energy Agency)

- [44] <http://www.ren21.net/> (Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century)
- [45] <https://www.worldenergy.org/> (World Energy Council)
- [46] [https://ec.europa.eu/commission/index\\_el](https://ec.europa.eu/commission/index_el) (Ευρωπαϊκή Επιτροπή)
- [47] <http://www.worldbank.org/> (Παγκόσμια Τράπεζα)
- [48] <http://ec.europa.eu/eurostat> (Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία)
- [49] <http://www.statistics.gr/> (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία)
- [50] <https://cleantechnica.com/>
- [51] <http://agrosimvoulos.gr/>
- [52] <http://www.cres.gr/cres/index.html> (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών & Εξοικονόμησης Ενέργειας, ΚΑΠΕ)
- [53] <http://www.rae.gr/site/portal.csp> (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, ΡΑΕ)
- [54] <http://www.ypεka.gr/> (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας)
- [55] <http://www.minagric.gr/index.php/el/> (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων)
- [56] <https://www.nrel.gov/> (National Renewable Energy Laboratory)
- [57] <http://eletaen.gr/> (Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας)
- [58] [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/library/DIGITAL\\_LIBRARY](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/library/DIGITAL_LIBRARY) (Ψηφιακή Βιβλιοθήκη ΤΕΕ)
- [59] <http://helapco.gr/> (Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών)
- [60] <https://www.lazard.com/>
- [61] <http://www.kathimerini.gr/>
- [62] <https://alternativeenergyatunc.wordpress.com/>
- [63] <http://www.powermag.com/>
- [64] <https://sciencing.com/>
- [65] <http://www.tovima.gr/>
- [66] <https://4green.gr/>
- [67] <http://www.inforse.org/>
- [68] <https://solargis.com/>
- [69] <https://cleantechnica.com/>



- [70] <https://www.epa.gov/>
- [71] <http://www.renewableenergyworld.com/index.html>
- [72] <http://www.igme.gr/index.php>
- [73] <https://wiki.uiowa.edu/#all-updates>
- [74] <http://nnmrec.oregonstate.edu/>
- [75] <http://energy.gov/>
- [76] <http://www.renove.co.uk/>
- [77] <http://www.gaiapedia.gr>
- [78] <https://www.farmacon.gr/>
- [79] <http://www.agronews.gr/>
- [80] <http://greenagenda.gr/>
- [81] <http://astypalaia-island.gr/gr>
- [82] <http://zbgb boiler.com/>

