

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μικροδίκτυα & Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.
Μελέτη περίπτωσης για το νησί της Χίου με χρήση
λογισμικού HOMER PRO.**

Πλατοκούκης Σταμάτιος

Επιβλέπων καθηγητής: Τζιβανίδης Χρήστος

Αθήνα, 2022

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στον τομέα Θερμότητας κι ειδικά στο Εργαστήριο Ψύξης Κλιματισμού & Ηλιακής Ενέργειας του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Από την θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς που συνέβαλαν στην επιστημονική μου επιμόρφωση καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χρήστο Τζιβανίδη για το ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα της διπλωματικής που μου πρότεινε να μελετήσω, καθώς και για την άρτια καθοδήγηση του και τις άμεσες απαντήσεις σε όλα μου τα ερωτήματα στην διάρκεια αυτού του επιστημονικού ταξιδιού.

Την μεγαλύτερη ευγνωμοσύνη οφείλω σε όλη μου την οικογένεια, η οποία στάθηκε στο πλευρό μου σε όλους τους τομείς όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών. Η συμπαράσταση κι η υπομονή τους αποτελούσε κινητήρια δύναμη για εμένα.

Σταμάτιος Πλατοκούκης
Αθήνα, Ιούλιος 2022

Copyright © Σταμάτιος Πλατοκούκης, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η ενεργειακή κρίση είναι αποτέλεσμα της αβεβαιότητας και της μεταβλητότητας που προκύπτει από τις αγορές των ορυκτών καυσίμων και κυρίως του φυσικού αερίου μετά από τις πρόσφατες γεωπολιτικές εξελίξεις. Οι αυξήσεις των τιμών της ενέργειας εντείνει περισσότερο την αβεβαιότητα και κάνει πιο επιτακτική την ανάγκη για αύξηση του ενεργειακού μείγματος κάθε χώρας με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας οι οποίες είναι ανεξάντλητες και ταυτόχρονα φιλικές προς το περιβάλλον.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η οικονομική επιρροή της διείσδυσης ΑΠΕ σε ένα μικροδίκτυο στο νησί της Χίου για το έτος 2020 βάσει χρήσης δεδομένων (χρονοσειρών) από τον ΔΕΔΔΗΕ, σε σύγκριση τόσο με Συμβατικές Μονάδες Γεννητριών, όσο και με την ανεξάρτητη κι αυτόνομη λειτουργία μονάδων ΑΠΕ. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν ως προς την οικονομική τους βιωσιμότητα, με χρήση του εμπορικού λογισμικού HOMER PRO, τα εξής τέσσερα (4) Σενάρια i) ανεξάρτητη λειτουργία συμβατικών μονάδων γεννητριών καύσης Μαζούτ (HFO) συνολικής ισχύος 64.452 kW, ii) μερική λειτουργία των ίδιων συμβατικών μονάδων γεννητριών σε σύνδεση με Φ/Β συνολικής ισχύος 5.175 kW και επιπλέον προσθήκη μπαταριών Li-Ion, iii) το ίδιο με το σενάριο 2 και επιπλέον Α/Γ συνολικής ισχύος 8.155 kW, iv) χωρίς συμβατικές μονάδες γεννητριών και λειτουργία μικροδικτύου μόνο με ΑΠΕ επιπλέον ισχύος 80.979 kW σε Φ/Β και 61.650 kW σε Α/Γ.

Το επικρατέστερο σενάριο είναι το Σενάριο 3, διότι έχει το μικρότερο κόστος ενέργειας (LCOE) που είναι 0.1287€, το μικρότερο καθαρό παρόν κόστος (NPC) που είναι 329.808.200€, την μικρότερη κατανάλωση καυσίμου 39.824.371 kg/year και το μεγαλύτερο ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ εξαιρουμένου του 4^{ου} Σεναρίου που είναι 100% αλλά μη βιώσιμου με το κόστος ενέργειας και του καθαρού παρόντος κόστους να είναι 56% σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη του Σεναρίου 3. Επίσης, το Σενάριο 4 είναι μη πραγματοποιήσιμο αφού η περαιτέρω προσθήκη Φωτοβολταϊκών και Αιολικών Πάρκων είναι μη ρεαλιστική. Το Σενάριο 1 χρησιμοποιήθηκε για την εξακρίβωση (benchmarking) της σωστής χρήσης του λογισμικού HOMER PRO σε σύγκριση με τα οικονομοτεχνικά δεδομένα που ελήφθησαν από τον ΔΕΔΔΗΕ.

Abstract

The energy crisis is a result of the uncertainty and volatility that arise from the markets for fossil fuels and especially natural gas following recent geopolitical developments. Rising energy prices further increase uncertainty and make more urgent the need to increase the energy mix of each country with Renewable Energy Sources which are inexhaustible and at the same time environmentally friendly.

The purpose of this thesis is the financial impact of RES penetration in a microgrid on the island of Chios for the year 2020 based on the use of data (time series) by HEDNO, compared to both Conventional Generator Units and the independent and autonomous operation of RES units. More specifically, the following four (4) Scenarios were studied and compared in terms of their economic viability, using the commercial software HOMER PRO, i) independent operation of conventional units (HFO) with a total power of 64.452 kW, ii) partial operation of same conventional units in connection with PV with a total power of 5.175 kW and along with the support of Li-Ion batteries, iii) the same as in scenario 2 and additional WT with a total power of 8.155 kW, iv) without conventional units and microgrid operation only with RES, with additional power of 80.979 kW in PV and 61.650 kW in WT.

The most profitable case is the 3rd Scenario, due to its lowest energy cost (LCOE) which is 0.1287 €, the lowest net present cost (NPC) which is 329.808.200 €, the lowest fuel consumption 39.824.371 kg/year and the highest penetration of RES with the exception of Scenario 4 which is 100% in RES, but not technically and financially feasible. The reasons are the very high energy cost and the extremely high net present cost being 56% in comparison to the corresponding values of Scenario 3. Also, Scenario 4 is not feasible since the further addition of Photovoltaic and Wind Farms is technically unrealistic in terms of the needed power. Scenario 1 was used as benchmark for the correct use of the HOMER PRO software in comparison with the financially and technically data received from HEDNO.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	18
1.1 Ηλεκτρισμός (Electricity)	18
1.2 Ηλεκτρικό On-Grid Δίκτυο Ισχύος.....	18
1.3 Ηλεκτρικό Off-Grid Δίκτυο Ισχύος	22
1.3.1 Μικροδίκτυα.....	22
1.3.1.1 Στοιχεία Μικροδικτύου	22
1.3.1.1.1 Συστήματα Μπαταριών Αποθήκευσης Ενέργειας(BESS).....	24
1.3.1.1.1.1 Τύποι & Χαρακτηριστικά Συστημάτων Μπαταριών Αποθήκευσης Ενέργειας (BESS).....	27
1.3.1.1.1.2 Λόγοι Χρήσης των BESS σε επίπεδο Εφαρμογών	29
1.3.1.2 Είδη Συνδέσεων Μικροδικτύων.....	31
1.3.1.2.1 Μικροδίκτυα ισχύος με σύζευξη DC (DC coupled)	32
1.3.1.2.2. Μικροδίκτυα ισχύος με σύζευξη AC (AC coupled).....	32
1.3.1.2.2.1 Κεντρικά Συζευγμένα Μικροδίκτυα με Εναλλασσόμενο Ρεύμα (Centralized AC-coupled)	33
1.3.1.2.2.2 Αποκεντρωμένα Συζευγμένα Μικροδίκτυα με Εναλλασσόμενο Ρεύμα (Centralized AC-coupled).....	33
1.3.1.2.3 Μικροδίκτυα ισχύος μικτής σύζευξης (Mixed-coupled).....	34
1.3.1.2.3 Μικροδίκτυα ισχύος σε σειρά/παράλληλα (Series/parallel)	34
1.3.1.2.3.1 Παράλληλα Μικροδίκτυα (Parallel Microgrids).....	34
1.3.1.2.3.2 Σε σειρά Μικροδίκτυα (Series Microgrids).....	35
1.4 Λογισμικό Μοντελοποίησης: Homer Pro	35
Κεφάλαιο 2. Βιώσιμη Ανάπτυξη μέσω των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (RES) .37	
2.1 Ηλιακή Ενέργεια.....	39
2.1.1 Τύποι Ηλιακών PV Κυψελών	40
2.1.2 Μονάδες PV και Συστοιχίες Μονάδων PV.....	42
2.1.3 Μέθοδοι Τοποθέτησης Ηλιακών PV	43
2.1.4 Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία σε PV.....	44
2.1.5 Μοντελοποίηση Ηλιακού PV	52
2.1.5.1 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα PV Κυψέλης	53
2.1.5.2 Μαθηματική Μοντελοποίηση PV.....	57
2.1.6 Αυτόνομα PV Συστήματα	58
2.1.7 Η προοπτική της Ηλιακής Ενέργειας στην Παγκόσμια Οικονομία	59

2.2 Αιολική Ενέργεια.....	60
2.2.1 Το φυσικό μοντέλο αξιοποίησης της Αιολικής Ενέργειας	68
2.2.2 Παράκτιες Ανεμογεννήτριες (Offshore Wind Turbines)	75
2.2.3 Νέες Τεχνολογίες Ανεμογεννητριών (Sky Wind Turbines)	79
2.2.4 Η προοπτική της Αιολικής Ενέργειας στην Παγκόσμια Οικονομία	83
2.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	85
2.4 Ενέργεια από Βιοκαύσιμα.....	91
2.5 Γεωθερμία	95
2.6 Θαλάσσια Ενέργεια	98
2.6.1 Ενέργεια από Κύματα (Wave Energy).....	98
2.6.2 Παλιρροιακή Ενέργεια (Tidal Energy).....	99
2.7 Παραγωγή Ενέργειας από Υδρογόνο	100
Κεφάλαιο 3. Μοντελοποίηση Μικροδικτύου	102
3.1 Μελέτη Περίπτωσης για το νησί της Χίου	102
3.1.1 Περιοχή Μελέτης.....	102
3.1.2 Δίκτυο Ισχύος Χίου	102
3.2 Ηλεκτρικές Καταναλώσεις Χίου.....	104
3.3 Δεδομένα Ηλιακής Ακτινοβολίας και Αξιολόγηση Ανεμολογικών Δεδομένων	109
3.3.1 Δεδομένα Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	109
3.3.2 Αξιολόγηση Ανεμολογικών Δεδομένων	112
3.4 Συστήματα προσομοίωσης – Σενάρια	114
3.5 Δεδομένα κόστους και Χαρακτηριστικά Μεγέθους Αποτελούμενων Στοιχείων Μικροδικτύου	116
3.5.1 Ανάλυση Συμβατικών Γεννητριών	117
3.5.2 Ανάλυση Ηλιακών PV πάνελ.....	119
3.5.3 Ανάλυση Ανεμογεννητριών.....	120
3.5.4 Ανάλυση Μπαταρίας	120
3.5.4 Ανάλυση Μετατροπέα	120
3.5.5 Περιορισμοί Συστήματος	121
3.5.6 Στρατηγική Ελέγχου και Διαχείρισης Συστήματος	121
Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα Υλοποίησης Σεναρίων στο HOMER PRO	122
4.1 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης	122
4.1.1 Σενάριο 1 / Δίκτυο από Συμβατικές Γεννήτριες	122

4.1.2 Σενάριο 2 / Δίκτυο από Συμβατικές Γεννήτριες-Φ/Β-Μετατροπέα-Μπαταρία	131
4.1.3 Σενάριο 3/ Δίκτυο από Συμβατικές Γεννήτριες-Φ/Β-Μετατροπέα-Μπαταρία-Α/Γ.....	141
4.1.4 Σενάριο 4/ Δίκτυο από Φ/Β-Μετατροπέα-Μπαταρία-Α/Γ (Πρόταση για Υλοποίηση Συστήματος μόνο από ΑΠΕ).....	152
4.2 Σύγκριση Σεναρίων για Διαμόρφωση Οικονομικών Συστημάτων Ισχύος.....	160
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα και Προτάσεις για Μελλοντική Εργασία	163
5.1 Συμπεράσματα.....	163
5.2 Μελλοντικά Σχέδια & Προτάσεις	164
Παράρτημα.....	165
Γλωσσάριο.....	173
Ακρωνύμια	173
Βιβλιογραφία.....	175

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Τα τέσσερα στάδια (4) της πορείας που ακολουθεί το ηλεκτρικό ρεύμα από την παραγωγή του στους καταναλωτές του. Πηγή: https://www.copper.org/environment/sustainable-energy/grid-infrastructure/	19
Σχήμα 2: Διαδικασία παραγωγής (Generation) ηλεκτρικού ρεύματος σε μία τυπική εργοστασιακή μονάδα ηλεκτρισμού. Πηγή: https://www.shiksha.com/work-energy-and-power-preparation/thermal-power-plant-diagram-2943	20
Σχήμα 3: Διαδικασία Μετάδοσης Ηλεκτρικής Ενέργειας. Πηγή: https://www.shutterstock.com/image-vector/electrical-substation-high-voltage-lines-transformers-1290351919	21
Σχήμα 4: Διαδικασία Διανομής και Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ισχύος. Πηγή: http://www.punjabtenders.net/invites-tender-for-electrical-power-supply-in-punjab/	22
Σχήμα 5: Η δομή ενός Μικροδικτύου. Πηγή: J. Peter και C. S. Aditya, «Feasibility Analysis of an Islanded Microgrid in Tohatchi, New Mexico Using HOMER Pro,» Energy and Power Engineering, τόμ. 12, 2020.....	23
Σχήμα 6: Αρχιτεκτονική Συστημάτων Μπαταριών Αποθήκευσης Ενέργειας. Πηγή: https://www.integrasources.com/blog/energy-management-and-energy-saving-bess/	25
Σχήμα 7: Μικροδίκτυο ισχύος με σύζευξη DC (DC coupled). Πηγή: L. E. Weldemariam, «Sustainable Off-grid Power station for Rural Applications» 2010...	32
Σχήμα 8: Μικροδίκτυο ισχύος με σύζευξη AC (AC coupled). Πηγή: L. E. Weldemariam, «Sustainable Off-grid Power station for Rural Applications» 2010...	33
Σχήμα 9: Αποκεντρωμένα Συζευγμένα Μικροδίκτυο με Εναλλασσόμενο Ρεύμα (Centralized AC-coupled). Πηγή: L. E. Weldemariam, «Sustainable Off-grid Power station for Rural Applications» 2010.....	34
Σχήμα 10: Μικροδίκτυο ισχύος μικτής σύζευξης (Mixed-coupled). Πηγή: L. E. Weldemariam, «Sustainable Off-grid Power station for Rural Applications» 2010...	34
Σχήμα 11: Σε σειρά Μικροδίκτυα (Series Microgrids). Πηγή: L. E. Weldemariam, «Sustainable Off-grid Power station for Rural Applications» 2010.....	35
Σχήμα 12: Δυνατότητες του λογισμικού HOMER PRO. Πηγή: https://www.homerenergy.com/	36
Σχήμα 13: Η βασική δομή μιας σύνδεσης p-n σε μια Φ/Β κυψέλη. Πηγή: C. O. Omer και K. Alireza, Alternative Energy in Power Electronics, Elsevier, 2015.....	40
Σχήμα 14: Σχηματικό Διάγραμμα για Κυψέλη, Μονάδα, PV Συστοιχία. Πηγή: W. Caisheng, «Modeling and Control of Hybrid Wind/Photovoltaic/Fuel cell Distributed» PhD thesis, 2006.....	42
Σχήμα 15: Θέσεις τοποθέτησης Συστήματος Παρακολούθησης Ήλιου. Πηγή: https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/single-axis-trackers/	44
Σχήμα 16: Προσανατολισμός και κλίση ηλιακής φωτοβολταϊκής μονάδας. Πηγή: William Brooks & James Dunlop. Photovoltaic Installation Resource Guide, NABCEP, 2012.....	46

Σχήμα 17: Ηλιακό ενεργειακό σύστημα. Πηγή: C. O. Omer και K. Alireza, <i>Alternative Energy in Power Electronics</i> , Elsevier, 2015.	52
Σχήμα 18: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα PV Κυψέλης. Πηγή: R. P. Mukund και B. Omid, <i>Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis & Operation</i> , CRC, 2021.....	53
Σχήμα 19: Παραλλαγές της Χαρακτηριστικής Καμπύλης I-V Φ/Β Κυψέλης με Διαφορετικές Κατηγορίες Απωλειών. Πηγή: R. P. Mukund και B. Omid, <i>Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis & Operation</i> , CRC, 2021.....	56
Σχήμα 20: Σύνδεση PV με Μπαταρία για Αυτόνομες Εφαρμογές. Πηγή: C. O. Omer και K. Alireza, <i>Alternative Energy in Power Electronics</i> , Elsevier, 2015.	58
Σχήμα 21: Παγκόσμια δυναμικότητα Ηλιακής Ισχύος και ετήσιες προσθήκες. Πηγή:	59
Σχήμα 22 : Παγκόσμια καθαρή προσθήκη στη συγκέντρωση ηλιακής ενέργειας. Πηγή: M. Kamran και M. R. Fazal, <i>Renewable Energy Conversion Systems</i> , Elsevier, 2021.....	59
Σχήμα 23: (Α) Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα. (Β) Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα. Πηγή: http://www.windturbineworks.com , 2018	61
Σχήμα 24: Μηχανισμοί ελέγχου ισχύος ανεμογεννητριών. Πηγή: R. P. Mukund και B. Omid, <i>Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis & Operation</i> , CRC, 2021.....	63
Σχήμα 25: Εξέλιξη βάσει μεγέθους και ονομαστικής ισχύος των ανεμογεννητριών. Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Evolution-of-the-size-and-rated-power-of-wind-turbines_fig3_309313810	65
Σχήμα 26: Προφίλ πτερυγίου ανεμογεννητριών με βάση τη Δύναμη ανύψωσης και Έλξης. Πηγή: Boston University Mechanical Engineering Department. <i>Wind Turbines</i> , 2010	69
Σχήμα 27: Ροή αέρα ανέμου κατά μήκος του ρότορα. Πηγή: Πηγή: R. P. Mukund και B. Omid, <i>Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis & Operation</i> , CRC, 2021	70
Σχήμα 28: Συντελεστής ισχύος έναντι αναλογίας ταχύτητας στα άκρα της Α/Γ για διάφορα είδη Α/Γ. Πηγή: M. Sathyajith, <i>Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics</i> , Springer, 2006.	73
Σχήμα 29: Χαρακτηριστική Καμπύλη μίας Τυπικής Α/Γ. Πηγή: : Boston University Mechanical Engineering Department. <i>Wind Turbines</i> , 2010	74
Σχήμα 30: Είδη υποστήριξης πλωτών υπεράκτιων ανεμογεννητριών. Πηγή: International Renewable Energy Agency [IRENA], 2016	77
Σχήμα 31: Παγκόσμια πρόβλεψη αθροιστικής εγκατάστασης υπεράκτιων Α/Γ. Πηγή: https://about.bnef.com/blog/global-offshore-wind-market-set-to-grow-sixfold-by-2030/	79
Σχήμα 32: Αερομεταφερόμενη ανεμογεννήτρια της Altaeros Energies. Πηγή: https://scitechdaily.com/high-altitude-blomp-wind-turbine-will-harness-stronger-winds/	83
Σχήμα 33: Παγκόσμια καθαρή προσθήκη στη συγκέντρωση αιολικής ενέργειας. Πηγή: M. Kamran και M. R. Fazal, <i>Renewable Energy Conversion Systems</i> , Elsevier, 2021.....	84

Σχήμα 34: Παγκόσμια δυναμικότητα Αιολικής Ισχύος και ετήσιες προσθήκες. Πηγή: https://www.evwind.es/2020/07/05/wind-energy-expanded-19-in-2019-with-around-60-gw-of-new-capacity/75563	85
Σχήμα 35: Μεγάλο υδροηλεκτρικό: φράγμα Grand Coulee 6,8 GW, ΗΠΑ. Πηγή: https://usbr.gov/pn/grandcoulee/news/gallery/aerial/1.html	86
Σχήμα 36: Συνολική παγκόσμια χωρητικότητα εγκατεστημένης υδροηλεκτρικής Ισχύς για το 2020. Πηγή: https://www.hydroreview.com/hydro-industry-news/despite-growth-hydropower-installation-needs-to-increase-further-ih-says/#gref	91
Σχήμα 37: Παραγωγή Ισχύος Ενέργειας από Εργοστάσια Καύσης Βιομάζας. Πηγή: https://alderinvestment.com/biomass-power-plants/	92
Σχήμα 38: Τύποι βιομάζας, τεχνολογίες μετατροπής ύλης και παράγωγα τους. Πηγή: M. Kamran και M. R. Fazal, Renewable Energy Conversion Systems, Elsevier, 2021.	92
Σχήμα 39: Παγκόσμια εγκατεστημένη Ισχύς για αξιοποίηση Βιομάζας. Πηγή: https://www.irena.org/bioenergy	94
Σχήμα 40: Γεωθερμικό Εργοστάσιο Gunung Salak στην Ινδονησία. Πηγή: https://www.starenergygeothermal.co.id/salak/	96
Σχήμα 41: Συνολική Εγκατεστημένη Γεωθερμική Ισχύς 2020-2025. Πηγή: «Geothermal Power Generation in the World 2015-2020 Update Report,» Proceedings World Geothermal Congress , Reykjavik, Iceland, 2021.	97
Σχήμα 42: Συνολική Εγκατεστημένη Γεωθερμική Ισχύς -14.900 MW,2019. Πηγή: https://www.thinkgeoenergy.com/global-geothermal-capacity-reaches-14900-mw-new-top10-ranking/	97
Σχήμα 43: Συσσκευή σημαδούρας για αξιοποίηση κυμάτων της εταιρείας OPT. Πηγή: https://oceanpowertechologies.com/	98
Σχήμα 44: Διαδικασία λειτουργίας φραγμάτων αξιοποίησης παλιρροιακής ενέργειας. Πηγή: https://www.britannica.com/science/tidal-power	99
Σχήμα 45: Συντελεστής περιβαλλοντικών επιπτώσεων (EIF), ο συντελεστής πρασίνου (GF) και η περιεκτικότητα σε παράγοντα υδρογόνου (HCF) του υδρογόνου κι άλλων ορυκτών καυσίμων. Πηγή: Dincer, I., & Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. International Journal of Hydrogen Energy	102
Σχήμα 46: Βήμα (1) και (2) για την εύρεση του προφίλ ηλεκτρικού φορτίου της Χίου για το 2020.	104
Σχήμα 47: Βήμα (3) για την εύρεση του προφίλ ηλεκτρικού φορτίου της Χίου για το 2020.	105
Σχήμα 48: Βήμα (4) για την εύρεση του προφίλ ηλεκτρικού φορτίου της Χίου για το 2020.	105
Σχήμα 49: Ημερήσια μεταβολή του προφίλ ηλεκτρικού φορτίου της Χίου για το 2020.	106
Σχήμα 50: Ετήσιο φορτίο κατανάλωσης Χίου για το 2020.	107
Σχήμα 51: Ιστόγραμμα Ζήτησης για το σύστημα της Χίου για το 2020.	107
Σχήμα 52: Data-Map του μηνιαίου προφίλ του φορτίου της Χίου για το 2020.....	108

Σχήμα 53: Εποχιακό προφίλ φορτίου της Χίου για το 2020.....	108
Σχήμα 54: Καμπύλη Διάρκειας Φορτίου για το σύστημα της Χίου για το 2020.....	109
Σχήμα 55: Παγκόσμια Οριζόντια Ακτινοβολία (GHI), Ελλάδα 1994-2018. Πηγή: https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/greece	110
Σχήμα 56: Μηνιαίες πηγές ηλιακής ακτινοβολίας και δείκτης καθαρότητας.	111
Σχήμα 57: Βήμα (11) και (12) για την εύρεση Μηνιαίων πηγών της ηλιακής ακτινοβολίας και δείκτης καθαρότητας για το νησί της Χίου το 2020.	111
Σχήμα 58: Ανεμολογικός Χάρτης Χίου.Πηγή: http://www.cres.gr/kape/maps/aioliko/Chios.htm	112
Σχήμα 59: Μέσος όρος Ταχυτήτων Ανέμου ανά μήνα για την Χίο για το 2020.	113
Σχήμα 60: Βήμα (13) για την εύρεση των Μέσων όρων Ταχυτήτων Ανέμου ανά μήνα για την Χίο για το 2020.	113
Σχήμα 61: Σενάριο 1 με χρήση Συμβατικών Μονάδων Γεννητριών.	114
Σχήμα 62: Σενάριο 2 με χρήση Συμβατικών Μονάδων Γεννητριών, PV και μπαταρίας.	115
Σχήμα 63: Σενάριο 3 με χρήση Συμβατικών Μονάδων Γεννητριών, PV, μπαταρίας και Α/Γ.	115
Σχήμα 64: Σενάριο 3 PV, μπαταρίας και Α/Γ, 100% ΑΠΕ.	116
Σχήμα 65:Βήμα (14) για την επιλογή των στοιχείων που μας ενδιαφέρουν για νησί της Χίου για το 2020.	116
Σχήμα 66: Γράφημα Κατανάλωσης Καυσίμου Γεννήτριας H.S.D/MAN 9K60.	118
Σχήμα 67: Καμπύλη Απόδοσης Γεννήτριας H.S.D/MAN 9K60.	119
Σχήμα 68: Καμπύλη ισχύος Α/Γ Vestas V27.....	120
Σχήμα 69: Μηνιαία Παραγωγή Ηλεκτρικού Ρεύματος στο νησί της Χίου για το 2020.	123
Σχήμα 70: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών MAN 9K60(14.476 kW), Σεναρίου 1.	124
Σχήμα 71: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών MAN 9K60(14.476 kW) , Σεναρίου 1.	125
Σχήμα 72: Ισχύς Εξόδου της Συμβατικής Γεννήτριας CEGIELSKI 9RTAF58 (11.000 kW) , Σεναρίου 1.....	125
Σχήμα 73: Ισχύς Εξόδου της Συμβατικής Γεννήτριας CEGIELSKI 9RTAF58 (9.000 kW) , Σεναρίου 1.....	125
Σχήμα 74: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW) , Σεναρίου 1.	126
Σχήμα 75: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW) , Σεναρίου 1.	126
Σχήμα 76: Ισχύς Εξόδου της τρίτης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW) , Σεναρίου 1.	126
Σχήμα 77: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW), Σεναρίου 1.	127
Σχήμα 78: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW) , Σεναρίου 1.	127

Σχήμα 79: Συνολική Σύνοψη στην Διαχείριση της Κατανάλωσης Καυσίμου για το Σενάριο 1.....	128
Σχήμα 80: Σύνοψη Ετήσιου Κόστους ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 1.....	129
Σχήμα 81: Ταμειακή Ροή ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 1.....	129
Σχήμα 82: Συνολικό Ετήσιο Κόστος ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 1.....	129
Σχήμα 83: Αναλυτικό Ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου για το Σενάριο 1.....	130
Σχήμα 84: Ταμειακή Ροή ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 1.....	130
Σχήμα 85: Μηνιαία Παραγωγή Ηλεκτρικού Ρεύματος στο νησί της Χίου για το 2020, Σεναρίου 2.....	133
Σχήμα 86: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών MAN 9K60(14.476 kW), Σεναρίου 2.....	133
Σχήμα 87: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών MAN 9K60(14.476 kW), Σεναρίου 2.....	133
Σχήμα 88: Ισχύς Εξόδου της Συμβατικής Γεννήτριας CEGIELSKI 9RTAF58 (11.000 kW),Σεναρίου 2.....	134
Σχήμα 89: Ισχύς Εξόδου της Συμβατικής Γεννήτριας CEGIELSKI 9RTAF58 (9.000 kW),Σεναρίου 2.....	134
Σχήμα 90: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW),Σεναρίου 2.....	134
Σχήμα 91: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW),Σεναρίου 2.....	135
Σχήμα 92: Ισχύς Εξόδου της τρίτης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW),Σεναρίου 2.....	135
Σχήμα 93: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW), Σεναρίου 2.....	135
Σχήμα 94: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW), Σεναρίου 2.....	136
Σχήμα 95: Συνολική Σύνοψη στην Διαχείριση της Κατανάλωσης Καυσίμου για το Σενάριο 2.....	136
Σχήμα 96: Ισχύς Εξόδου Φ/Β για το Σενάριο 2.....	138
Σχήμα 97: Κατάσταση Φόρτισης Μπαταρίας Σεναρίου 2.....	139
Σχήμα 98: Σύνοψη Ετήσιου Κόστους ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 2.....	139
Σχήμα 99: Ταμειακή Ροή ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 2.....	139
Σχήμα 100: Συνολικό Ετήσιο Κόστος ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 2.....	140
Σχήμα 101: Αναλυτικό Ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου για το Σενάριο 2.....	140
Σχήμα 102: Ταμειακή Ροή ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 2.....	140
Σχήμα 103: Μηνιαία Παραγωγή Ηλεκτρικού Ρεύματος στο νησί της Χίου για το 2020, Σεναρίου 3.....	143
Σχήμα 104: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών MAN 9K60(14.476 kW), Σεναρίου 3.....	143
Σχήμα 105: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών MAN 9K60(14.476 kW) , Σεναρίου 3.....	143
Σχήμα 106: Ισχύς Εξόδου της Συμβατικής Γεννήτριας CEGIELSKI 9RTAF58 (11.000 kW),Σεναρίου 3.....	144

Σχήμα 107: Ισχύς Εξόδου της Συμβατικής Γεννήτριας CEGIELSKI 9RTAF58 (9.000 kW),Σεναρίου 3.....	144
Σχήμα 108: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW),Σεναρίου 3.....	144
Σχήμα 109: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW),Σεναρίου 3.....	145
Σχήμα 110: Ισχύς Εξόδου της τρίτης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW),Σεναρίου 3.....	145
Σχήμα 111: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW), Σεναρίου 3.....	145
Σχήμα 112: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW), Σεναρίου 3.....	146
Σχήμα 113: Συνολική Σύνοψη στην Διαχείριση της Κατανάλωσης Καυσίμου για το Σενάριο 3.....	146
Σχήμα 114: Ισχύς Εξόδου Φ/Β για το Σενάριο 3.....	148
Σχήμα 115: Ισχύς Εξόδου Vestas V27-225kw (38 qty.) για το Σενάριο 3.....	149
Σχήμα 116: Κατάσταση Φόρτισης Μπαταρίας Σεναρίου 3.....	150
Σχήμα 117: Σύνοψη Ετήσιου Κόστους ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 3.....	150
Σχήμα 118: Ταμειακή Ροή ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 3.....	150
Σχήμα 119: Συνολικό Ετήσιο Κόστος ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 3.....	151
Σχήμα 120: Αναλυτικό Ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου για το Σενάριο 3.....	151
Σχήμα 121: Ταμειακή Ροή ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 3.....	151
Σχήμα 122: Ισχύς Εξόδου Φ/Β (5.175 kW) για το Σενάριο 4.....	154
Σχήμα 123: Ισχύς Εξόδου Φ/Β (80.979 kW) για το Σενάριο 4.....	155
Σχήμα 124: Ισχύς Εξόδου Vestas V27-225kw (38 qty.) για το Σενάριο 4.....	156
Σχήμα 125: Ισχύς Εξόδου Vestas V27-225kw (274 qty.) για το Σενάριο 4.....	157
Σχήμα 126: Κατάσταση Φόρτισης Μπαταρίας Σεναρίου 4.....	158
Σχήμα 127: Σύνοψη Ετήσιου Κόστους ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 4.....	158
Σχήμα 128: Ταμειακή Ροή ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 4.....	158
Σχήμα 129: Συνολικό Ετήσιο Κόστος ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 4.....	159
Σχήμα 130: Αναλυτικό Ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου για το Σενάριο 4.....	159
Σχήμα 131: Ταμειακή Ροή ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 4.....	159
Σχήμα 132: Σύγκριση Σεναρίων βάσει NPC.....	160
Σχήμα 133 : Σύγκριση Σεναρίων βάσει COE.....	160
Σχήμα 134: Σύγκριση Σεναρίων βάσει Κατανάλωσης Καυσίμου.....	161
Σχήμα 135: Σύγκριση Σεναρίων βάσει του κλάσματος ΑΠΕ και Ελλείματος Ενέργειας.....	161
Σχήμα 136: Σύγκριση Σεναρίων βάσει της Περίσσειας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	162
Σχήμα 137: Σύγκριση Σεναρίων βάσει των Εκπομπών Καυσαερίων.....	162

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Τεχνολογίες Μπαταριών που χρησιμοποιούνται για Αποθήκευση Ενέργειας.....	29
Πίνακας 2:Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (RES) και χρήσεις τους.....	38
Πίνακας 3: Τύποι γεννητριών και χαρακτηριστικά τους για την Χίο το 2020 σύμφωνα με τον ΔΕΔΔΗΕ.....	103
Πίνακας 4: Μηνιαία Δεδομένα Ακτινοβολίας για το νησί της Χίου.....	110
Πίνακας 5: Δεδομένα για τον Μέσο Όρο Ταχυτήτων Ανέμου ανά μήνα για την Χίο.....	113
Πίνακας 6:Χαρακτηριστικά Λειτουργίας Συμβατικών Γεννητριών.....	118
Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά Εγκατεστημένων PV στην Χίο για το έτος 2020.....	119
Πίνακας 8: Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Σεναρίου 1.....	122
Πίνακας 9: Αναλυτική Ηλεκτρική Παραγωγή και τεχνικά χαρακτηριστικά για βέλτιστη διαμόρφωση του Σεναρίου 1.....	124
Πίνακας 10:Εκπομπές Σεναρίου 1.....	128
Πίνακας 11: Οικονομικά Χαρακτηριστικά ως προς την Καθαρά Παρούσα Αξία για τη Βέλτιστη Ρύθμιση του Σεναρίου 1.....	129
Πίνακας 12: Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Σεναρίου 2.....	131
Πίνακας 13: Αναλυτική Ηλεκτρική Παραγωγή και τεχνικά χαρακτηριστικά για βέλτιστη διαμόρφωση του Σεναρίου 2.....	132
Πίνακας 14: Εκπομπές Σεναρίου 2.....	137
Πίνακας 15:Αποτελέσματα Φ/Β προσομοίωσης για το Σενάριο 2.....	137
Πίνακας 16:Αποτελέσματα Απόδοσης Μπαταρίας για το Σενάριο 2.....	138
Πίνακας 17: Οικονομικά Χαρακτηριστικά ως προς την Καθαρά Παρούσα Αξία για τη Βέλτιστη Ρύθμιση του Σεναρίου 2.....	139
Πίνακας 18: Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Σεναρίου 3.....	141
Πίνακας 19: Αναλυτική Ηλεκτρική Παραγωγή και τεχνικά χαρακτηριστικά για βέλτιστη διαμόρφωση του Σεναρίου 3.....	142
Πίνακας 20: Εκπομπές Σεναρίου 3.....	147
Πίνακας 21: Αποτελέσματα Φ/Β προσομοίωσης για το Σενάριο 3.....	147
Πίνακας 22: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Vestas V27-225kw (38 qty.) για το Σενάριο 3.....	148
Πίνακας 23: Αποτελέσματα Απόδοσης Μπαταρίας για το Σενάριο 3.....	149
Πίνακας 24: Οικονομικά Χαρακτηριστικά ως προς την Καθαρά Παρούσα Αξία για τη Βέλτιστη Ρύθμιση του Σεναρίου 3.....	150
Πίνακας 25: Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Σεναρίου 4.....	152
Πίνακας 26: Αναλυτική Ηλεκτρική Παραγωγή και τεχνικά χαρακτηριστικά για βέλτιστη διαμόρφωση του Σεναρίου 4.....	153
Πίνακας 27: Αποτελέσματα Φ/Β (5.175 kW)προσομοίωσης για το Σενάριο 4.....	153
Πίνακας 28: Αποτελέσματα Φ/Β (80.979 kW) προσομοίωσης για το Σενάριο 4.....	154

Πίνακας 29: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Vestas V27-225kw (38 qty.) για το Σενάριο 4.....	155
Πίνακας 30: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Vestas V27-225kw (274 qty.) για το Σενάριο 4.....	156
Πίνακας 31: Αποτελέσματα Απόδοσης Μπαταρίας για το Σενάριο 4.	157
Πίνακας 32: Οικονομικά Χαρακτηριστικά ως προς την Καθαρά Παρούσα Αξία για τη Βέλτιστη Ρύθμιση του Σεναρίου 4.	158

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Ηλεκτρισμός (Electricity)

Ο όρος ηλεκτρισμός χρησιμοποιείται ευρέως για να αναφερθούμε σε διαφορετικώς σχετιζόμενες φυσικές έννοιες:

1. Ηλεκτρικό φορτίο: Η θεμελιώδης ιδιότητα της ύλης μετρούμενη σε Coulomb.
2. Ηλεκτρικό Ρεύμα: Ο βαθμός της ροής του ηλεκτρικού φορτίου, μετρούμενος σε Ampere.
3. Ηλεκτρικό Δυναμικό: Η διαφορά δυναμικού στην ηλεκτρική ενέργεια μεταξύ δύο σημείων π.χ. μεταξύ του θετικού και του αρνητικού πόλου μίας μπαταρίας. Μετρείται σε Volt.
4. Ηλεκτρομαγνητισμός: Η σχέση μεταξύ ηλεκτρισμού και μαγνητισμού, η οποία επιτρέπει στην ηλεκτρική ενέργεια να δημιουργηθεί από μηχανική ενέργεια (όπως σε μία γεννήτρια) και αντιστρόφως (όπως σε έναν κινητήρα).

Στην καθημερινή ζωή, οι περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούν τον ηλεκτρισμό για να αναφερθούν σε ό,τι χρησιμοποιούν προκειμένου να ενισχύσουν τις καθημερινές τους δραστηριότητες και να καλύψουν τις ενεργειακές τους απαιτήσεις.

1.2 Ηλεκτρικό On-Grid Δίκτυο Ισχύος

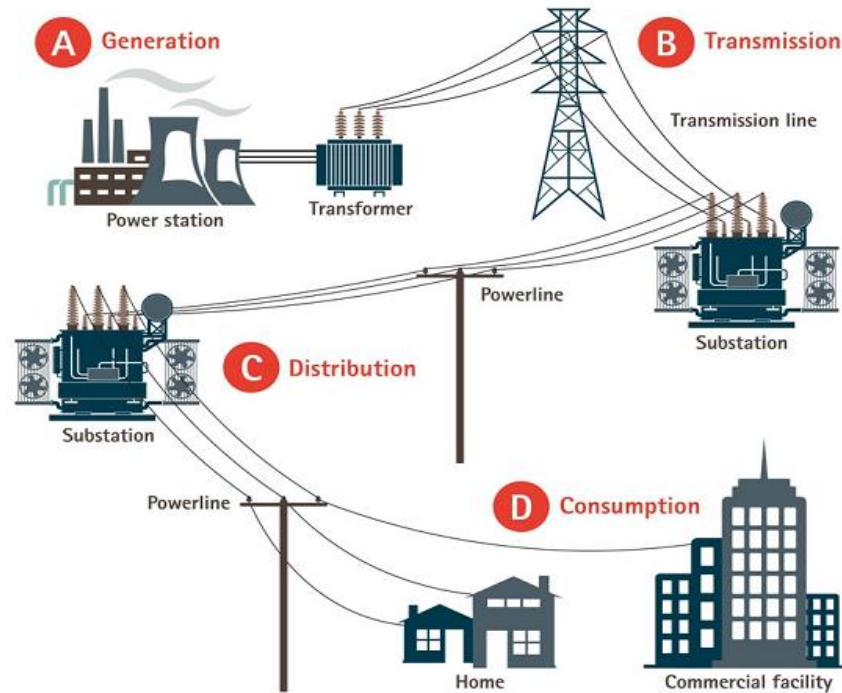
Το διασυνδεδεμένο δίκτυο για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος από την παραγωγή του στους καταναλωτές, ονομάζεται ηλεκτρικό δίκτυο ισχύος (Power Electrical Grid). Τα ηλεκτρικά δίκτυα ισχύος ποικίλλουν σε μέγεθος και δύνανται να καλύψουν ολόκληρες χώρες, ακόμα και ηπείρους.

Ένα τυπικό ηλεκτρικό δίκτυο αποτελείται από:

- Σταθμούς Ισχύος: Συχνά τοποθετημένοι κοντά στην πηγή εκμετάλλευσης-παραγωγής ενέργειας και μακριά από πυκνά κατοικημένες περιοχές.
- Ηλεκτρικούς Υποσταθμούς (SS): Χρησιμοποιούνται για την αύξηση - ανύψωση της Τάσης του Ρεύματος ή τη μείωση της, με την χρήση Μετασχηματιστών (Transformers).
- Μεταδότες Ηλεκτρικής Ισχύος: Μεταφέρουν Ισχύ σε μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιώντας γραμμές μετάδοσης Ρεύματος.
- Διανομή Ηλεκτρικής Ισχύος: Η φάση στην οποία η Τάση του Ρεύματος μειώνεται ξανά μέσω των υποσταθμών διανομής, προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες των υπηρεσιών σε κάθε πελάτη.

Διακρίνονται, λοιπόν, τέσσερα (4) στάδια από την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος, στην κατανάλωση:

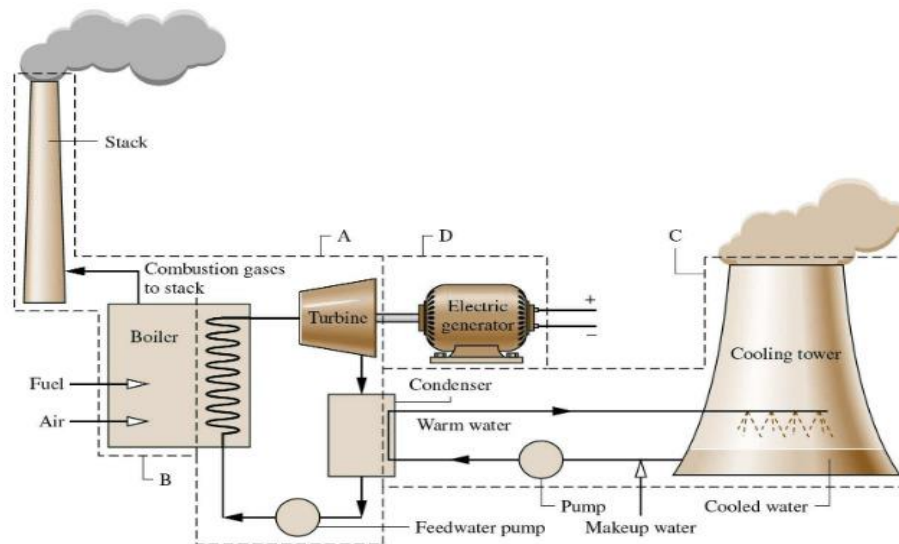
1. Παραγωγή (Generation)
2. Μετάδοση (Transmission)
3. Διανομή (Distribution)
4. Κατανάλωση (Consumption)



Σχήμα 1: Τα τέσσερα στάδια (4) της πορείας που ακολουθεί το ηλεκτρικό ρεύμα από την παραγωγή του στους καταναλωτές του. Πηγή: <https://www.copper.org/environment/sustainable-energy/grid-infrastructure/>

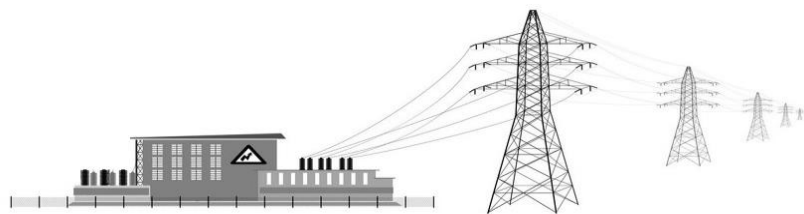
Πιο αναλυτικά για κάθε στάδιο:

1. **Παραγωγή (Generation):** Ο ηλεκτρισμός παράγεται στον Σταθμό Ισχύος, δηλαδή στο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Power Plant), όπου αποκτά φυσική σημασία και ύπαρξη, με την χρήση ορυκτών καυσίμων όπως την χρήση άνθρακα και φυσικού αερίου ή και μερικώς, από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), με πιθανή χρήση υδροηλεκτρικής, ηλιακής ή ακόμα και αιολικής (δηλαδή μέσω της ισχύος του ανέμου). Στη συνέχεια αξιοποιείται η αποδιδόμενη Ισχύς των διαφόρων αυτών μορφών ενέργειας και μετατρέπεται σε μηχανική δημιουργώντας περιστροφική κίνηση στον Στρόβιλο (Turbine). Αυτή η περιστροφή στις ονομαστικές στροφές ανά λεπτό επιτυγχάνεται με την ταυτόχρονη επίτευξη ονομαστικών παραμέτρων του ατμού στο λέβητα καύσης, όπως η θερμοκρασία και η πίεση. Στην πλειονότητα ο Στρόβιλος που χρησιμοποιείται στα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι Ατμοστρόβιλος (Steam Turbine). Ο Στρόβιλος ο οποίος έχει κοινό άξονα (Shaft) με μία Σύγχρονη Γεννήτρια (Synchronous Generator) περιστρέφεται ταυτόχρονα με αυτή σε σταθερές στροφές ανά λεπτό ανάλογα με τον αριθμό των πόλων της γεννήτριας και την ισχύουσα τυπική συχνότητα. Η Σύγχρονη Γεννήτρια εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια που της αποδίδει ο Στρόβιλος μετατρέποντας την σε ηλεκτρική, μέσω του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται σε αυτή και προκαλεί μικρή σχετικά διαφορά δυναμικού από 2.3 kV έως 30 kV, η οποία εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας. Το ηλεκτρικό ρεύμα που αποδίδεται από την Γεννήτρια είναι τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα (AC).



Σχήμα 2: Διαδικασία παραγωγής (Generation) ηλεκτρικού ρεύματος σε μία τυπική εργοστασιακή μονάδα ηλεκτρισμού. Πηγή: <https://www.shiksha.com/work-energy-and-power-preparation/thermal-power-plant-diagram-2943>

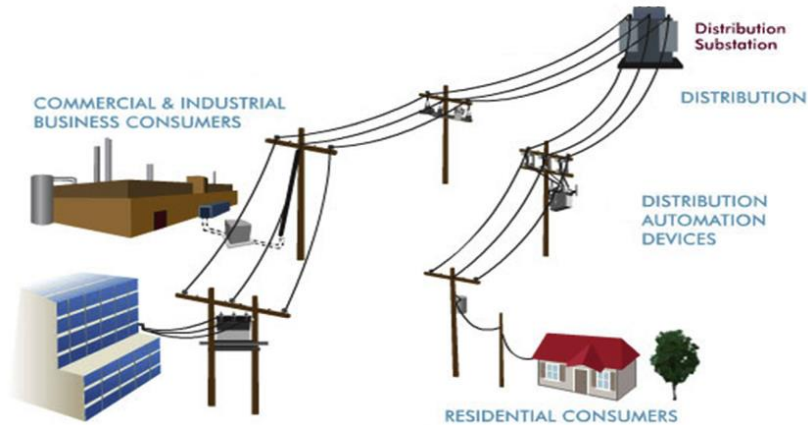
2. Μεταφορά (Transmission): Το ηλεκτρικό ρεύμα κατά την εκκίνηση του φτάνει σε έναν υποσταθμό ο οποίος περιέχει ένα Μετασχηματιστή (Transformer). Εκεί η τάση του ηλεκτρικού ρεύματος ανυψώνεται στα 115 kV έως 765 kV, το οποίο ποικίλλει ανάλογα με το σύστημα μεταφοράς και από την χώρα στην οποία αυτό βρίσκεται. Αυτή η ανύψωση συμβαίνει προκειμένου να επιτυγχάνεται αποτελεσματικά η μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος στους τελικούς αποδέκτες και κατά συνέπεια να μην υπάρχουν απώλειες που παράγονται από την υψηλή ένταση του ρεύματος. Έπειτα, το ηλεκτρικό ρεύμα φτάνει στους ψηλούς ατσάλινους πύργους υπερύψηλης τάσης, οι οποίοι φέρουν αγωγούς (Conductors) ηλεκτρικού ρεύματος. Οι αγωγοί αυτοί μπορούν να κατασκευαστούν διαμορφώνοντας την εκάστοτε γραμμή μεταφοράς, δηλαδή να χρησιμοποιηθούν τόσο πάνω από το έδαφος (Overhead Power Line) όσο και υπόγεια (Underground Power Line). Οι διασυνδεδεμένες γραμμές που διαμορφώνουν αυτή την κίνηση του ηλεκτρικού ρεύματος απαρτίζουν το Δίκτυο Μεταφοράς (Transmission Network). Η γραμμή μεταφοράς έχει τρεις αγωγούς φάσης και μεταφέρει τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα, συχνότητας 50 ή 60 Hz. Η τάση λειτουργίας πρέπει να παραμένει σταθερή στην ονομαστική τιμή.



Σχήμα 3: Διαδικασία Μετάδοσης Ηλεκτρικής Ενέργειας. Πηγή: <https://www.shutterstock.com/image-vector/electrical-substation-high-voltage-lines-transformers-1290351919>

3. Διανομή (Distribution): Συμβάλλει στην μεταφορά και τροφοδότηση με ηλεκτρική ισχύ των φορτίων κατανάλωσης. Το Μεσαίας Τάσης (Μ.Τ.) και Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.) διανέμεται σε μικρές περιοχές, μέσω της μετατροπής του, από Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.) ρεύμα το οποίο υποβαθμίζεται, στους υποσταθμούς ισχύος.

4. Κατανάλωση (Consumption): Ορίζεται το φορτίο που απορροφά-καταναλώνει την ισχύ του συστήματος. Το Υ.Τ. ηλεκτρικό ρεύμα ισχύος απορροφάται συνήθως από βιομηχανικούς καταναλωτές. Τα υπόλοιπα συστήματα κατανάλωσης αφορούν μικρότερους καταναλωτές που αξιοποιούν την Μ.Τ. και Χ.Τ., όπως νοικοκυριά, νοσοκομεία, εμπορικά κτίρια, βιομηχανίες μικρού και μεσαίου μεγέθους.



Σχήμα 4: Διαδικασία Διανομής και Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ισχύος. Πηγή: <http://www.punjabtenders.net/invites-tender-for-electrical-power-supply-in-punjab/>

1.3 Ηλεκτρικό Off-Grid Δίκτυο Ισχύος

1.3.1 Μικροδίκτυα

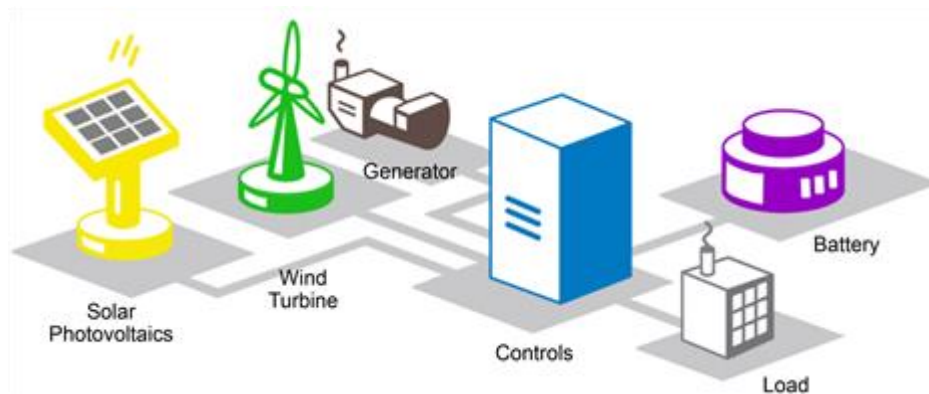
Ένα μικροδίκτυο μπορεί να οριστεί ως ένας συνδυασμός φορτίων, συσκευών αποθήκευσης ενέργειας, κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (DER) όπως φωτοβολταϊκά, γεννήτριες ντίζελ, ανεμογεννήτριες, σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου κ.λπ. μαζί με ένα κεντρικό σύστημα παρακολούθησης που είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση του φορτίου απόκρισης. Μπορεί να λειτουργήσει και ανεξάρτητα ενώ μπορεί να συνδεθεί και με το κύριο δίκτυο. Ένα μικροδίκτυο συνδεδεμένο στο δίκτυο συνδέεται με το κύριο δίκτυο μέσω ενός σημείου κοινής σύζευξης (PCC). Τα ζητήματα τάσης, ρεύματος και απόκλισης συχνότητας αντιμετωπίζονται καλά στα συνδεδεμένα στο δίκτυο μικροδίκτυα. Ένα από τα αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα ενός μικροδικτύου είναι ότι μπορεί να επιτύχει υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ως εκ τούτου, για μέρη όπου είναι δύσκολο να διεισδύσει το κύριο δίκτυο, μπορεί να προταθεί η χρήση καθαρών πηγών ενέργειας με τη μορφή μικροδικτύου. Τα μικροδίκτυα λειτουργούν σε χαμηλότερα επίπεδα τάσης καθώς και έχουν μικρότερο μέγεθος σε σύγκριση με τα συμβατικά δίκτυα. Ένα άλλο πλεονέκτημα ενός μικροδικτύου είναι ότι μπορεί να έχει προσαρμοσμένο μέγεθος με βάση τη ζήτηση φορτίου ενώ ένα σημαντικό μειονέκτημα του είναι ότι πρέπει να δικαιολογηθεί το κόστος κτήσης του σε σύγκριση με συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα ή γεννήτριες ντίζελ.

1.3.1.1 Στοιχεία Μικροδικτύου

Τα κύρια στοιχεία ενός μικροδικτύου περιλαμβάνουν:

1. **Ηλεκτρικό φορτίο (Electric Load):** Αυτό είναι το φορτίο που πρέπει να καλύψει το σύστημα μικροδικτύων. Το ηλεκτρικό φορτίο μπορεί περαιτέρω να χωριστεί σε κρίσιμα και μη κρίσιμα φορτία. Η μέση ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να καλυφθεί παίζει σημαντικό ρόλο στο ουσιαστικό ολόκληρο το σύστημα.

2. Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας (BESS): Οι συσκευές αποθήκευσης έχουν γίνει πρόσφατα αναπόσπαστο μέρος των μικροδικτύων. Σε μεγάλο βαθμό, για τα νησιωτικά μικροδίκτυα, έχει καταστεί πολύ απαραίτητο να υπάρχουν εφεδρικές συσκευές αποθήκευσης, καθώς η πλήρης εξάρτηση από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν είναι δυνατή λόγω της απρόβλεπτης φύσης τους. Η πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται μπορεί να αποθηκευτεί σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας κατά τη διάρκεια διαστημάτων υψηλής διείσδυσης ενέργειας και στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη της υψηλής ενεργειακής ζήτησης ή σε περιόδους που υπάρχει πολύ χαμηλή διείσδυση ενέργειας.
3. Κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι (DER): Οι κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι κυμαίνονται από γεννήτριες ντίζελ, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ηλιακή και αιολική ενέργεια έως σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου. Τα περισσότερα από τα νησιωτικά μικροδίκτυα αξιοποιούν την αιολική και ηλιακή ενέργεια σε συνδυασμό με αποθήκευση μπαταριών και γεννήτρια ντίζελ ή μονάδα παραγωγής ενέργειας φυσικού αερίου με βάση τη γεωγραφική θέση και τη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της περιοχής.
4. Μετατροπέας (Converter): Ο μετατροπέας είναι αναπόσπαστο μέρος ενός συστήματος μικροδικτύου. Είναι υπεύθυνος για τη μετατροπή DC σε AC και αντίστροφα. Είναι εξίσου υπεύθυνο για τη ρύθμιση της ισχύος, επομένως είναι κατάλληλο για εφαρμογές τελικού χρήστη.
5. Ελεγκτής (Controller): Ο ελεγκτής είναι ο εγκέφαλος ενός μικροδικτύου. Ελέγχει την ομαλή λειτουργία ολόκληρου του συστήματος και για τη μεγιστοποίηση της ισχύος εξόδου. Μόλις ένας ελεγκτής μικροδικτύου προγραμματιστεί σύμφωνα με τις ανάγκες του χρήστη, αξιολογεί αυτόματα διαφορετικά σενάρια ενέργειας και ενεργεί ανάλογα. Είναι υπεύθυνος για την καθημερινή αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο πρέπει να καλύπτεται η ζήτηση ενέργειας, τότε πρέπει να χρησιμοποιείται η ενέργεια από την μπαταρία, τότε πρέπει να ενεργοποιούνται οι εφεδρικές γεννήτριες κ.λπ.



Σχήμα 5: Η δομή ενός Μικροδικτύου. Πηγή: J. Peter και C. S. Aditya, «Feasibility Analysis of an Islanded Microgrid in Tohatchi, New Mexico Using HOMER Pro,» Energy and Power Engineering, τόμ. 12, 2020.

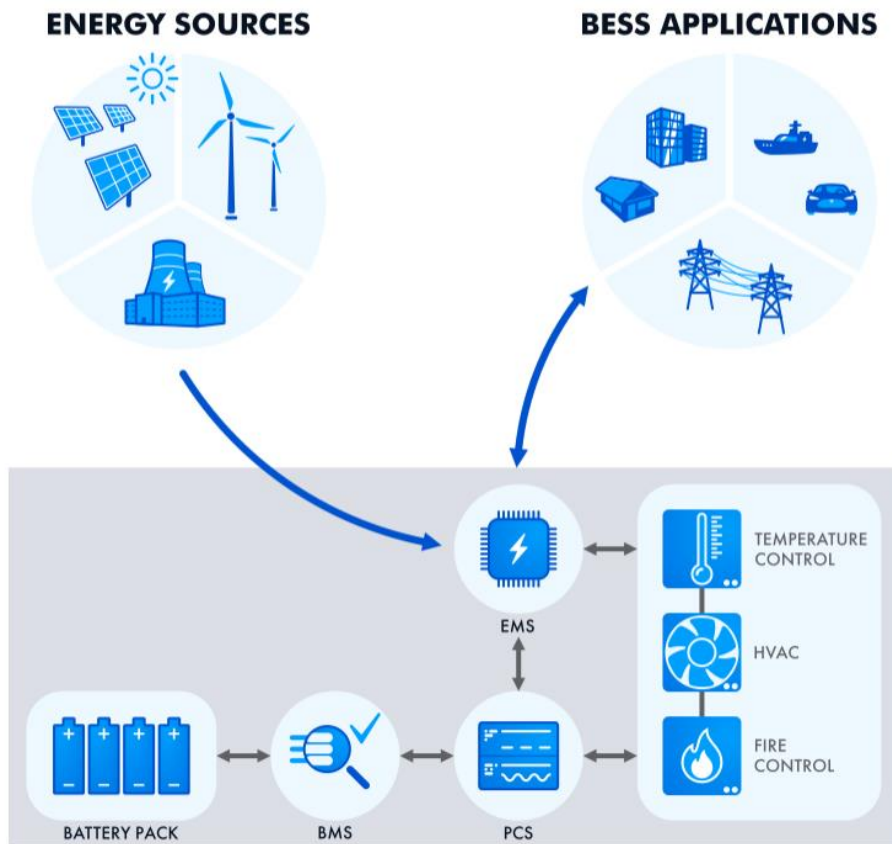
1.3.1.1.1 Συστήματα Μπαταριών Αποθήκευσης Ενέργειας(BESS)

Ως Σύστημα Μπαταριών νοείται ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (ESS) που συλλέγει ενέργεια από διαφορετικές πηγές, συσσωρεύει αυτήν την ενέργεια και την αποθηκεύει σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για μελλοντική χρήση. Εάν παραστεί ανάγκη, η ηλεκτροχημική ενέργεια αποφορτίζεται από την μπαταρία και παρέχεται σε σπίτια, ηλεκτρικά οχήματα, βιομηχανικές και εμπορικές εγκαταστάσεις.

Το Σύστημα Μπαταριών (BESS) είναι ένα σύνθετο σύστημα που περιλαμβάνει στοιχεία hardware μαζί με λογισμικό (software) χαμηλού και υψηλού επιπέδου. Τα κύρια μέρη του περιλαμβάνουν:

- Ένα σύστημα μπαταρίας: Περιέχει μεμονωμένες μπαταρίες που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυψέλες είναι διατεταγμένες σε μονάδες που, με τη σειρά τους, σχηματίζουν πακέτα μπαταριών.
- Ένα σύστημα διαχείρισης μπαταριών (BMS): Διασφαλίζει την ασφάλεια του συστήματος μπαταρίας. Παρακολουθεί την κατάσταση των στοιχείων της μπαταρίας, μετρά τις παραμέτρους και τις καταστάσεις τους, όπως η κατάσταση φόρτισης (SOC) και η κατάσταση της υγείας (SOH), και προστατεύει τις μπαταρίες από πυρκαγιές και άλλους κινδύνους.
- Ένας μετατροπέας ή ένα σύστημα μετατροπής ισχύος (PCS): Αυτό μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (DC) που παράγεται από τις μπαταρίες σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) που παρέχεται στις εγκαταστάσεις. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας της μπαταρίας διαθέτουν μετατροπείς αμφίδρομης κατεύθυνσης που επιτρέπουν τόσο τη φόρτιση όσο και την εκφόρτιση.
- Ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS): Αυτό είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ροής ενέργειας μέσα σε ένα σύστημα αποθήκευσης μπαταρίας. Συντονίζει την εργασία ενός συστήματος διαχείρισης μπαταριών (BMS), ενός συστήματος μετατροπή ισχύος (PCS) και άλλων στοιχείων ενός BESS. Συλλέγοντας και αναλύοντας ενεργειακά δεδομένα, ένα EMS μπορεί να διαχειριστεί αποτελεσματικά τους πόρους ισχύος του συστήματος.

Ανάλογα με τη λειτουργικότητα και τις συνθήκες λειτουργίας του, ένα BESS μπορεί επίσης να περιλαμβάνει μια σειρά συστημάτων ασφαλείας, όπως σύστημα ελέγχου πυρκαγιάς, ανιχνευτή καπνού, σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας, ψύξης, θέρμανσης, εξαερισμού και συστήματα κλιματισμού. Τα συστήματα ασφαλείας έχουν τις δικές τους μονάδες παρακολούθησης και ελέγχου που παρέχουν τις απαραίτητες συνθήκες για την ασφαλή λειτουργία ενός BESS παρακολουθώντας τις παραμέτρους του και ανταποκρινόμενοι σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.



Σχήμα 6: Αρχιτεκτονική Συστημάτων Μπαταριών Αποθήκευσης Ενέργειας. Πηγή: <https://www.integrasources.com/blog/energy-management-and-energy-saving-bess/>

Εκτός από τα ηλεκτρονικά, τα πολύπλοκα BESS βασίζονται σε ισχυρές λύσεις λογισμικού. Για παράδειγμα, τα υπερσύγχρονα συστήματα χρησιμοποιούν αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης ενέργειας. Η εκτίμηση των καταστάσεων και των χαρακτηριστικών της μπαταρίας με υψηλή ακρίβεια απαιτεί αξιόπιστους αλγόριθμους και μαθηματικά μοντέλα που ενσωματώνονται στην ανάπτυξη λογισμικού BMS. Εν ολίγοις, ένα BESS συλλέγει ενέργεια από ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική, και την αποθηκεύει χρησιμοποιώντας τεχνολογία αποθήκευσης μπαταρίας. Στη συνέχεια, οι μπαταρίες αποφορτίζονται και απελευθερώνουν την ενέργεια όταν είναι απαραίτητο—κατά τη διάρκεια των απαιτήσεων αιχμής, των διακοπών ρεύματος και σε μια ποικιλία άλλων εφαρμογών.

Τα BESS μπορούν να ενσωματώσουν διαφορετικές μπαταρίες, συμπεριλαμβανομένων των μπαταριών ιόντων λιθίου, μολύβδου-οξέος, νικελίου-καδμίου και άλλες - θα τις αναλύσουμε αργότερα στο άρθρο. Κάθε τύπος μπαταρίας έχει ορισμένες τεχνικές προδιαγραφές που προσδιορίζουν τις χρήσεις του BESS και επηρεάζουν την απόδοση της αποθήκευσης ενέργειας της μπαταρίας. Τα κύρια χαρακτηριστικά της μπαταρίας περιλαμβάνουν:

- Χωρητικότητα αποθήκευσης (Storage Capacity): Αυτή είναι η ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου που αποθηκεύεται από μια μπαταρία ή η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που είναι διαθέσιμη σε ένα BESS.
- Ισχύς (Power): Αυτή η παράμετρος καθορίζει την ποσότητα ισχύος που παρέχεται από μια μπαταρία ή την ισχύ εξόδου που μπορεί να παρέχει ένα BESS.
- Αποτελεσματικότητα μετ' επιστροφής (Round-trip-efficiency): Εμφανίζει την αναλογία της ενέργειας που παρέχεται από μια μπαταρία κατά την εκφόρτιση προς την ενέργεια που παρέχεται στην μπαταρία κατά τη διάρκεια ενός κύκλου φόρτισης.
- Βάθος εκκένωσης (DoD): Δείχνει το ποσοστό της ενέργειας που αποφορτίζεται από μια μπαταρία σε σχέση με τη συνολική χωρητικότητά της.
- Διάρκεια Ζωής (Lifetime): Μπορεί να οριστεί ως ο αριθμός των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης μιας μπαταρίας ή η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παρέχει μια μπαταρία κατά τη διάρκεια της ζωής της (απόδοση μπαταρίας).
- Ασφάλεια (Safety): Είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που δείχνει τη συμμόρφωση της μπαταρίας με τις απαιτήσεις ασφαλείας, για παράδειγμα, όσον αφορά τη χημεία της μπαταρίας.

Εκτός από τις παραπάνω προδιαγραφές μπαταριών, τα συστήματα μπαταριών αποθήκευσης έχουν και άλλα χαρακτηριστικά που περιγράφουν την απόδοσή τους. Για παράδειγμα, ο χρόνος απόκρισης (Response time) είναι ο χρόνος που χρειάζεται ένα BESS για να μετακινηθεί από την κατάσταση αδράνειας και να αρχίσει να

λειτουργεί με πλήρη ισχύ. Ο ρυθμός μεταβολής της παραγωγής (ramp rate) είναι ο ρυθμός με τον οποίο το σύστημα μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει την ισχύ εξόδου του—να την αυξήσει ή προς τα κάτω, αντίστοιχα.

1.3.1.1.1.1 Τύποι & Χαρακτηριστικά Συστημάτων Μπαταριών Αποθήκευσης Ενέργειας (BESS)

Τα BESS ποικίλλουν ανάλογα με την ηλεκτροχημεία ή την τεχνολογία μπαταρίας που χρησιμοποιούν:

- Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου (Li-Ion):
Οι χημείες μπαταριών ιόντων λιθίου περιλαμβάνουν οξειδίο κοβαλτίου λιθίου, οξειδίο μαγγανίου λιθίου, φωσφορικό σίδηρο λιθίου, οξειδίο κοβαλτίου μαγγανίου λιθίου νικελίου (NMC) και άλλα. Τα πλεονεκτήματα μιας μπαταρίας Li-ion την καθιστούν μία από τις κορυφαίες τεχνολογίες που διευκολύνουν την αποθήκευση ενέργειας. Η παγκόσμια αγορά μπαταριών ιόντων λιθίου προβλέπεται να διπλασιαστεί έως το 2026, φτάνοντας τα 91.9 δισεκατομμύρια δολάρια. Είναι ελαφρύ και συμπαγές, έχει υψηλή χωρητικότητα και ενεργειακή πυκνότητα, χαμηλή συντήρηση και μεγάλη διάρκεια ζωής. Επιπλέον, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου φορτίζονται εύκολα και γρήγορα και έχουν χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης. Τα αδύναμα σημεία αυτής της τεχνολογίας μπαταριών περιλαμβάνουν το υψηλό κόστος, την αναφλεξιμότητα και τη μη αντοχή τους σε ακραίες θερμοκρασίες, την υπερφόρτιση και την υπερεκφόρτιση.
- Μπαταρίες Μολύβδου Οξέος (Lead Acid-PbA):
Η μπαταρία μολύβδου-οξέος είναι η παλαιότερη τεχνολογία μπαταριών και είναι επίσης μια από τις φθηνότερες και πιο διαθέσιμες λύσεις που βρίσκουν χρήση σε αυτοκινητοβιομηχανίες και βιομηχανικές εφαρμογές καθώς και σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Οι μπαταρίες PbA είναι εξαιρετικά ανακυκλώσιμες και μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά τόσο σε υψηλές όσο και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος που ρυθμίζονται με βαλβίδες (VRLA) είναι πιο κατάλληλες για λύσεις αποθήκευσης ισχύος από τις παλαιότερες αντίστοιχες μπαταρίες μολύβδου-οξέος, καθώς έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μεγαλύτερη χωρητικότητα και ευκολότερη συντήρηση. Η αργή φόρτιση, το μεγάλο βάρος και η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα είναι μεταξύ των σημαντικότερων μειονεκτημάτων αυτής της τεχνολογίας μπαταρίας.

- Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd):
 Αυτός ο τύπος μπαταρίας κυριάρχησε στην αγορά φορητών ηλεκτρονικών ειδών μέχρι να μπου στην αντίστοιχη αγορά οι μπαταρίες Li-ion. Οι μπαταρίες Ni-Cd έχουν πολλές χρήσεις, είναι φθηνές, εύκολες στη μεταφορά και αποθήκευση και εξαιρετικά ανθεκτικές σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η τεχνολογία βρίσκεται πίσω από τους ανταγωνιστές της σε ενεργειακή πυκνότητα, ρυθμό αυτοεκφόρτισης και ανακύκλωση. Οι μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου (Ni-MH) χρησιμοποιούν το ίδιο συστατικό με την τεχνολογία Ni-Cd—υδροξείδιο του νικελίου (NiO(OH)). Ωστόσο, η χημεία της μπαταρίας Ni-MH παρέχει καλύτερα χαρακτηριστικά, όπως υψηλότερη χωρητικότητα και πυκνότητα ενέργειας.
- Μπαταρίες Νατρίου-Θείου (Na-S):
 Μια μπαταρία νατρίου-θείου είναι μια οικονομικά αποδοτική τεχνολογία που βασίζεται στο λιωμένο αλάτι. Τα πλεονεκτήματα των μπαταριών Na-S περιλαμβάνουν υψηλή ενεργειακή και πυκνότητα ισχύος, μεγάλη διάρκεια ζωής και σταθερή λειτουργία κάτω από ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος. Ωστόσο, αυτή η τεχνολογία μπαταρίας έχει περιορισμένη περιοχή εφαρμογής λόγω των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας (όχι μικρότερες από 300 °C) και της ευαισθησίας στη διάβρωση. Επιπλέον, το νάτριο είναι ένα επικίνδυνο συστατικό που είναι πολύ εύφλεκτο και εκρηκτικό. Οι μπαταρίες νατρίου-θείου είναι κατάλληλες για αυτόνομες εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας ενσωματωμένες με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Μπαταρίες Ροής (Flow Batteries):
 Σε αντίθεση με τις συμβατικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες στις οποίες η ενέργεια αποθηκεύεται σε στερεό υλικό ηλεκτροδίων, οι μπαταρίες ροής αποθηκεύουν ενέργεια σε διαλύματα υγρών ηλεκτρολυτών. Ο πιο κοινός τύπος μπαταρίας ροής είναι η μπαταρία οξειδοαναγωγής βαναδίου (VRB). Οι άλλοι τύποι αποτελούνται από χημικές ουσίες ψευδάργυρου-βρωμίου, ψευδαργύρου-σιδήρου και σιδήρου-χρωμίου. Παρά τη χαμηλή ενεργειακή τους χωρητικότητα και τον χαμηλό ρυθμό φόρτισης/εκφόρτισης, οι μπαταρίες ροής έχουν πολλά σημαντικά πλεονεκτήματα, επιτρέποντάς τους να κατέχουν μεγάλο μερίδιο αγοράς σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας εντός και εκτός δικτύου, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών μεγάλης κλίμακας. Αυτά τα οφέλη περιλαμβάνουν εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής (έως 30 χρόνια), υψηλή επεκτασιμότητα, γρήγορο χρόνο απόκρισης και χαμηλό κίνδυνο πυρκαγιάς, επειδή οι μπαταρίες ροής περιέχουν μη εύφλεκτους ηλεκτρολύτες.

Πίνακας 1: Τεχνολογίες Μπαταριών που χρησιμοποιούνται για Αποθήκευση Ενέργειας.

Τεχνολογία Μπαταρίας	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ιόντων Λιθίου (Li-Ion):	<ul style="list-style-type: none"> • Ελαφριές & Στιβαρές • Υψηλή Χωρητικότητα • Υψηλή Πυκνότητα Ενέργειας • Χαμηλά Επίπεδα Συντήρησης • Μεγάλη Διάρκεια Ζωής • Εύκολη & Γρήγορη Φόρτιση • Μικρός Ρυθμός Αυτό-εκφόρτισης 	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλό Κόστος • Υψηλά Εύφλεκτα • Μη Αντοχή σε Υψηλές Θερμοκρασίες • Υπερφόρτωση • Υπερεκφόρτωση
Μολύβδου Οξέος (Lead Acid-PbA):	<ul style="list-style-type: none"> • Πολύ φθηνή • Ανακυκλώνεται πολύ εύκολα • Λειτουργεί το ίδιο καλά σε Υψηλές & Χαμηλές Θερμοκρασίες 	<ul style="list-style-type: none"> • Αργή Φόρτιση • Μεγάλο Βάρος • Χαμηλή Πυκνότητα Ενέργειας
Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd):	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν είναι ακριβή • Εύκολη στην Μεταφορά & την Αποθήκευση • Υψηλή Ανθεκτικότητας στις Χαμηλές Θερμοκρασίες 	<ul style="list-style-type: none"> • Χαμηλή Πυκνότητα Ενέργειας • Υψηλός Ρυθμός Αυτό-εκφόρτισης • Δύσκολη στην Ανακύκλωση
Νατρίου-Θείου (Na-S):	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλή Πυκνότητα Ενέργειας • Υψηλή Πυκνότητα Ισχύος • Μεγάλη Διάρκεια Ζωής • Σταθερή Λειτουργία κάτω από Δύσκολες Περιβαλλοντολογικές Συνθήκες 	<ul style="list-style-type: none"> • Λειτουργία σε Υψηλές Θερμοκρασίες (Όχι κάτω από 300° C) • Ευαισθησία στην Διάβρωση • Υψηλός Κίνδυνος Εξέλιξης Πυρκαγιών & Ανατινάξεων
Μπαταρίες Ροής (Flow Batteries):	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλή Διάρκεια Ζωής • Υψηλή Δυνατότητα Επέκτασης • Υψηλή Ανταπόκριση Χρονικά • Χαμηλός Κίνδυνος Εξέλιξης Πυρκαγιών 	<ul style="list-style-type: none"> • Χαμηλή Πυκνότητα Ενέργειας • Μικρός Ρυθμός Φόρτισης και Εκφόρτισης

1.3.1.1.2 Λόγοι Χρήσης των BESS σε επίπεδο Εφαρμογών

Η επιλογή μπαταριών για αποθήκευση ενέργειας μπορεί να είναι ευεργετική για διάφορους λόγους. Αρχικά, οι ιδέες αποθήκευσης μπαταριών δεν έχουν όρια όσον

αφορά την τοποθεσία - δεν χρειάζεται να παρέχετε τεράστιες δεξαμενές νερού ή υπόγειες δεξαμενές αέρα. Λόγω της διαθεσιμότητας και της ευελιξίας του, ένα BESS μπορεί να ταιριάζει καλά με εφαρμογές που απαιτούν διαφορετικά επίπεδα ισχύος και χωρητικότητας αποθήκευσης. Επιπλέον, οι σύγχρονες τεχνολογίες μπαταριών κλίνουν προς το μικρό βάρος, την οικονομική αποδοτικότητα, την ασφάλεια και τη φιλικότητα προς το περιβάλλον. Μερικά από τα BESS και τα βασικά προβλήματα που μπορεί να λύσουν είναι τα εξής:

- Διαχείριση Φορτίου (Διαχείριση Ζήτησης Ενέργειας):
Τα BESS βοηθούν στην εξισορρόπηση των φορτίων μεταξύ των ωρών αιχμής και εκτός αιχμής. Οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την ημέρα, την ώρα, την εποχή και άλλους παράγοντες. Όσο μεγαλύτερη είναι η ζήτηση, τόσο υψηλότερο είναι το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και αντίστροφα—η τιμολόγηση μειώνεται κατά τις ώρες εκτός αιχμής. Με τη συσσώρευση ενέργειας όταν η ζήτηση είναι χαμηλή και την εκφόρτισή της σε περιόδους αιχμής, οι λύσεις αποθήκευσης μπαταριών επιτρέπουν στους χρήστες να εξοικονομούν στα τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας (peak shaving).
- Χρονικές Εναλλαγές Ενεργειακών Απαιτήσεων(Arbitrage):
Οι τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος κυμαίνονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, έχοντας τόσο αυξήσεις όσο και μειώσεις. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπαταριών επιτρέπουν τη μετατόπιση της ενέργειας - η ενέργεια αγοράζεται σε χαμηλή τιμή σε περιόδους εκτός αιχμής και πωλείται ή χρησιμοποιείται όταν η τιμή αυξάνεται. Έτσι, ανεξάρτητα από την εποχή και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, τα BESS μπορούν να εξισώσουν τις τιμές της ενέργειας και να ελαχιστοποιήσουν τους κινδύνους.
- Εφεδρική Ισχύς(Backup Power):
Ένα BESS μπορεί να παρέχει εφεδρική ισχύ σε περίπτωση βλάβης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι την πλήρη αποκατάσταση της ισχύος. Η μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης και η ενσωμάτωση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επιτρέπουν στα BESS να δημιουργούν εφεδρεία ενέργειας για μεγαλύτερες περιόδους. Λειτουργώντας ως χωρίς διακοπές τροφοδοτικό (UPS), μια εμπορική λύση αποθήκευσης μπαταριών μπορεί να εξοικονομήσει χρόνο και χρήμα καθώς εξαλείφει το χρόνο διακοπής λειτουργίας.

- Δυνατότητα “Τυφλής” Εκκίνησης(Black-Start Capability):
Ένα BESS μπορεί να αντικαταστήσει μια γεννήτρια ντίζελ ή φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής για την αποκατάσταση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μετά από διακοπές ρεύματος, αξιοποιώντας τις δυνατότητές της για “Τυφλή” Εκκίνηση. Με βάση την αποθήκευση της μπαταρίας, τα συστήματα τροφοδοσίας μπορούν να επανεκκινηθούν μετά από πλήρη διακοπή λειτουργίας χωρίς τη χρήση εξωτερικών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Ο γρήγορος χρόνος απόκρισης ενός BESS βοηθά τα συστήματα να επανέλθουν το συντομότερο δυνατό χρόνο .
- Έλεγχος Συχνότητας
Τα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών μπορούν να ρυθμίζουν τη συχνότητα στο δίκτυο, διασφαλίζοντας ότι η τιμή της βρίσκεται εντός του απαιτούμενου εύρους. Εάν η ποσότητα της παραγόμενης ισχύος διαφωνεί με την πραγματική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, η συχνότητα μπορεί είτε να υπερβεί είτε να πέσει κάτω από την ονομαστική της τιμή. Τέτοιες αποκλίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε προσωρινές αποσυνδέσεις, διακοπές ρεύματος ή διακοπές ρεύματος. Τα BESS μπορούν να ανταποκριθούν αμέσως σε διακοπές ρεύματος, παρέχοντας απόκριση συχνότητας δευτερολέπτου και σταθεροποιώντας το δίκτυο.

Ένα BESS μπορεί επίσης να εξασφαλίσει σταθερότητα τάσης, διατηρώντας το επίπεδό του εντός του καθορισμένου εύρους.

- Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας:
Η ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας μπαταριών με μερική χρήση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανοίγει την πόρτα σε φθηνή ηλεκτρική ενέργεια που διατίθεται συνεχώς σε συστήματα εντός δικτύου, εκτός δικτύου και υβριδικών συστημάτων. Πιο πρόσφατα, η καθαρή ενέργεια έχει αποκτήσει δημοτικότητα ως οικονομικά βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αύξησαν το μερίδιό τους στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από 27% το 2019 σε 29% το 2020. Επιπλέον, προβλέπεται να φτάσει το 45% έως το 2040. Ο πολλαπλασιασμός των λύσεων αποθήκευσης με δυνατότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας υποστηρίζεται εκτενώς και παρέχεται κίνητρα από τις κυβερνήσεις μέσω επιδοτήσεων και χαμηλότερων φορολογικών συντελεστών.

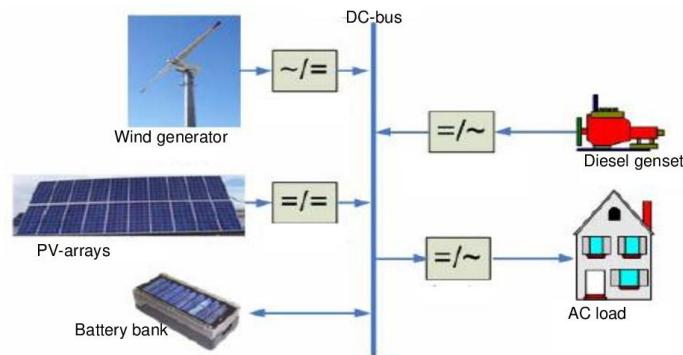
1.3.1.2 Είδη Συνδέσεων Μικροδικτύων

Τα μικροδίκτυα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την τάση τους και τις απαιτήσεις φορτίου τους σε τρεις (3) διαφορετικές διαμορφώσεις:

1. Μικροδίκτυα ισχύος με σύζευξη DC (DC coupled),
2. Μικροδίκτυα συνδεδεμένο με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC coupled) και
3. Μικροδίκτυα μικτής σύζευξης (mixed-coupled).

1.3.1.2.1 Μικροδίκτυα ισχύος με σύζευξη DC (DC coupled)

Στη διαμόρφωση συνεχούς ρεύματος, όλα τα συστήματα μετατροπής ενέργειας συνδέονται είτε απευθείας είτε μέσω μετατροπέα ισχύος DC/DC, σε μια γραμμή διαύλου DC στην οποία συνδέονται τα φορτία DC. Όλες οι πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος μετατρέπονται σε πηγές συνεχούς ρεύματος μέσω μετατροπέων. Επιπλέον, αυτή η διαμόρφωση μπορεί να υποστηρίζει και να παρέχει τροφοδοσία AC στα φορτία AC μέσω ενός μετατροπέα DC/AC. Σε ό,τι αφορά την αποθήκευση ενέργειας, το υβριδικό σύστημα συνδέεται επίσης με τη γραμμή διαύλου DC (DC bus) μέσω ενός μετατροπέα αμφίδρομης κατεύθυνσης προκειμένου να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες στα φορτία συνεχούς ρεύματος ως απάντηση στη ζήτηση. Τα κύρια πλεονεκτήματα της διαμόρφωσης συνδεδεμένου DC είναι ότι δεν υπάρχει ανάγκη για συγχρονισμό του συστήματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μικροδίκτυο DC και ότι η ζήτηση ικανοποιείται χωρίς διακοπές. Παρά τα πλεονεκτήματα, υπάρχει ένα κύριο μειονέκτημα στο σύστημα μετατροπής. Εάν υπάρχει βλάβη στον μετατροπέα DC/AC, ολόκληρο το σύστημα δεν θα μπορούσε να τροφοδοτήσει εναλλασσόμενο ρεύμα στα φορτία AC.



Σχήμα 7: Μικροδίκτυο ισχύος με σύζευξη DC (DC coupled). Πηγή: L. E. Weldemariam, «Sustainable Off-grid Power station for Rural Applications» 2010.

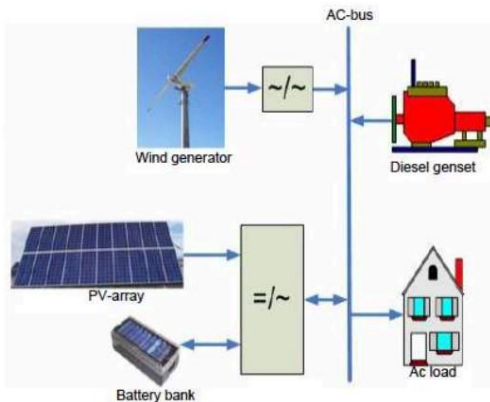
1.3.1.2.2. Μικροδίκτυα ισχύος με σύζευξη AC (AC coupled)

Σε αυτή τη διαμόρφωση όλα τα εξαρτήματα (τεχνολογίες παραγωγής και αποθήκευσης) του μικροδικτύου συνδέονται στη γραμμή διαύλου AC είτε απευθείας με τα φορτία είτε σε ευθυγράμμιση με τα φορτία. Επιπλέον, υπάρχουν δύο υποκατηγορίες για τη διαμόρφωση μικροδράκτυλών συζευγμένων με εναλλασσόμενο ρεύμα, οι οποίες είναι:

1. κεντρικά συζευγμένα μικροδίκτυα με εναλλασσόμενο ρεύμα (Centralized AC-coupled) και
2. αποκεντρωμένα μικροδίκτυα (Decentralized AC-coupled).

1.3.1.2.2.1 Κεντρικά Συζευγμένα Μικροδίκτυα με Εναλλασσόμενο Ρεύμα (Centralized AC-coupled)

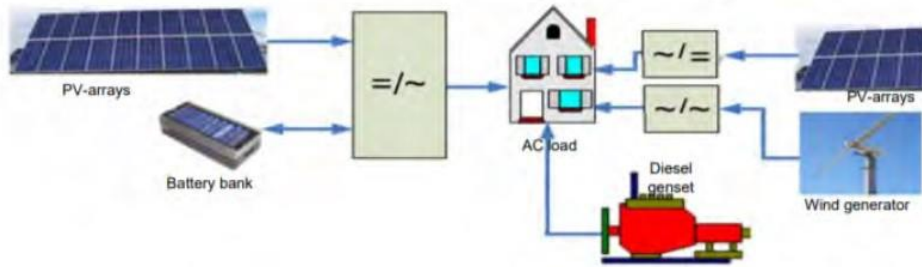
Στο Κεντρικά Συζευγμένα Μικροδίκτυα με Εναλλασσόμενο Ρεύμα (Centralized AC-coupled) όλα τα εξαρτήματα συνδέονται απευθείας στη γραμμή διαύλου AC πριν συνδεθούν με τα φορτία. Τα εξαρτήματα παραγωγής μπορούν να συνδεθούν είτε απευθείας στην κύρια γραμμή διαύλου AC είτε μέσω μετατροπέα AC/AC. Για τον έλεγχο της μπαταρίας απαιτείται κύριος μετατροπέας και η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος συνεχούς ρεύματος μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια μπαταριών. Το κύριο πλεονέκτημα του κεντρικού μικροδικτύου AC-coupled είναι ότι η διάρκεια ζωής της μπαταρίας επεκτείνεται λόγω της παρουσίας κεντρικού συστήματος ελέγχου για την υπερφόρτιση και τη βαθιά εκφόρτιση. Επιπλέον, είναι επίσης συμβατό με δίκτυα κοινής ωφέλειας και η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να εξαχθεί κατά τις ελάχιστες απαιτήσεις φορτίου.



Σχήμα 8: Μικροδίκτυο ισχύος με σύζευξη AC (AC coupled). Πηγή: L. E. Weldemariam, «Sustainable Off-grid Power station for Rural Applications» 2010.

1.3.1.2.2.2 Αποκεντρωμένα Συζευγμένα Μικροδίκτυα με Εναλλασσόμενο Ρεύμα (Centralized AC-coupled)

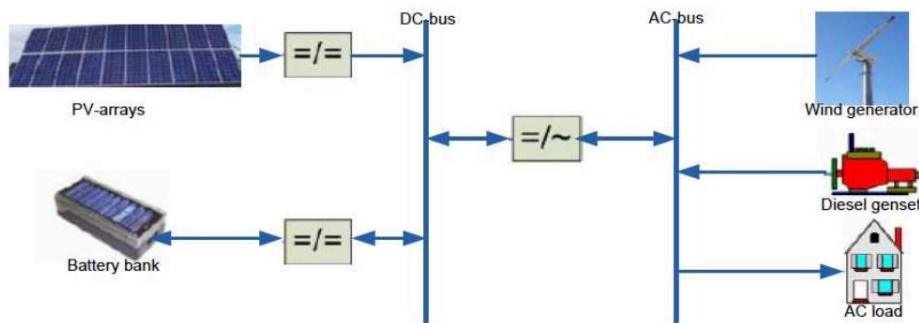
Σε αυτόν τον τύπο αρχιτεκτονικής, τα συστήματα μετατροπής ενέργειας δεν συνδέονται με κανέναν δίαυλο, αντίθετα συνδέονται μεμονωμένα απευθείας στο φορτίο. Οι πηγές ενέργειας δεν είναι υποχρεωτικό να βρίσκονται η μία κοντά στην άλλη, αλλά μπορούν να συνδεθούν με το φορτίο από όπου οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το πλεονέκτημα διαμορφώσεων όπως αυτή είναι ότι τα εξαρτήματα που παράγουν ενέργεια μπορούν να εγκατασταθούν απευθείας από την τοποθεσία που είναι διαθέσιμες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αντίθετα, μπορεί να παρατηρηθεί μειονέκτημα σε τέτοια αποκεντρωμένα συστήματα σύζευξης AC στον έλεγχο ισχύος του συστήματος που μπορεί να αντιμετωπίσει δυσκολίες. Το κεντρικό σύστημα προτιμάται λόγω της δυνατότητας ελέγχου που παρουσιάζει.



Σχήμα 9: Αποκεντρωμένα Συζευγμένα Μικροδίκτυο με Εναλλασσόμενο Ρεύμα (Centralized AC-coupled). Πηγή: L. E. Weldemariam, «Sustainable Off-grid Power station for Rural Applications» 2010.

1.3.1.2.3 Μικροδίκτυα ισχύος μικτής σύζευξης (Mixed-coupled)

Η διαμόρφωση μεικτής σύζευξης είναι ένας συνδυασμός διαμόρφωσης σύζευξης DC και σύζευξης AC. Ορισμένα εξαρτήματα όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ μαζί με την μπαταρία (αποθήκευση ενέργειας) συνδέονται στη γραμμή διαύλου DC ενώ άλλα εξαρτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνδέονται στη γραμμή διαύλου AC μαζί με συμβατικά μηχανήματα όπως η γεννήτρια ντίζελ.



Σχήμα 10: Μικροδίκτυο ισχύος μικτής σύζευξης (Mixed-coupled). Πηγή: L. E. Weldemariam, «Sustainable Off-grid Power station for Rural Applications» 2010.

1.3.1.2.3 Μικροδίκτυα ισχύος σε σειρά/παράλληλα (Series/parallel)

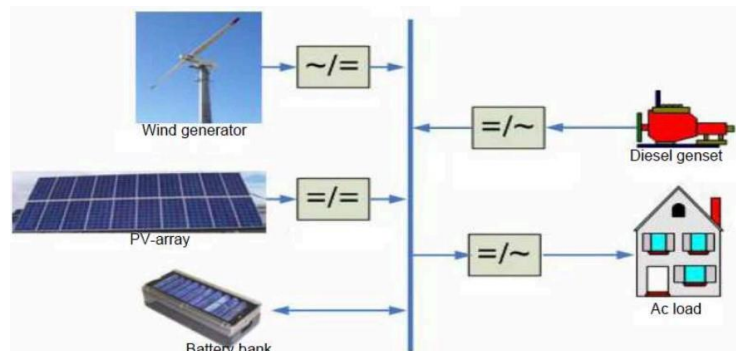
Μια άλλη κατηγοριοποίηση για μικροδίκτυα βασίζεται στον τύπο της παροχής που παρέχεται από γεννήτριες ντίζελ και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι δύο κατηγορίες που προκύπτουν είναι τα σειριακά και τα παράλληλα μικροδίκτυα.

1.3.1.2.3.1 Παράλληλα Μικροδίκτυα (Parallel Microgrids)

Στη διαμόρφωση παράλληλων μικροδικτύων ισχύος, εξαρτήματα εναλλασσόμενου ρεύματος όπως οι ανεμογεννήτριες και οι γεννήτριες ντίζελ παρέχουν ισχύ απευθείας στους καταναλωτές. Μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτής της διαμόρφωσης είναι η μεγαλύτερη απόδοση των ντίζελ γεννητριών, η μείωση του κόστους του ντίζελ και της χωρητικότητας της μπαταρίας και η πιθανή βέλτιστη παραγωγή. Τα παράλληλα υβριδικά συστήματα ισχύος χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες: Συστήματα σύζευξης DC και συστήματα σύζευξης AC. Αυτές οι δύο κατηγορίες έχουν ήδη αναφερθεί στην υποενότητα 1.3.1.2.1 και 1.3.1.2.2 αντίστοιχα.

1.3.1.2.3.2 Σε σειρά Μικροδίκτυα (Series Microgrids)

Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της διαμόρφωσης είναι ότι η ισχύς συνεχούς ρεύματος που παράγεται από τα εξαρτήματα παρέχεται απευθείας στην μπαταρία. Ως αποτέλεσμα αυτού, όλη η παραγόμενη ισχύς από φωτοβολταϊκά πάνελ, ανεμογεννήτριες και γεννήτριες ντίζελ χρησιμοποιείται για τη φόρτιση της μπαταρίας. Ένας ελεγκτής φόρτισης είναι υπεύθυνος και συνδέεται με κάθε εξάρτημα εκτός από τη γεννήτρια ντίζελ που είναι εξοπλισμένη με ανορθωτή. Οι απαιτήσεις εναλλασσόμενου ρεύματος των φορτίων ικανοποιούνται με τη βοήθεια ενός μετατροπέα που μετατρέπει την ισχύ συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Η βαθιά φόρτιση της συστοιχίας μπαταριών αποφεύγεται λόγω της παρουσίας και λειτουργίας του ελεγκτή φόρτισης, ο οποίος διασφαλίζει επίσης ότι η μπαταρία δεν υπερφορτίζεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ και την ανεμογεννήτρια. Ένα άλλο όνομα για αυτήν την τοπολογία είναι η κεντρική διαμόρφωση διαύλου DC. Αυτό το όνομα δικαιολογείται από το γεγονός ότι όλες οι πηγές είναι συνδεδεμένες σε γραμμή διαύλου συνεχούς ρεύματος και το φορτίο τροφοδοτείται από ένα μόνο σημείο. Παρά την απλή διαμόρφωση αυτών των συστημάτων υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα. Η απόδοση του συστήματος μειώνεται λόγω του γεγονότος ότι όλη η ισχύς αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Επιπλέον, η συνεχής φόρτιση και εκφόρτιση μειώνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και ο έλεγχος ισχύος της γεννήτριας ντίζελ είναι δύσκολος καθώς ο κύριος σκοπός της γεννήτριας ντίζελ είναι η φόρτιση της μπαταρίας.



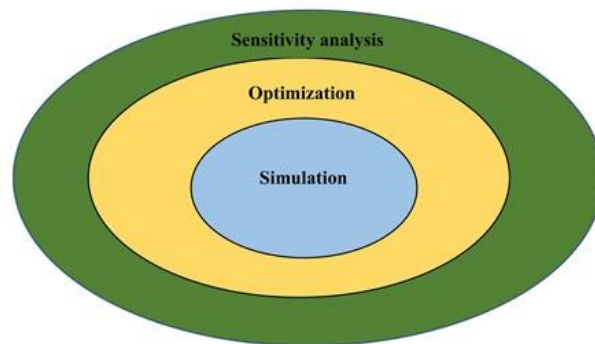
Σχήμα 11: Σε σειρά Μικροδίκτυα (Series Microgrids). Πηγή: L. E. Weldemariam, «Sustainable Off-grid Power station for Rural Applications» 2010.

1.4 Λογισμικό Μοντελοποίησης: Homer Pro

Το HOMER θεωρείται ένα ισχυρό εργαλείο που είναι κατάλληλο για το σχεδιασμό HRES (Υβριδικά Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) και τη διεξαγωγή τεχνοοικονομικής ανάλυσης προκειμένου να προσδιορίσει μέσω αυτού του βέλτιστου μεγέθους των στοιχείων του. Το HOMER είναι ένα λογισμικό που έχει αναπτυχθεί από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL) στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (Η.Π.Α). Ανεμογεννήτριες (WT), Φ/Β συστοιχίες, κυψέλες καυσίμου, μικρή υδροηλεκτρική ενέργεια, βιομάζα, μετατροπέας, μπαταρίες και συμβατικές γεννήτριες είναι μερικοί πόροι που μπορεί να

μοντελοποιήσει το λογισμικό HOMER. Επιπλέον, αυτό το λογισμικό λαμβάνει υπόψη το HRES σε συνδεδεμένα και εκτός δικτύου συστήματα ισχύος και χρησιμοποιεί τη βάση δεδομένων καιρού της NASA (National Aeronautics and Space Administration) για τις μετρήσεις των ανανεώσιμων συσκευών που ο χρήστης μπορεί να προσθέσει στο σύστημα.

Για τη συγκεκριμένη μελέτη η έκδοση λογισμικού του HOMER που χρησιμοποιείται είναι το HOMER Pro (έκδοση PRO x64). Το λογισμικό HOMER αποτελείται από 3 βασικά χαρακτηριστικά που είναι η προσομοίωση, η βελτιστοποίηση και η ανάλυση ευαισθησίας. Όσον αφορά την Προσομοίωση, προσφέρονται τεχνοοικονομικοί υπολογισμοί από αυτό το εργαλείο και πιο συγκεκριμένα προσφέρει υπολογισμούς για το Καθαρό Παρόν Κόστος (NPC), το Αρχικό Κεφάλαιο (CC), το Κόστος Παραγωγής Ενέργειας (COE), τις Ταμειακές Ροές, τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας που καταναλώνεται από το φορτίο, τα ποσοστά εισαγωγής και εξαγωγής δικτύου και πολλά άλλα. Όσον αφορά τη Βελτιστοποίηση, το HOMER δίνει στον χρήστη την ευκαιρία να καθορίσει την βέλτιστη απόδοση του συστήματος σύμφωνα με τις εισόδους. Μέσα από μεγάλο αριθμό προσομοιώσεων διαφορετικών εξαρτημάτων το εργαλείο δίνει τις καλύτερες εφικτές λύσεις. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του HOMER είναι η ανάλυση ευαισθησίας. Οι πραγματικές τιμές ορισμένων παραμέτρων του συστήματος ενδέχεται να αποκλίνουν από τις τιμές των προσομοιωμένων παραμέτρων του συστήματος. Η ανάλυση ευαισθησίας ορίζεται ως η μέτρηση της απόδοσης μιας εκτίμησης για διαφορετικές εισόδους, έτσι ώστε οι χρήστες να είναι σε θέση να εξετάσουν και να δοκιμάσουν το σχεδιασμένο σύστημα με διαφορετικές αρχικές τιμές και συνθήκες. Το HOMER έχει μεγάλο αριθμό εισόδων δεδομένων όπως κλιματικά δεδομένα, ηλεκτρικό φορτίο, τεχνικές και οικονομικές παραμέτρους του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για παραγωγή και αποθήκευση, μεταβλητές ευαισθησίας, στρατηγική αποστολής και διάφορους άλλους περιορισμούς. Στη συνέχεια, το λογισμικό προσομοιώνει τη λειτουργία του συστήματος, υπολογίζοντας τα ενεργειακά ισοζύγια για κάθε μία από τις 8760 ώρες του έτους, με αποτέλεσμα το βέλτιστο μέγεθος συστήματος και τη στρατηγική ελέγχου με βάση το χαμηλότερο καθαρό παρόν κόστος (NPC).



Σχήμα 12: Δυνατότητες του λογισμικού HOMER PRO. Πηγή: <https://www.homerenergy.com/>

Κεφάλαιο 2. Βιώσιμη Ανάπτυξη μέσω των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (RES)

Με τον όρο Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας νοούνται εκείνες οι πηγές ενέργειας που αναπληρώνονται από μία φυσική διαδικασία μετά τη χρήση τους. Αυτές οι πηγές είναι η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια, η βιοενέργεια (βιομάζα, βιοαέριο και βιοντίζελ) και η ενέργεια από αξιοποίηση της φυσικής ροής των υδάτινων πόρων. Σχεδόν όλες αυτές οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας υπάρχουν εξαιτίας του ήλιου. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά (Solar PV) χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία για την εκτόξευση των ηλεκτρονίων από τη ζώνη του σθένους προς την ζώνη της αγωγιμότητας που συντελεί στην διατήρηση της ύπαρξης ηλεκτρικού ρεύματος. Η αιολική ενέργεια (Wind Energy) υπάρχει λόγω του ανώμαλη θέρμανση της επιφάνειας της γης που προκαλεί διακύμανση της πυκνότητας του αέρα. Επίσης, λόγω του φωτός του ήλιου, το νερό εξατμίζεται από την επιφάνεια της γης και προκαλεί την διαμόρφωση σύννεφων στον ουρανό τα οποία ολοκληρώνουν τον κύκλο ζωής του νερού προκαλώντας την ύπαρξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας στις περιοχές υψηλού δυναμικού αξιοποίησης. Όλες οι παραπάνω μορφές ενέργειας είναι βιώσιμες καθώς δεν έχουν αρνητικές περιβαλλοντικές ή κοινωνικές επιπτώσεις που θα απέκλειαν την χρήση τους στο μέλλον. Μερικοί από τους λόγους χρήση τους είναι οι εξής:

- Τα ορυκτά καύσιμα δεν θα διαρκέσουν για πάντα: αντιμετωπίζουμε κορυφές στην παραγωγή πετρελαίου, φυσικού αερίου και τελικά άνθρακος και το κόστος θα αυξηθεί καθώς αυξάνεται η ζήτηση και οι προμήθειες μειώνονται.
- Η πυρηνική σχάση έχει πολλά προβλήματα: ασφάλεια, προστασία, μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα καυσίμων για την λειτουργία των εργοστασίων τους και αυξανόμενο κόστος. Οι προοπτική για την πυρηνική σύντηξη είναι αβέβαιη.

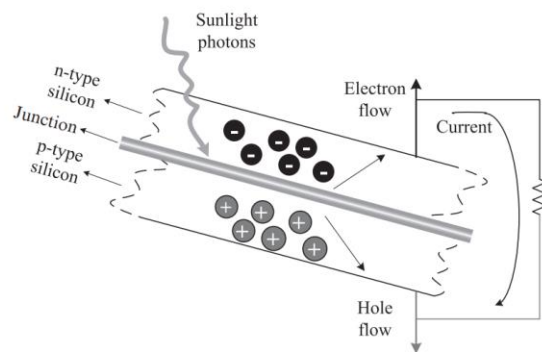
Πίνακας 2:Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (RES) και χρήσεις τους.

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	Τεχνολογία αξιοποίησης ΑΠΕ	Τελικό παράγωγο αξιοποίησης
Ηλιακή Ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> a) Ηλιακά Φωτοβολταϊκά(PV) b) Συγκεντρωτική Ηλιακή Ισχύς'(CSP) c) Παθητική Ηλιακή Ενέργεια (PSE) d) Χαμηλής-θερμοκρασίας Ηλιακή Ενέργεια 	<ul style="list-style-type: none"> a) Συνεχές Ηλεκτρικό Ρεύμα (DC) b) Θερμότητα, Ατμός, Ηλεκτρικό Ρεύμα c) Θέρμανση, Φως, Ψύξη, Αερισμός d) Μαγείρεμα, Στέγνωμα, Θέρμανση Χώρων, Θέρμανση Νερού
Αιολική Ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> a) Υπεράκτιες Ανεμογεννήτριες (Offshore Wind Turbines) b) Επίγειες Ανεμογεννήτριες(Onshore Wind Turbines) c) Μικρές Α/Γ 	<ul style="list-style-type: none"> a) Ηλεκτρικό Ρεύμα b) Ηλεκτρικό Ρεύμα c) Ηλεκτρικό Ρεύμα, Κίνηση
Υδροηλεκτρική Ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> a) Πολύ Μικρά-Υδροηλεκτρικά (Micro) b) Μικρά και Μεγάλα Υδροηλεκτρικά 	<ul style="list-style-type: none"> a) Περιστροφή Αξόνων(Υδρόμυλοι), Ηλεκτρικό Ρεύμα b) Ηλεκτρικό Ρεύμα
Ενέργεια από Βιοκαύσιμα	<ul style="list-style-type: none"> a) Καύση(Combustion) b) Αεριοποίηση(Gasification) c) Υδρόλυση-Ζύμωση(Hydrolysis-Fermentation) d) Αναερόβια πέψη(Anaerobic Digest) e) Πυρόλυση(Pyrolysis) f) Μετεστεροποίηση(Transesterification) g) Συσκευοποίηση (Palletization) 	<ul style="list-style-type: none"> a) Θέρμανση, Ατμός, Ηλεκτρικό Ρεύμα, Συμπαραγωγή Θερμότητας & Ισχύος (CHP) b) Θέρμανση, Ηλεκτρικό Ρεύμα, Συμπαραγωγή Θερμότητας & Ισχύος (CHP) c) Εθανόλη d) Βιοκαύσιμα e) Biodiesel f) Pellets, Θέρμανση, Ηλεκτρικό Ρεύμα
Γεωθερμία	<ul style="list-style-type: none"> a) Αντλίες Θερμότητας (Heat Pumps) b) Απευθείας Θέρμανση (Direct Heating) c) Παραγωγή Ισχύος (Power Production) 	<ul style="list-style-type: none"> a) Θέρμανση b) Θέρμανση, Ατμός c) Ηλεκτρικό Ρεύμα
Θαλάσσια Ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> a) Παλιρροιακή Ενέργεια (Tidal Energy) b) Ενέργεια από Κύματα (Wave Energy) 	<ul style="list-style-type: none"> a) Ηλεκτρικό Ρεύμα b) Ηλεκτρικό Ρεύμα
Παραγωγή Ενέργειας από Υδρογόνο	<ul style="list-style-type: none"> a) Διάσπαση Νερού (Φωτόλυση, Θερμόλυση, Ηλεκτρόλυση) b) Μείωση εκπομπών από διάσπαση Υδρογονανθράκων c) Αποσύνθεση Βιομάζας 	<ul style="list-style-type: none"> a) Καύσιμο-Κίνηση b) Καύσιμο- Κίνηση, Θέρμανση c) Καύσιμο-θέρμανση

2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η οποία είναι άφθονη και έχει τη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα μεταξύ άλλων πηγών ενέργειας. Η ποσότητα ηλιακής ενέργειας που παρέχεται από τον ήλιο στη Γη σε 1 ώρα είναι ικανή να ικανοποιήσει τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις της Γης για 1 έτος. Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια δεν παράγει ρύπους ή επιβλαβή υποπροϊόντα, είναι απαλλαγμένη από εκπομπές. Η ηλιακή ενέργεια είναι εφαρμόσιμη σε πολλά πεδία όπως οχήματα, κατοικίες, διαστημικές και ναυτικές εφαρμογές.

Το φωτοβολταϊκό (PV) φαινόμενο είναι γνωστό ως μια φυσική διαδικασία κατά την οποία ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο μετατρέπει το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Όταν μια φωτοβολταϊκή κυψέλη εκτίθεται στο ηλιακό φως, η απορροφούμενη ποσότητα φωτός παράγει ηλεκτρική ενέργεια ενώ το υπόλοιπο ηλιακό φως μπορεί να ανακλαστεί ή να περάσει μέσα από αυτό. Τα ηλεκτρόνια στα άτομα του φωτοβολταϊκού κυττάρου ενεργοποιούνται από την ενέργεια του απορροφούμενου φωτός. Με αυτή την ενέργεια, αυτά τα ηλεκτρόνια κινούνται από τις κανονικές τους θέσεις στο ημιαγωγικό Φ/Β υλικό και δημιουργούν μια ηλεκτρική ροή, δηλαδή ηλεκτρικό ρεύμα μέσω ενός εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος που συνδέεται με τους ακροδέκτες των Φ/Β κυψελών. Το ενσωματωμένο ηλεκτρικό πεδίο που είναι ένα συγκεκριμένο ηλεκτρικό χαρακτηριστικό των Φ/Β στοιχείων παρέχει τη διαφορά δυναμικού τάσης που οδηγεί το ρεύμα μέσω ενός εξωτερικού φορτίου. Δύο στρώματα διαφορετικών υλικών ημιαγωγών τοποθετούνται σε επαφή μεταξύ τους προκειμένου να επάγουν το ενσωματωμένο ηλεκτρικό πεδίο μέσα σε ένα Φ/Β στοιχείο. Το πρώτο στρώμα που είναι τύπου n έχει άφθονα ηλεκτρόνια και είναι αρνητικά φορτισμένο. Το άλλο στρώμα που είναι τύπου p έχει άφθονες οπές και είναι θετικά φορτισμένο. Δεδομένου ότι το Πυρίτιο τύπου n έχει περίσσεια ηλεκτρονίων και το Πυρίτιο τύπου p έχει περίσσεια οπών, η επαφή αυτών των στρωμάτων μεταξύ τους δημιουργεί μια διασταύρωση p/n στη διασύνδεση τους, δημιουργώντας έτσι ένα ηλεκτρικό πεδίο. Σε αυτή την επαφή, η περίσσεια ηλεκτρονίων μετακινείται από την πλευρά τύπου n προς την πλευρά τύπου p. Ως αποτέλεσμα, δημιουργείται θετικό φορτίο κατά μήκος της πλευράς τύπου n της διασύνδεσης και αρνητικό φορτίο κατά μήκος της πλευράς τύπου p. Έτσι δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επιφάνεια όπου συναντώνται τα στρώματα, που ονομάζεται διασταύρωση p/n. Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο οφείλεται στη ροή ηλεκτρονίων και οπών. Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να μετακινηθούν από τον ημιαγωγό προς την αρνητική επιφάνεια για να μεταφέρουν ρεύμα. Ταυτόχρονα, οι οπές κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση, προς τη θετική επιφάνεια, όπου περιμένουν τα εισερχόμενα ηλεκτρόνια .



Σχήμα 13: Η βασική δομή μιας σύνδεσης p-n σε μια Φ/Β κυψέλη. Πηγή: C. O. Omer και K. Alireza, *Alternative Energy in Power Electronics*, Elsevier, 2015.

Ένα φωτοβολταϊκό (PV) ή ηλιακό στοιχείο είναι το βασικό δομικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού (ή ηλιακού ηλεκτρικού) συστήματος. Ένα μεμονωμένο Φ/Β κύτταρο είναι συνήθως αρκετά μικρό, τυπικά παράγει περίπου 1 ή 2 W ισχύος. Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια μεγαλύτερη μονάδα που ονομάζεται μονάδες προκειμένου να αυξηθεί η ισχύς εξόδου των φωτοβολταϊκών κυψελών. Οι μονάδες μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους και να σχηματίσουν μεγαλύτερες μονάδες που ονομάζονται συστοιχίες για να παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια. Η τάση εξόδου ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να ενισχυθεί συνδέοντας τις κυψέλες ή τις μονάδες σε σειρά. Από την άλλη, το ρεύμα εξόδου μπορεί να φτάσει σε υψηλότερες τιμές συνδέοντάς τις παράλληλα.

2.1.1 Τύποι Ηλιακών PV Κυψελών

Διαφορετικά υλικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φωτοβολταϊκών κυττάρων, με το Πυρίτιο που λαμβάνεται από την άμμο να είναι το κύριο υλικό για το οποίο χρησιμοποιείται και είναι διαθέσιμο στον φλοιό της γης. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από το μέγεθος της φωτοβολταϊκής κυψέλης, την απόδοση μετατροπής και την ένταση του ηλιακού φωτός της περιοχής. Με βάση το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται και τα μέσα κατασκευής, τα Φ/Β κύτταρα από υλικό Πυριτίου ταξινομούνται στα ακόλουθα:

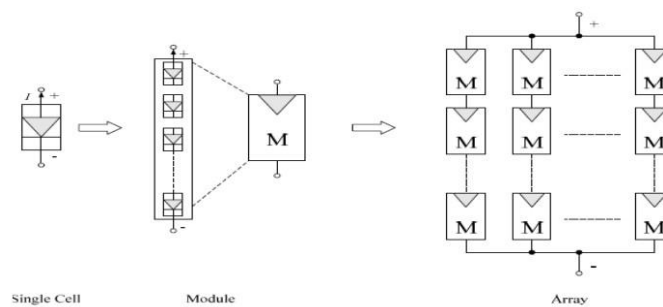
- *Μονοκρυσταλλικές κυψέλες Φ/Β* : κατασκευάζονται από αμόλυντους μονοκρυστάλλους Πυριτίου, αποκομμένους από πλινθώματα. Έχει σκούρο χρώμα και κατά μήκος όλων των γωνιών του είναι κομμένο. Αυτή είναι μια σαφής διαφορά από τα πολυκρυσταλλικά πάνελ. Αυτός ο τύπος φωτοβολταϊκών κυψελών είναι ο πλέον αποδοτικός αφού είναι κατασκευασμένος από έναν κρύσταλλο αλλά και ταυτόχρονα πολύ ακριβός. Λειτουργεί καλύτερα σε περιοχές όπου απαιτούνται χαμηλές πηγές ενέργειας. Αυτή η τεχνολογία είναι η πρώτη γενιά όλων των Φ/Β κυψελών και έχει υψηλή αντοχή στη θερμότητα. Το μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι απαιτείται μεγάλος χρόνος για την κατασκευή

της. Η παραγωγή μονοκρυσταλλικού πυριτίου γίνεται πρώτα με θέρμανση του Πυριτίου υψηλής καθαρότητας σε υπερκορεσμένη κατάσταση, ακολουθεί η εισαγωγή “σπόρων κρυστάλλου” στο λιωμένο Πυρίτιο και στη συνέχεια, τραβώντας αργά αργά τον κρύσταλλο του σπόρου από το λιωμένο μονοκρυστάλλο με τη βοήθεια του μηχανισμού Czochralski λαμβάνεται η ράβδος πυριτίου. Τέλος κόβεται ο κρύσταλλος σε κομμάτια για να γίνουν τα κελιά (cells) και μετά σε μονάδες και συστοιχίες. Αυτή η τεχνολογία έχει την ικανότητα να μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία 1.000W/m^2 σε περίπου 140W ηλεκτρικής ενέργειας σε εμβαδόν επιφάνειας Φ/B κυψελών 1m^2 .

- *Πολυκρυσταλλικές Κυψέλες Φ/B* : Είναι κατασκευασμένα από συνδυασμό μικρότερων ποσοτήτων μπλοκ κρυστάλλων Πυριτίου. Θεωρούνται ως τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα κύτταρα στις μέρες μας. Τέτοια φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι αναποτελεσματικά σε σχέση με τις μονοκρυσταλλικές κυψέλες λόγω του ότι δεν αναπτύσσονται από μονοκρυστάλλους αλλά από συνδυασμό πολλών κρυστάλλων. Αποδίδουν καλύτερα από τις μονοκρυσταλλικές σε ελαφρώς σκιασμένες συνθήκες. Αυτή η τεχνολογία έχει την ικανότητα να μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία 1.000 W/m^2 σε περίπου 130W ηλεκτρικής ενέργειας σε εμβαδόν επιφάνειας Φ/B κυψελών 1m^2 . Η παραγωγή αυτού του τύπου κυψελών είναι πιο αποτελεσματική από τα μονοκρυσταλλικά. Το λιωμένο πυρίτιο πρέπει να τοποθετηθεί σε μπλοκ, τα οποία στη συνέχεια κόβονται σε πλάκες για να γίνουν οι κρύσταλλοι. Το μέγεθος του πολυκρυσταλλικού ηλιακού πάνελ είναι μεγαλύτερο από αυτό του μονοκρυσταλλικού πάνελ για την ίδια ισχύ, επειδή το μονοκρυσταλλικό είναι πιο αποτελεσματικό ανά επιφάνεια από το πολυκρυσταλλικό. Επομένως, στην μεταξύ σύγκριση των δύο φωτοβολταϊκών πάνελ ως προς το μέγεθος για υψηλή απόδοση ισχύος, το μονοκρυσταλλικό υπερέχει ως προς τη χρηστικότητα.
- *Φ/B κυψέλες λεπτής μεμβράνης*: Αυτοί οι τύποι κυψελών δεν κατασκευάζονται από πραγματικούς κρυστάλλους, αλλά το Πυρίτιο εναποτίθεται σε ανοξείδωτο χάλυβα, πλαστικό ή γυαλί για να σχηματίσει την ηλιακή μονάδα. Αυτοί οι τύποι φωτοβολταϊκών κυψελών στόχευαν να παράγουν την ίδια ισχύ με τις μονοκρυσταλλικές κυψέλες αλλά τελικά είναι πολύ λιγότερο αποδοτικές κι από τους δύο παραπάνω τύπους κυψελών όμως η παραγωγή τους κοστίζει λιγότερο. Έχουν απόδοση από 5% έως 13% και η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 15-20 χρόνια.

2.1.2 Μονάδες PV και Συστοιχίες Μονάδων PV

Τα μεμονωμένα φωτοβολταϊκά ηλιακά κύτταρα είναι τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία του ηλιακού πάνελ. Γενικά τα φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι μικρότερα σε μέγεθος και παράγουν περίπου 1 Watt ισχύ. Ένα μεμονωμένο ηλιακό στοιχείο παράγει τάση 0,5 έως 0,6 V. Προκειμένου να ληφθεί επαρκής τάση εξόδου, οι φωτοβολταϊκές κυψέλες συνδέονται σε σειρά για να σχηματίσουν μια φωτοβολταϊκή μονάδα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα λειτουργούν συχνά σε πολλαπλάσια των 12V. Οι μονάδες σχεδιάζονται συνήθως για βέλτιστη λειτουργία σε αυτά τα συστήματα. Ενώ οι φωτοβολταϊκές κυψέλες συνδέονται σε σειρά, το ρεύμα εξόδου παραμένει το ίδιο, αλλά η τάση εξόδου θα είναι το συνολικό άθροισμα όλων των κυψελών που σχηματίζονται από τη μονάδα.



Σχήμα 14: Σχηματικό Διάγραμμα για Κυψέλη, Μονάδα, PV Συστοιχία. Πηγή: W. Caisheng, «Modeling and Control of Hybrid Wind/Photovoltaic/Fuel cell Distributed» PhD thesis, 2006.

Ο βαθμός ισχύος του ηλιακού πάνελ εξαρτάται από τον αριθμό των ηλιακών κυψελών και το μέγεθος του πάνελ. Όταν οι φωτοβολταϊκές κυψέλες συναρμολογούνται ως δομοστοιχεία, έχουν μια ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψέλης (NOCT). Η συγκεκριμένη είναι η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου όταν λειτουργεί σε ανοιχτό κύκλωμα σε θερμοκρασία 20°C με μάζα αέρα 1,5 kg ακτινοβολία $G = 800 \text{ W/m}^2$ και ταχύτητα ανέμου μικρότερη από 1 m/s. Όταν απαιτούνται μεγάλες τάσεις ή ρεύματα από μια μονάδα, οι μονάδες πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους. Οι συστοιχίες που συνδέονται σε σειρά έχουν υψηλότερες τάσεις ενώ όσο αυτές που συνδέονται παράλληλα έχουν υψηλότερο ρεύμα. Όταν οι μονάδες συνδέονται παράλληλα, παράγουν μεγάλη ισχύ στην ίδια τάση λόγω της αύξησης του ρεύματος. Με παρόμοιο τρόπο όταν οι μονάδες συνδέονται σε σειρά παρέχεται σε κάθε μονάδα μέγιστη παραγωγή ισχύος στο ίδιο ρεύμα λόγω αύξησης της τάσης. Ως προς τους ηλιακούς συλλέκτες, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη τα φαινόμενα σκίασης που αντιμετωπίζουν τα πάνελ κατά τις ώρες αιχμής του ήλιου. Το φαινόμενο σκίασης προκαλεί μείωση της παραγωγής ενέργειας και μπορεί ακόμη και να βλάψει τα πάνελ. Γενικά, συνιστάται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ χωρίς δέντρα, κτίρια και άλλα εμπόδια. Η δεύτερη σημαντική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την εγκατάσταση του ηλιακού πάνελ είναι η θερμοκρασία. Η θέρμανση των ηλιακών συλλεκτών προκαλεί απώλεια ισχύος επειδή η απόδοση των ηλιακών κυψελών

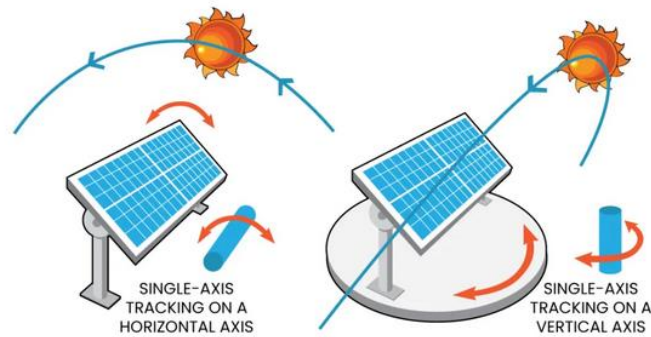
μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Το σύστημα στερέωσης των πάνελ θα πρέπει να επιτρέπει την άνετη κίνηση του αέρα έτσι ώστε κατά τη διάρκεια μεγάλης ηλιοφάνειας να ψύχει το ηλιακό πάνελ αποτελεσματικά.

2.1.3 Μέθοδοι Τοποθέτησης Ηλιακών PV

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από το εάν τα Φ/Β πάνελ είναι ακίνητα ή η διαθέτουν μηχανισμό “παρακολούθησης” των ακτίνων του ηλίου (tracking system). Το σύστημα “παρακολούθησης” εφαρμόζεται βασικά για να κατευθύνει το πάνελ προς την κατεύθυνση του ηλιακού φωτός που ενισχύει την ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της φωτοβολταϊκής μονάδας. Οι περισσότερες συστοιχίες φωτοβολταϊκών συνήθως τοποθετούνται χωρίς συστήματα “παρακολούθησης”. Υπάρχει δυνατότητα “παρακολούθησης” της ακτινοβολίας του ήλιου έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η ισχύς εξόδου. Τα ηλιακά συστήματα παρακολούθησης κατηγοριοποιούνται βασικά ανάλογα με τον αριθμό των αξόνων “παρακολούθησης” και τον χρόνο με τον οποίο πρόκειται να γίνει η ρύθμιση. Ακολουθούν οι τεχνικές που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη σχεδίαση του φωτοβολταϊκού συστήματος:

- Σταθερά (Fixed): Τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι τοποθετημένα σε σταθερή κλίση και γωνία αζιμουθίου και αποτελούν την απλούστερη και φθηνότερη μέθοδο. Προτιμότερος είναι ο προσανατολισμός του πάνελ στον ισημερινό (με νότια κατεύθυνση στο βόρειο ημισφαίριο) και γωνία κλίσης του συλλέκτη ίση με το γεωγραφικό πλάτος της συγκεκριμένης θέσης που μελετάται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ηλιακή μεγιστοποίηση. Μια αύξηση ή μείωση κατά 15 μοίρες από το γεωγραφικό πλάτος θα είναι καλύτερη για τη χειμερινή ή τη θερινή μεγιστοποίηση ενέργειας αντίστοιχα.
- Μηνιαία προσαρμογή οριζόντιου άξονα: Αυτός ο τύπος συστήματος “παρακολούθησης”, περιστρέφεται οριζόντια από την ανατολή προς τη δύση. Η γωνία κλίσης του φωτοβολταϊκού ρυθμίζεται στην αρχή κάθε μήνα έτσι ώστε η δέσμη να χτυπά κάθετα στο φωτοβολταϊκό πάνελ όταν ο ήλιος είναι από πάνω.
- Εβδομαδιαία ρύθμιση οριζόντιου άξονα: Σε αυτό τον τύπο ο άξονας περιστρέφεται από την ανατολή προς τη δύση. Η γωνία “παρακολούθησης” των φωτοβολταϊκών (δηλαδή η κλίση) ρυθμίζεται την πρώτη ημέρα της εβδομάδας, επομένως η ηλιακή ακτινοβολία είναι κάθετη ως προς το ΦΒ το μεσημέρι της αντίστοιχης ημέρας. Η φωτοβολταϊκή μονάδα έχει κλίση προς άξονα παράλληλο προς το έδαφος.
- Καθημερινή προσαρμογή οριζόντιου άξονα: Ο άξονας περιστροφής είναι περίπου σε μια οριζόντια κατεύθυνση ανατολής-δύσης για την “παρακολούθηση” της ηλιακής ακτινοβολίας. Η κλίση προσαρμόζεται κάθε μέρα έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να είναι κάθετες ως προς το συλλέκτη το μεσημέρι της αντίστοιχης ημέρας.

- Συνεχής ρύθμιση οριζόντιου άξονα: Είναι ένας τύπος συστήματος τοποθέτησης Φ/Β στο οποίο η κλίση των φωτοβολταϊκών ρυθμίζεται συνεχώς και η περιστροφή είναι γύρω από έναν οριζόντιο άξονα ανατολής-δύσης. Η κλίση προσαρμόζεται συνεχώς ώστε να ελαχιστοποιείται η γωνία πρόσπτωσης.
- Συνεχής ρύθμιση κατακόρυφου άξονα: Ο άξονας περιστροφής ΦΒ είναι περίπου κατακόρυφος ως προς την επιφάνεια του εδάφους. Η κλίση είναι σταθερή, αλλά η γωνία αζιμουθίου ρυθμίζεται συνεχώς για να ελαχιστοποιηθεί η γωνία πρόσπτωσης.
- Περιστροφή ως προς δύο άξονες: Τα πάνελ περιστρέφονται τόσο γύρω από ανατολή-δύση όσο και γύρω από βορρά-νότο έχοντας δύο άξονες για περιστροφή και επομένως είναι η πιο ακριβή μέθοδος “παρακολούθησης”.



Σχήμα 15: Θέσεις τοποθέτησης Συστήματος Παρακολούθησης Ήλιου. Πηγή: <https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/single-axis-trackers/>

2.1.4 Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία σε PV

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι η πιο σημαντική παράμετρος για την ισχύ που παράγεται από τα συστήματα ηλιακής ενέργειας. Ο ήλιος αλλάζει θέση κατά τη διάρκεια της ημέρας από το πρωί έως το βράδυ. Επιπλέον, η τροχιά του ήλιου διαφέρει από τη μια εποχή στην άλλη. Ακολουθώντας σωστά τον ήλιο, χρησιμοποιώντας συστήματα “παρακολούθησης” του ήλιου, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να αυξηθεί αποτελεσματικά. Ένας ανιχνευτής ήλιου είναι ένα ηλεκτρομηχανικό στοιχείο που χρησιμοποιείται για τον προσανατολισμό ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού πάνελ, τη συγκέντρωση ηλιακού ανακλαστήρα ή φακού προς τον ήλιο. Τα ηλιακά πάνελ απαιτούν υψηλό βαθμό ακρίβειας για να διασφαλιστεί ότι το συγκεντρωμένο ηλιακό φως κατευθύνεται ακριβώς στη φωτοβολταϊκή συσκευή. Τα ηλιακά συστήματα παρακολούθησης μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ποσότητα ισχύος που παράγεται από ένα σύστημα βελτιώνοντας την πρωινή και απογευματινή απόδοση. Για παράδειγμα, ο προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να αυξήσει την απόδοση μετατροπής ηλιακής-ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ 20% και 50%. Ένα σταθερό σύστημα προσανατολισμένο σε μια σταθερή κατεύθυνση που βλέπει στον ήλιο θα έχει σχετικά χαμηλή ετήσια παραγωγή επειδή δεν κινείται για να παρακολουθήσει

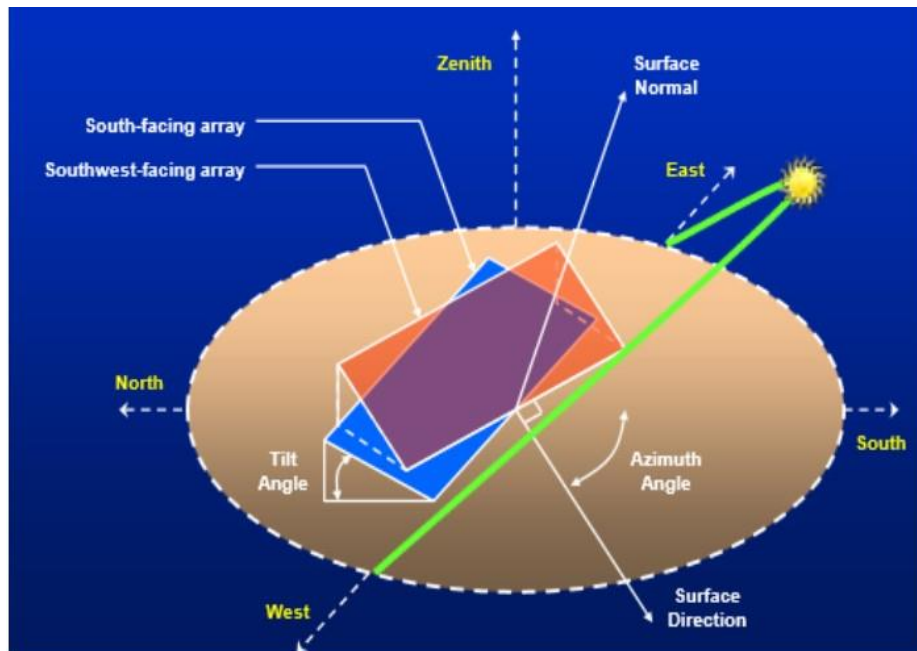
τον ήλιο, γεγονός που αποδίδει σημαντική αύξηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Ένα αποτελεσματικό σύστημα παρακολούθησης του ήλιου θα πρέπει να μπορεί να κινείται από βορρά προς νότο και από ανατολή προς δύση.

Η θέση του ήλιου, η κλίση και ο προσανατολισμός της φωτοβολταϊκής επιφάνειας είναι οι πιο σημαντικές παράμετροι για κάθε σχεδιασμό ηλιακού συστήματος. Η ισχύς εξόδου φωτοβολταϊκού επηρεάζεται από την ποσότητα της ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια του συλλέκτη. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μια κεκλιμένη επιφάνεια είναι η συνιστώσα της συνολικής οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία και θα πρέπει να υπολογιστεί. Οι γωνίες που εμπλέκονται στον προσδιορισμό της ποσότητας της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του Φ/Β πάνελ είναι οι εξής:

- Γωνία ζενίθ (θ_z): Είναι η γωνία μεταξύ του κατακόρυφου επιπέδου και της γραμμής που συνδέεται με τον ήλιο. Συνήθως αυτή η γωνία είναι 90° κατά την ανατολή και τη δύση του ηλίου.
- Γωνία ηλιακού υψομέτρου (α_s): Είναι η γωνία που περιέχεται μεταξύ της ευθείας που κατευθύνεται προς τον ήλιο και της ευθείας που χαράσσεται κάθετα σε αυτήν την ευθεία (δηλαδή την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο). Η τιμή της παραμένει 0° κατά την ανατολή και τη δύση του ηλίου.
- Ηλιακή γωνία αζιμουθίου (γ_s): Είναι μια γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της προβολής της ευθείας που συνδέει τον ήλιο και της νότιας κατεύθυνσης. Η τιμή του ποικίλλει από 0° όταν ο ήλιος είναι από πάνω, -90° στην ανατολή και 90° στη δύση του ηλίου.
- Γωνία πρόσπτωσης (θ): Είναι η γωνία που περιέχεται μεταξύ των προσπιπτουσών ηλιακών ακτίνων και της καθέτου στην επιφάνεια των Φ/Β. Είναι η κρίσιμη γωνία για τον προσδιορισμό της αμέσου προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανάλογα με την ισχύ εξόδου φωτοβολταϊκού. Για τον προσδιορισμό αυτής της γωνίας, είναι βασικό να γνωρίζουμε και τις ακόλουθες γωνίες:
- Ωριαία γωνία (ω): ορίζεται ως η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά, της ζώνης ώρας του τοπικού μεσημβρινού εξαιτίας της περιστροφής της γης γύρω από τον άξονα της. Η γη περιστρέφεται με $15^\circ/\text{ώρα}=0,25^\circ/\text{min}$. Επιπλέον, αυτό δείχνει ότι στις 11 π.μ. και 1 μ.μ., η ωριαία γωνία είναι -15° και 15° αντίστοιχα.
- Η γωνία αζιμουθίου επιφάνειας (γ): είναι μια γωνία που σχηματίζεται από τη προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και το νότιο προσανατολισμό. Ο ανατολικός και ο δυτικός προσανατολισμός είναι αρνητικός (-90°) και θετικός (90°) αντίστοιχα. Το αζιμούθιο καθορίζει την κατεύθυνση προς την οποία έχουν κλίση τα πάνελ. Γωνία αζιμουθίου 0° σημαίνει επιφάνεια που βλέπει προς το νότο. Έτσι, όταν η γωνία αζιμουθίου έχει αρνητική τιμή περιγράφει επιφάνειες με νοτιοανατολική κατεύθυνση, ενώ όταν μια επιφάνεια είναι

προσανατολισμένη σε γωνία αζιμουθίου 90° σημαίνει ότι βλέπει προς τα δυτικά.

- Η κλίση συλλέκτη (β): είναι η γωνία κλίσης μιας επιφάνειας μεταξύ του Φ/Β και του οριζόντιου επιπέδου. Οι κλίσεις 0 και 90° υποδεικνύουν τον οριζόντιο και τον κατακόρυφο προσανατολισμό της Φ/Β διάταξης αντίστοιχα. Μια κλίση περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος θα μεγιστοποιήσει τυπικά την ετήσια παραγωγή ενέργειας ενός Φ/Β.
- Η ηλιακή απόκλιση (δ): είναι η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Μεταβάλλεται στο εύρος $-23,45^\circ$ έως και $23,45^\circ$ κατά τη διάρκεια του έτους.
- Γεωγραφικό πλάτος (ϕ): είναι η γωνία που υπολογίζεται μεταξύ της ευθείας που χαράσσεται από το κέντρο της γης και της γραμμής που κατευθύνεται προς τον ισημερινό.



Σχήμα 16: Προσανατολισμός και κλίση ηλιακής φωτοβολταϊκής μονάδας. Πηγή: William Brooks & James Dunlop. Photovoltaic Installation Resource Guide, NABCEP, 2012.

Για την τοποθέτηση ενός φωτοβολταϊκού πάνελ χρειάζεται να είναι γνωστή η κλίση του ή κλίση του και η γωνία αζιμουθίου της Φ/Β επιφάνειας. Το γεωγραφικό πλάτος, η ώρα και η ημέρα του έτους είναι επίσης παράμετροι που σχετίζονται με τη γεωμετρία του ήλιου. Η εποχή του χρόνου σχετίζεται με τη γωνία ηλιακής απόκλισης. Η ηλιακή απόκλιση είναι το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο οι ηλιακές δέσμες βρίσκονται στις 90° ως προς την επιφάνεια της γης κατά το ηλιακό μεσημέρι.

$$\delta = 23,45^\circ \sin\left(360^\circ \frac{284+n}{365}\right) \quad (3.1)$$

όπου:

δ : Γωνία ηλιακής απόκλισης [$^\circ$]

n : Μέρα του χρόνου, 1η Ιανουαρίου ως 1 από 365 μέρες

Η θέση του ήλιου στον ουρανό και η γωνία ώρας που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον ημερήσιο χρόνο σχετίζονται με τον προσδιορισμό της γωνίας της ώρας. Κατά το ηλιακό μεσημέρι η γωνία είναι μηδέν, ενώ πριν το πρωί δηλαδή πριν το μεσημέρι (π.μ.) και το απόγευμα (μ.μ) ορίζεται ως αρνητική και θετική αντίστοιχα. Η ακόλουθη εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ωριαίας γωνίας:

$$\omega = (t_s - 12 \text{ hr}) \frac{15^\circ}{\text{hr}} \quad (3.2)$$

όπου:

ω : Ωριαία Γωνία [$^\circ$]

t_s : Ηλιακή Ώρα [hr]

Το ηλιακό μεσημέρι η τιμή του t_s είναι 12 hr και σε 1^{1/2} ώρα αργότερα η τιμή του είναι 13.5 hr. Οι 15^ο απεικονίζουν το γεγονός ότι ο ήλιος κινείται γύρω από τη γη με 15^ο την ώρα. Τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και τα δεδομένα ηλεκτρικού φορτίου μετρούνται με αστικούς χρόνους ή τοπικούς τυπικούς χρόνους και αυτό δείχνει ότι οι δύο παράμετροι εξαρτώνται από δεδομένα τοπικής ώρας. Ο ηλιακός χρόνος μπορεί να υπολογιστεί, χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$t_s = t_c + \frac{\lambda}{15^\circ/\text{hr}} - z_c + E \quad (3.3)$$

όπου:

t_s : Ηλιακή Ώρα [hr]

t_c : Η τοπική ώρα υπολογισμένη ως προς το κέντρο του χρονικού βήματος [hr]

E : Συνάρτηση χρόνου σε ώρες

λ : Γεωγραφικό Μήκος [$^\circ$]

z_c : Ώρα περιοχής (ζώνης) ως προς (GMT) [hr]

Η εξίσωση του χρόνου αντιστοιχεί στα αποτελέσματα της κλίσης του άξονα περιστροφής της γης (23.45°) σε σχέση με την εκκεντρότητα της τροχιάς της γης και το επίπεδο εκλείψεως. Η εξίσωση του χρόνου μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$E = 9,87 \sin 2B - 7,53 \cos B - 1,5 \sin B \quad (3.4)$$

όπου:

$$B: 360 \frac{(n - 81)}{364}$$

n: Μέρα του χρόνου, 1η Ιανουαρίου ως 1 από 365 μέρες

Μια άλλη παράμετρος για μια επιφάνεια οποιουδήποτε προσανατολισμού είναι η γωνία πρόσπτωσης και ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της ακτινοβολίας της δέσμης του ήλιου και της κάθετης γραμμής στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού, η οποία εκφράζεται μαθηματικά χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$\begin{aligned} \cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega \\ + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (3.5)$$

όπου:

θ: Γωνία Πρόσπτωσης [°]

δ: Ηλιακή Απόκλιση [°]

φ: Γεωγραφικό Πλάτος [°]

β: Η κλίση συλλέκτη [°]

γ: Η γωνία αζιμουθίου επιφάνειας [°]

ω: Ωριαία Γωνία [°]

Η γωνία ζενίθ έχει τιμή μηδέν μοιρών όταν ο ήλιος βρίσκεται στον ηλιακό μεσημέρι και 90° όταν βρίσκεται στον ορίζοντα. Η γωνία ζενίθ μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση αφήνοντας το β=0 :

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (3.6)$$

όπου:

θ_z: Γωνία Ζενίθ [°]

Η ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας είναι η ποσότητα της ακτινοβολίας που φτάνει στην κορυφή της γήινης ατμόσφαιρας στις 90° και θα εκφραζόταν μαθηματικά:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (3.7)$$

όπου:

G_{on} : Ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας [kW/m²]

G_{sc} : Ηλιακή σταθερά = 1,367 [kW/m²]

Η οριζόντια ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά με την ακόλουθη εξίσωση:

$$G_o = G_{on} \cos \theta_z \quad (3.8)$$

όπου:

G_o : Οριζόντια Ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας [kW/m²]

Η μέση εκτός ατμόσφαιρας οριζόντια ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\overline{G_o} = \frac{12}{\pi} G_{on} \left[\cos \varphi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \pi \frac{(\omega_2 - \omega_1)}{180^\circ} \sin \varphi \sin \delta \right] \quad (3.9)$$

όπου:

$\overline{G_o}$: Η Μέση Οριζόντια Ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας [kW/m²]

G_{on} : Ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας [kW/m²]

ω_1 : Ωριαία Γωνία την στιγμή t_1 [°]

ω_2 : Ωριαία Γωνία την στιγμή t_2 [°]

Μια παράμετρος που ονομάζεται δείκτης αιθριότητας πρέπει να οριστεί μαθηματικά:

$$K_T = \frac{\overline{G}}{\overline{G_o}} \quad (3.10)$$

όπου:

$\overline{G_o}$: Η Μέση Οριζόντια Ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας [kW/m²]

\overline{G} : Η παγκόσμια οριζόντια ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης [kW/m²]

K_T : Δείκτης Αιθριότητας

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης έχει τη μορφή δέσμης και διάχυτης ακτινοβολίας. Η συνολική ηλιακή ακτινοβολία προκύπτει αθροίζοντας τη διάχυτη ακτινοβολία και την ακτινοβολία της δέσμης, δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\bar{G} = \bar{G}_b + \bar{G}_d \quad (3.11)$$

όπου:

\bar{G} : Η παγκόσμια οριζόντια ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης [kW/m²]

\bar{G}_b : Η ακτινοβολία δέσμης [kW/m²]

\bar{G}_d : Η διάχυτος ακτινοβολία [kW/m²]

Η παγκόσμια οριζόντια ηλιακή ακτινοβολία είναι αυτή που μετρείται στις περισσότερες περιπτώσεις, κι όχι στοιχεία διάχυσης και δέσμης. Έτσι, για να προσδιοριστεί η προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού, το οριζόντιο στοιχείο θα πρέπει να αναλύεται σε δέσμη και να διαχέεται καθώς ο προσανατολισμός της επιφάνειας έχει μεγάλο αντίκτυπο στην ακτινοβολία δέσμης. Το κλάσμα διάχυσης ακτινοβολίας ορίζεται παρακάτω ως συνάρτηση του δείκτη αιθριότητας:

$$\frac{\bar{G}_d}{\bar{G}} = \begin{cases} 1.0 - 0,09K_T, & K_T \leq 0.22 \\ 0,9511 - 0,1604K_T + 4,388K_T^2 - 16,633K_T^3 + 12,336K_T^4, & 0,22 < K_T \leq 0.80 \\ 0,165, & K_T > 0.80 \end{cases} \quad (3.12)$$

Η συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην κεκλιμένη επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πάνελ μπορεί τώρα να υπολογιστεί εφαρμόζοντας τις ακόλουθες εξισώσεις. Ο λόγος της ακτινοβολίας δέσμης που επιτυγχάνεται στην κεκλιμένη επιφάνεια προς την ακτινοβολία δέσμης που επιτυγχάνεται στην οριζόντια επιφάνεια του Φ/Β δίνεται παρακάτω :

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (3.13)$$

όπου:

R_b : Λόγος άμεσης ακτινοβολίας δέσμης

Ο δείκτης ανισοτροπίας είναι μια παράμετρος που μετράει κατά πόσο η ατμόσφαιρα μπορεί να μεταδώσει ακτινοβολία δέσμης. Ο δείκτης ανισοτροπίας

είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την εκτίμηση του προσδιορισμού της περιμετρικής διάχυτης ακτινοβολίας και δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$A_i = \frac{\overline{G_b}}{\overline{G_o}} \quad (3.14)$$

όπου:

A_i : Δείκτης Ανισοτροπίας

Ο τελικός παράγοντας που πρέπει να καθοριστεί είναι η φωτεινότητα του ορίζοντα. Η διάχυτη ακτινοβολία που προέρχεται από τον ορίζοντα υπολογίζεται ως προς τη νεφελότητα και εκφράζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$f = \sqrt{\frac{\overline{G_b}}{\overline{G}}} \quad (3.15)$$

όπου:

f : Δείκτης Νεφελότητας

Η παγκόσμια ακτινοβολία που προσπίπτει στη συστοιχία φωτοβολταϊκών δίνεται παρακάτω:

$$\overline{G_T} = (\overline{G_b} + \overline{G_d}A_i)R_b + \overline{G_d}(1 - A_i) \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) \left[1 + f \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] + \overline{G}\rho_g \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (3.16)$$

όπου:

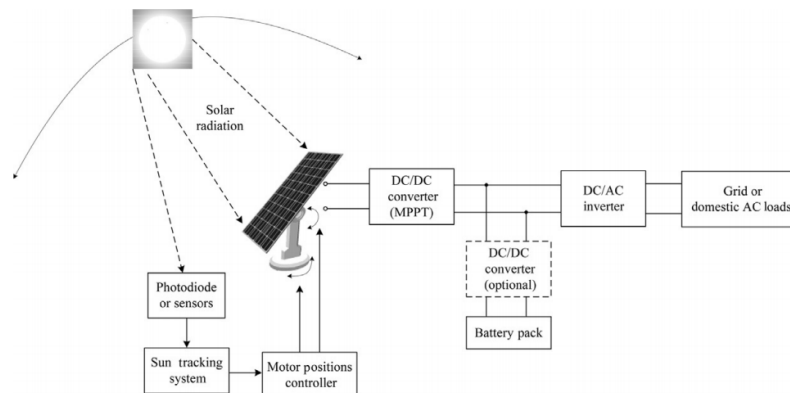
$\overline{G_T}$: Παγκόσμια ακτινοβολία που προσπίπτει στη συστοιχία φωτοβολταϊκών [kW/m^2]

β : Η κλίση του συλλέκτη [°]

ρ_g : Η ανάκλαση του εδάφους που λέγεται επίσης *albedo* [%]

2.1.5 Μοντελοποίηση Ηλιακού PV

Σε ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας, το ηλιακό φως συλλαμβάνεται από τη φωτοβολταϊκό πάνελ. Τα σήματα φωτοδιόδου ή φωτοαισθητήρα καθορίζουν τις θέσεις του κινητήρα παρακολούθησης του ήλιου. Αυτός ο έλεγχος παρακολούθησης του ήλιου βοηθά στην παρακολούθηση των ημερήσιων και εποχικών αλλαγών της θέσης του ήλιου για να τοποθετηθεί απευθείας στον ήλιο και να συλλάβει το μέγιστο διαθέσιμο ηλιακό φως. Ένας μετατροπέας DC/DC χρησιμοποιείται στην έξοδο των φωτοβολταϊκών πάνελ για να λειτουργεί στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) με βάση τα χαρακτηριστικά ρεύματος-τάσης (I-V) του Φ/Β. Αυτός ο μετατροπέας DC/DC ελέγχεται ώστε να λειτουργεί στο επιθυμητό ρεύμα και τάση εξόδου του Φ/Β. Ένας μετατροπέας DC/AC συνδέεται συνήθως στην έξοδο αυτού του μετατροπέα MPPT DC/DC προκειμένου να τροφοδοτήσει τα φορτία AC για διασύνδεση στο δίκτυο. Μια μπαταρία μπορεί να συνδεθεί στο δίαυλο DC του συστήματος για να παρέχει επιπλέον ισχύ που ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμη από τη φωτοβολταϊκή μονάδα κατά τη διάρκεια της νύχτας και τις συννεφιασμένες περιόδους. Η μπαταρία μπορεί επίσης να αποθηκεύσει ενέργεια όταν η φωτοβολταϊκή μονάδα παράγει περισσότερη ισχύ από την απαιτούμενη. Μια σύνδεση δικτύου είναι επίσης χρήσιμη για την άντληση/παροχή ρεύματος από/προς το δίκτυο κοινής ωφέλειας για την εκμετάλλευση της περισσευούμενης ισχύος ή για την επαναφόρτιση των μπαταριών χρησιμοποιώντας την ισχύ του δικτύου κατά τις περιόδους αιχμής του δικτύου κοινής ωφέλειας.



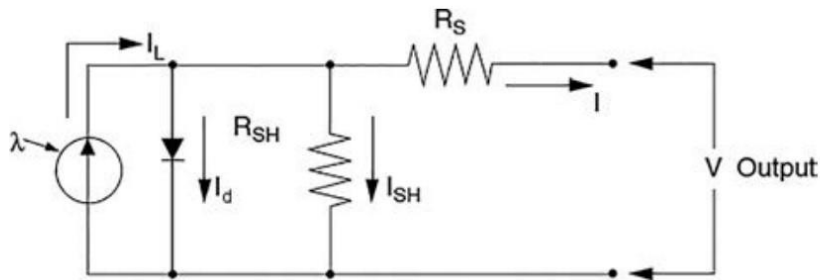
Σχήμα 17: Ηλιακό ενεργειακό σύστημα. Πηγή: C. O. Omer και K. Alireza, *Alternative Energy in Power Electronics*, Elsevier, 2015.

Οι συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά ρεύματος-τάσης (I-V) των ηλιακών κυψελών. Η τάση και το ρεύμα θα πρέπει να ελέγχονται για την παρακολούθηση της μέγιστης ισχύος των φωτοβολταϊκών συστημάτων ώστε να λειτουργούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα στο σημείο (V_{max} , I_{max}). Οι τεχνικές παρακολούθησης σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT)

χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή της μέγιστης διαθέσιμης ισχύος από τις ηλιακές κυψέλες ελέγχοντας την τάση και το ρεύμα. Τα συστήματα που αποτελούνται από διάφορες φωτοβολταϊκές μονάδες που βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις θα πρέπει να διαθέτουν μεμονωμένα συστήματα κλιματισμού ισχύος για να διασφαλίζουν το MPPT για κάθε μονάδα .

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να μοντελοποιηθούν χρησιμοποιώντας διαφορετικές προσεγγίσεις. Το φωτοβολταϊκό πάνελ έχει δύο διακριτές παραμέτρους που παρέχονται από τους κατασκευαστές, όπως το ρεύμα βραχυκυκλώματος και την τάση ανοιχτού κυκλώματος, που χρησιμοποιούνται συνήθως για τον χαρακτηρισμό των Φ/Β στοιχείων. Η καμπύλη I-V του πίνακα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν εξετάζεται το ενδεχόμενο μοντελοποίησης φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η καμπύλη χαρακτηριστικών I-V έχει τρεις κύριους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως το ρεύμα βραχυκυκλώματος, την τάση ανοιχτού κυκλώματος και το σημείο μέγιστης ισχύος.

2.1.5.1 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα PV Κυψέλης



Σχήμα 18: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα PV Κυψέλης. Πηγή: R. P. Mukund και B. Omid, *Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis & Operation*, CRC, 2021.

Οι διαφορετικές παράμετροι του φωτοβολταϊκού στοιχείου που υποδεικνύονται στο ισοδύναμο κύκλωμα εκφράζονται με τις ακόλουθες μαθηματικές εκφράσεις:

$$I = I_L - I_D - I_{sh} \quad (3.17)$$

όπου:

I : Ρεύμα εξόδου PV [A]

I_L : Ηλιακό προκύπτον ρεύμα [A]

I_D : Ρεύμα Διόδου [A]

I_{sh} : Ρεύμα διαρροής διακλάδωσης [A]

Η απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ μπορεί να μειωθεί σημαντικά με μια μικρή αλλαγή της εσωτερικής αντίστασης που αναπτύσσεται στο στοιχείο, ωστόσο

δεν υπάρχει αλλαγή στην τάση εξόδου για οποιαδήποτε αλλαγή της αντίστασης διακλάδωσης. Άλλες μαθηματικές εκφράσεις μπορούν να εφαρμοστούν για τον προσδιορισμό του ρεύματος εξόδου του στοιχείου ως εξής:

$$I = I_L - I_o \left[e^{\frac{qV_{OC}}{kT}} - 1 \right] - \frac{V_{OC}}{R_{sh}} \quad (3.18)$$

με $V_{OC} = V + IR_{sh} \quad (3.19)$

$$I_D = I_o \left[e^{\frac{qV_{OC}}{kT}} - 1 \right] \quad (3.20)$$

όπου:

I_o : Αντίστροφο ρεύμα κορεσμού της διόδου [A]

Q : Φορτίο Ηλεκτρονίων [C]

K : Η σταθερά Boltzmann $\left[\frac{J}{K} \right]$

V_D : Η Τάση της Διόδου [V]

T : Σημειακή θερμοκρασία στη Διασταύρωση Κυψελών $\left[\frac{J}{K} \right]$

V_{oc} : Τάση Ανοικτού Κυκλώματος Κυψέλης [V]

Στους πραγματικούς χρόνους λειτουργίας ο τελευταίος όρος της σχέσης (3.18) που αντιπροσωπεύει το ρεύμα διακλάδωσης είναι τόσο μικρός σε σύγκριση με τα ρεύματα που παράγονται από τον ήλιο και τις διόδους, επομένως μπορεί να παραλειφθεί. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του στοιχείου θεωρούνται ομοιόμορφες σε αυτό το είδος μοντέλου.

Ομοίως, το ρεύμα βραχυκυκλώματος της κυψέλης μπορεί να προσδιοριστεί με τη ρύθμιση της τάσης ανοικτού κυκλώματος ως μηδέν, κι ανάλογα το βραχυκύκλωμα και τα ρεύματα που παράγονται από τον ήλιο έχοντας το ίδιο μέγεθος. Το ρεύμα κορεσμού της διόδου (I_o) είναι σταθερό σε σταθερή θερμοκρασία και ο μαθηματικός προσδιορισμός του εκφράζεται ως εξής:

$$I_o = \frac{I_{sc}}{e^{qV_{OC}-1}} \quad (3.21)$$

Εάν το ρεύμα βραχυκυκλώματος της μονάδας είναι γνωστό από το φύλλο δεδομένων της κυψέλης, επομένως σε οποιαδήποτε ηλιακή ακτινοβολία, το ρεύμα του στοιχείου δίνεται ως εξής:

$$I_{sc} = \left(\frac{G}{G_0}\right) I_{sc,G_0} \quad (3.22)$$

όπου:

I_{sc} : Ρεύμα Κλειστού Κυκλώματος [A]

G : Ηλιακή Ακτινοβολία [$\frac{W}{m^2}$]

I_{sc,G_0} : Ρεύμα Κλειστού Κυκλώματος σε καθορισμένες συνθήκες [A]

G_0 : Ηλιακή Ακτινοβολία σε καθορισμένες συνθήκες [$1000 \frac{W}{m^2}$]

Η τάση ανοιχτού κυκλώματος μπορεί να προσδιοριστεί ρυθμίζοντας το ρεύμα εξόδου στο μηδέν.

$$V_{oc} = \frac{AKT}{q} \log\left(\frac{I}{I_L} + 1\right) \quad (3.23)$$

όπου:

A : Δείκτης Ιδανικότητας Διόδου

Η ποιότητα της φωτοβολταϊκής κυψέλης υπολογίζεται από την παράμετρο που ονομάζεται συντελεστής πλήρωσης. Αυτό δείχνει ότι ένα αποδοτικό Φ/Β θα έχει υψηλότερες τιμές ρεύματος βραχυκυκλώματος, τάσης ανοιχτού κυκλώματος και συντελεστή πλήρωσης. Οποιοσδήποτε συντελεστής πλήρωσης ηλιακών φωτοβολταϊκών εξαρτάται από τον σχεδιασμό και την τεχνολογία του πάνελ. Οποιαδήποτε παράμετρος ή ζημιά που επηρεάζει τον συντελεστή πλήρωσης διαταράσσει επίσης την ισχύ απόδοσης μειώνοντας το μέγιστο ρεύμα ή τη μέγιστη τάση ή και τα δύο ταυτόχρονα. Η ισχύς εξόδου των ΦΒ μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.24):

$$P_{mp} = I_{mp} V_{mp} \quad (3.24)$$

$$FF = \frac{I_{mp} V_{mp}}{I_{sc} V_{oc}} \quad (3.25)$$

όπου:

V_{mp} : Δυναμικά μέγιστο Δυναμικό του PV [V]

I_{mp} : Δυνητικά μέγιστο Ρεύμα του PV [A]

P_{mp} : Δυνητικά μέγιστη Ισχύς του PV [W]

FF : Συντελεστής Πλήρωσης

Επιπλέον, η ισχύς εξόδου του φωτοβολταϊκού μπορεί επίσης να προσδιοριστεί λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στο σημείο ενδιαφέροντος. Οι μαθηματικές εκφράσεις για το μέγιστο ρεύμα και τη μέγιστη τάση που δίνονται στην εξίσωση (3.24) μπορούν να προσδιοριστούν ως εξής:

$$V_{mp} = V_{mp,ref} k_V (T_c - T_{c,ref}) \quad (3.26)$$

$$I_{mp} = I_{mp,ref} k_I (T_c - T_{c,ref}) \quad (3.27)$$

όπου:

$V_{mp,ref}$: Δυνητικά μέγιστο Δυναμικό PV σε καθορισμένες συνθήκες [V]

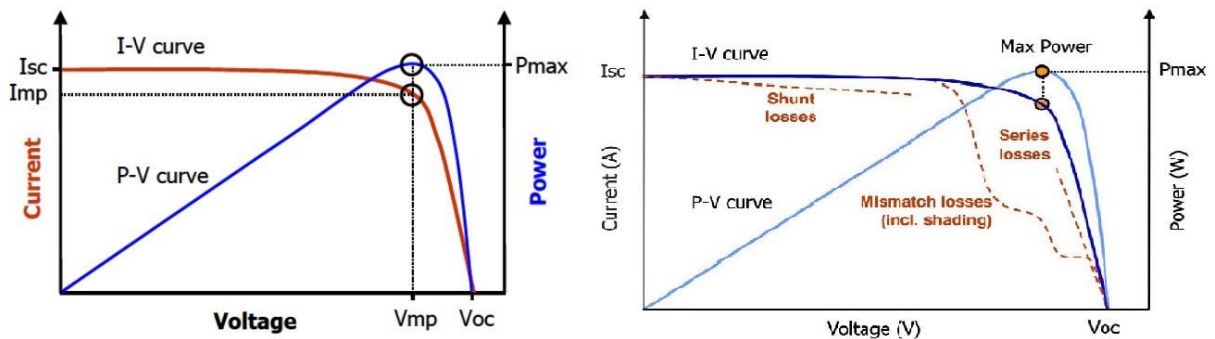
k_V : Συντελεστής θερμοκρασίας Ανοικτού κυκλώματος

$I_{mp,ref}$: Δυνητικά μέγιστο Ρεύμα PV σε καθορισμένες συνθήκες [A]

k_I : Συντελεστής θερμοκρασίας Ανοικτού κυκλώματος

T_c : Θερμοκρασία Λειτουργίας Κυψέλης [K]

$T_{c,ref}$: Θερμοκρασία Λειτουργίας Κυψέλης σε καθορισμένες συνθήκες [K]



Σχήμα 19: Παραλλαγές της Χαρακτηριστικής Καμπύλης I-V Φ/B Κυψέλης με Διαφορετικές Κατηγορίες Απωλειών.
Πηγή: R. P. Mukund και B. Omid, *Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis & Operation*, CRC, 2021.

2.1.5.2 Μαθηματική Μοντελοποίηση PV

Η μαθηματική μοντελοποίηση απεικονίζει μια διαφορετική προσέγγιση για το σχεδιασμό μιας Φ/Β συστοιχίας. Η απόδοση των ηλιακών φωτοβολταϊκών απαιτείται για την παραγωγή ενέργειας με όσο το δυνατόν περισσότερο αποδοτικό τρόπο, επομένως το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφεται παρακάτω χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των βέλτιστων χαρακτηριστικών παραγωγής ενέργειας. Έχοντας τις εισόδους όπως δεδομένα προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, δεδομένα θερμοκρασίας περιβάλλοντος περιοχής και δεδομένα φωτοβολταϊκών μονάδων που παρέχονται από τους κατασκευαστές, και κατά συνέπεια η ισχύς εξόδου του ΦΒ μπορεί να προσδιοριστεί από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$P_{PV} = \eta N A_m G_t \quad (3.28)$$

όπου:

P_{PV} : Ηλιακή Ισχύς στην έξοδο του PV [W]

η : Συντελεστής Απόδοσης Γεννήτριας [%]

A_m : Επιφάνεια μεμονωμένης μονάδας [m^2]

G_t : Προσπίπτουσα Ακτινοβολία [$\frac{W}{m^2}$]

N : αριθμός μονάδων ενσωματωμένος στο σύστημα

Η απόδοση της ηλιακής φωτοβολταϊκής γεννήτριας εκφράζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\eta_g = \eta_r \eta_{pt} [1 - \beta_t (T_c - T_r)] \quad (3.28)$$

όπου:

η_r : Σχετικός Συντελεστής Απόδοσης [%]

η_{pt} : Συντελεστής Συστήματος Παρακολούθησης [%]

T_c : Θερμοκρασία Λειτουργίας Κυψέλης [K]

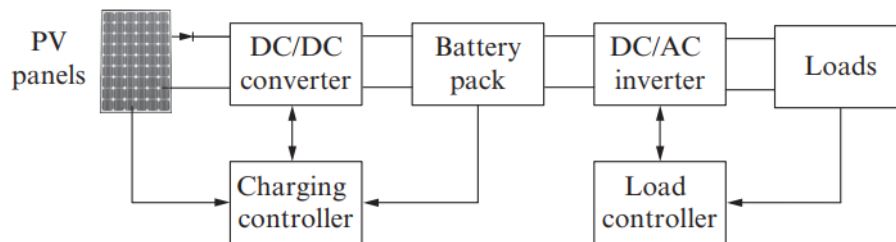
T_r : Θερμοκρασία Λειτουργίας Αναφοράς Κυψέλης [K]

β_t : Συντελεστής Απόδοσης Θερμοκρασίας με εύρος από 0,004 έως $\frac{0,006}{^\circ C}$

για Σιλικονούχες Κυψέλες

2.1.6 Αυτόνομα PV Συστήματα

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα που αποτελούνται από μια συσκευή αποθήκευσης και τον ελεγκτή της για βιώσιμη ικανοποίηση των απαιτήσεων ισχύος φορτίου Η συσκευή αποθήκευσης με τον ελεγκτή θα πρέπει να παρέχει τη διαφορά ισχύος όταν η διαθέσιμη ισχύς από το Φ/Β είναι μικρότερη από την απαιτούμενη ισχύ στο δίαυλο φορτίου. Όταν η διαθέσιμη ισχύς από το Φ/Β είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη ισχύ, το Φ/Β πρέπει να παρέχει την ισχύ του φορτίου και η πλεονάζουσα ισχύς θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τη φόρτιση της συσκευής αποθήκευσης.

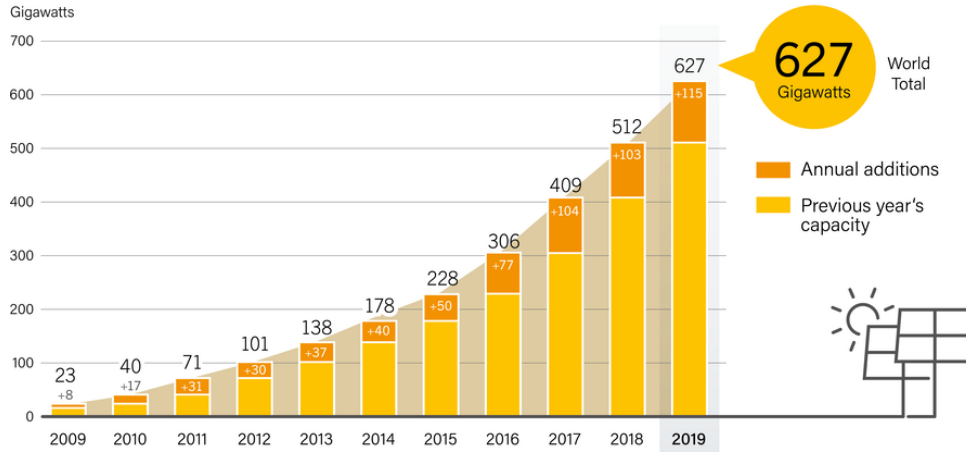


Σχήμα 20: Σύνδεση PV με Μπαταρία για Αυτόνομες Εφαρμογές. Πηγή: C. O. Omer και K. Alireza, *Alternative Energy in Power Electronics*, Elsevier, 2015.

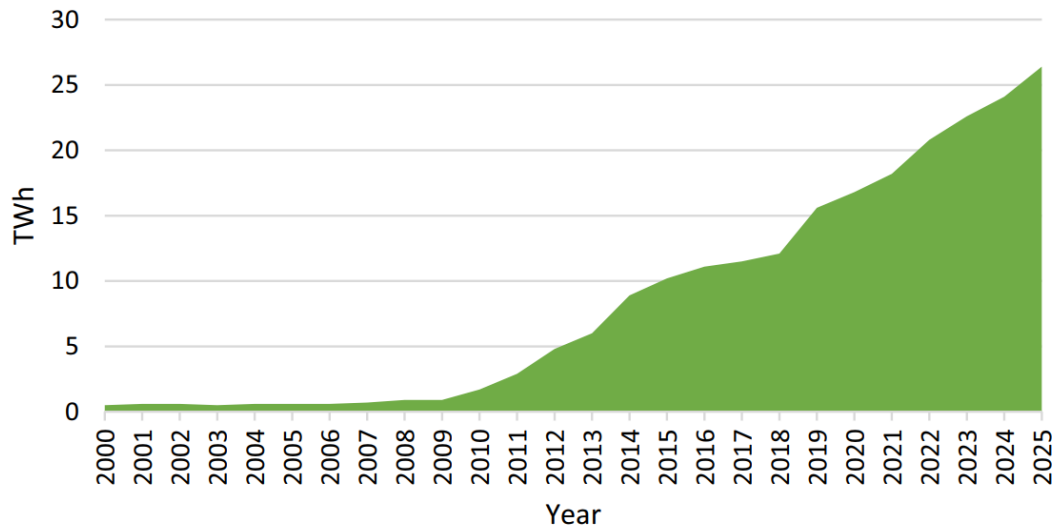
Σε μια απλή σύνδεση, ο μετατροπέας DC/DC μεταξύ της μπαταρίας και του Φ/Β χρησιμοποιείται για να συλλάβει όλη τη διαθέσιμη ισχύ από το Φ/Β. Σε αυτό το σύστημα, το πακέτο μπαταριών λειτουργεί ως ενδιάμεση μνήμη ενέργειας, φορτίζεται από το Φ/Β και εκφορτίζεται μέσω του μετατροπέα DC/AC στην πλευρά του φορτίου. Ο ελεγκτής φόρτισης καθορίζει το ρεύμα φόρτισης της μπαταρίας, ανάλογα με το MPP των φωτοβολταϊκών πάνελ σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή μόνωση, ο μετατροπέας DC/DC απενεργοποιείται και η αποθηκευμένη ενέργεια μέσα στην μπαταρία καλύπτει τις απαιτήσεις φορτίου. Το μέγεθος της μπαταρίας θα πρέπει να επιλεγεί έτσι ώστε να μπορεί να καλύψει όλες τις απαιτήσεις ισχύος κατά τη διάρκεια μιας πιθανής περιόδου χωρίς μόνωση. Επιπλέον, θα μπορούσε να φορτιστεί πλήρως κατά τις περιόδους μόνωσης για αποθήκευση ενέργειας για μελλοντική χρήση. Εφόσον το συνδυασμένο μοντέλο παράγει ηλεκτρική ενέργεια DC, θα πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος για οικιακά ηλεκτρικά φορτία. Το συνδυασμένο σύστημα απαιτεί έναν μετατροπέα DC/AC, ο οποίος χρησιμοποιείται επίσης για να ταιριάζει με τη διαφορετική δυναμική του συστήματος συνδυασμένης ενέργειας και τα διάφορα φορτία. Η σωστή απόκριση του συστήματος φωτοβολταϊκών/μπαταριών στη συνολική δυναμική του φορτίου μπορεί να επιτευχθεί με τη δημιουργία κατάλληλων σημάτων μεταγωγής στον μετατροπέα ενώ διαμορφώνεται τόσο για ενεργή όσο και για άεργη ισχύ. Η τάση του διαύλου φορτίου μπορεί να ελεγχθεί από τον έλεγχο δείκτη διαμόρφωσης του μετατροπέα, ενώ ο έλεγχος φορτίου μπορεί να επιτευχθεί με τον έλεγχο γωνίας φάσης του μετατροπέα.

2.1.7 Η προοπτική της Ηλιακής Ενέργειας στην Παγκόσμια Οικονομία

Η έκρηξη της ηλιακής τεχνολογίας ήρθε τη δεκαετία του 1970 κατά τη διάρκεια της πετρελαϊκής κρίσης. Η εγκατάσταση ηλιακών φωτοβολταϊκών εκτός δικτύου και συνδεδεμένων στο δίκτυο αυξάνεται κάθε χρόνο.



Σχήμα 21: Παγκόσμια δυναμικότητα Ηλιακής Ισχύος και ετήσιες προσθήκες. Πηγή:



Σχήμα 22 : Παγκόσμια καθαρή προσθήκη στη συγκέντρωση ηλιακής ενέργειας. Πηγή: M. Kamran και M. R. Fazal, *Renewable Energy Conversion Systems*, Elsevier, 2021.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, υπάρχει σχεδόν τόση ηλιακή θερμική δυναμικότητα με την αιολική, περίπου 472 GW (th), με την Κίνα να έχει το μεγαλύτερο μέρος (πάνω από το 70% του συνόλου). Υπάρχει σημαντική δυνατότητα επέκτασης. Σύμφωνα με έναν οδικό χάρτη της IEA, εάν οι κυβερνήσεις και η βιομηχανία αναλάμβαναν συντονισμένη δράση, η ηλιακή ενέργεια θα μπορούσε ετησίως να παράγει περισσότερο από το 16% της συνολικής χρήσης τελικής ενέργειας για θέρμανση σε χαμηλή θερμοκρασία και περίπου το 17% για ψύξη έως το 2050 περίπου, μια αύξηση 25 φορές σε απόλυτους όρους ηλιακής θέρμανσης και ψύξης από τώρα.

2.2 Αιολική Ενέργεια

Μια άλλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι η αιολική ενέργεια της οποίας ο κύριος λόγος ύπαρξης της είναι ο ήλιος. Λόγω της ανομοιόμορφης θέρμανσης της επιφάνειας της γης και του αέρα της, η πυκνότητα του αέρα αλλάζει σε διάφορες θέσεις στη γη. Ο αέρας στην περιοχή της γης όπου η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει τον αέρα γίνεται λιγότερο πυκνός και κινείται προς τα πάνω. Ενώ ο δροσερός αέρας από άλλες περιοχές σπεύδει να καλύψει αυτό το κενό. Περίπου το 1 έως 3% της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη γη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Η αιολική ενέργεια θεωρείται ανανεώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας καθώς ο αέρας δεν εξαντλείται ποτέ αλλά αναπληρώνεται από μόνος του. Ο κινούμενος αέρας περιέχει από μόνος του κινητική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την κίνηση των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια. Αυτή η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας γεννήτριας σε συνδυασμό με μια ανεμογεννήτρια.

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες για την ταξινόμηση των ανεμογεννητριών:

1. Ταξινόμηση βάσει θέσης άξονα
2. Ταξινόμηση με βάση το μέγεθος
3. Ταξινόμηση με βάση την ταχύτητα
4. Ταξινόμηση βάσει τοποθεσίας

1. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη θέση του άξονα ως ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα (HAWT) και ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (VAWT).

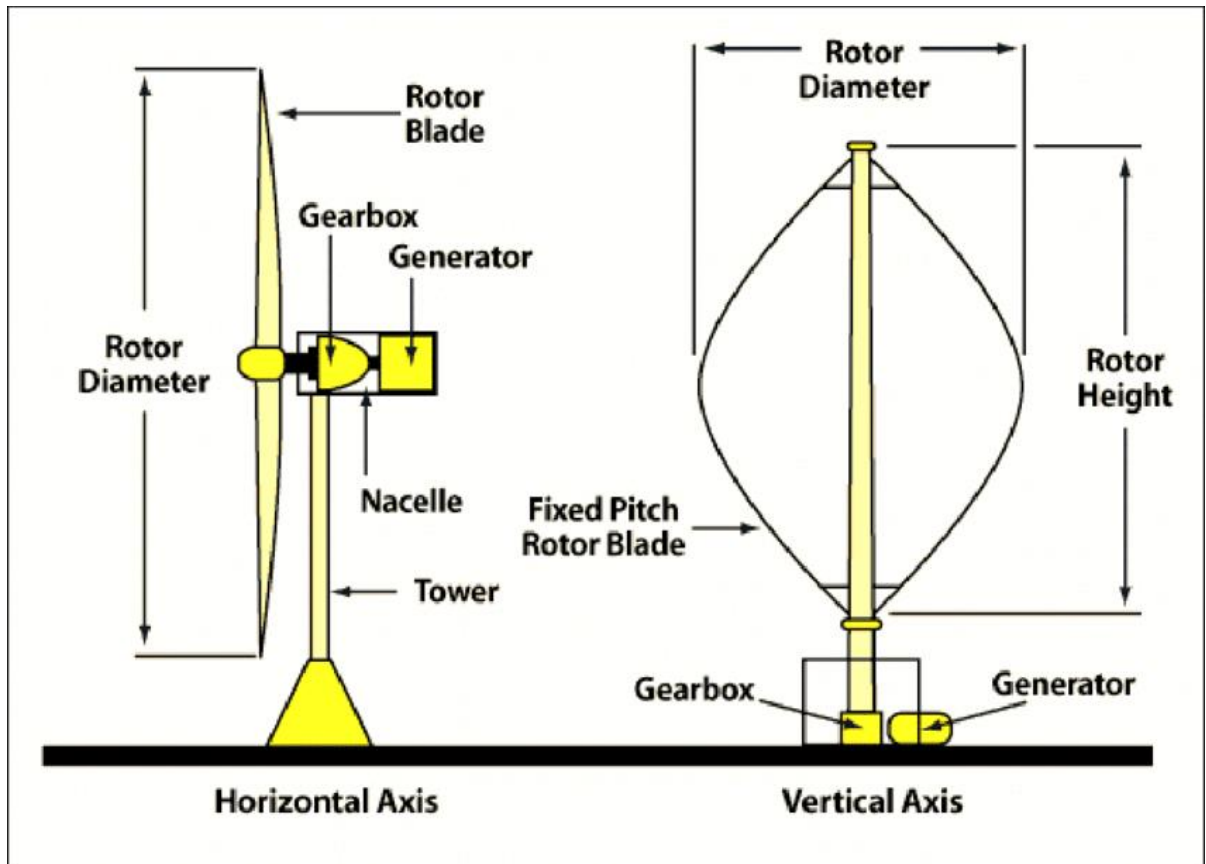
- Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα (HAWT):

Οι HAWT χρησιμοποιούνται συνήθως, με σχέδιο παρόμοιο με ανεμόμυλο. Έχουν έναν άξονα και μια γεννήτρια τοποθετημένα στην κορυφή. Ο άξονας του ρότορα είναι οριζόντια τοποθετημένος για να αξιοποιεί τον μέγιστο άνεμο. Αυτές οι ανεμογεννήτριες έχουν υψηλή απόδοση και μπορούν να αξιοποιήσουν ισχυρότερους ανέμους. Ωστόσο, απαιτούν μια τεράστια δομή, καθιστώντας έτσι δύσκολη την εγκατάσταση, τη συντήρηση και τη μεταφορά. Απαιτούν επίσης έναν πρόσθετο μηχανισμό που απαιτείται για να κινείται κατά μήκος του ανέμου και συχνά υπόκειται σε κόπωση, καταπονήσεις και δονήσεις.

- Ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα (VAWT):

Οι VAWT έχουν κατακόρυφες διατάξεις αξόνων, καθιστώντας έτσι αυτάρκειες έναντι των κατευθύνσεων του ανέμου και πρόσθετους μηχανισμούς περιστροφής. Η γεννήτρια και άλλα εξαρτήματα πρέπει να εγκατασταθούν στη βάση καθιστώντας τη συντήρηση ευκολότερη. Η ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus είναι η πιο κοινή σε χρήση. Αυτοί οι τύποι A/Γ έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα,

όπως είναι πιο οικονομικοί καθώς διαθέτουν ισχυρή δομική στήριξη και δεν απαιτείται έλεγχος εκτροπής και έλεγχος βήματος. Προσφέρουν εύκολη εγκατάσταση, συντήρηση και μεταφορά. Είναι κατάλληλα και εξαιρετικά αποδοτικά σε μεταβλητές και τυρβώδεις περιοχές ανέμου. Ωστόσο, προσφέρουν χαμηλότερη απόδοση, απαιτούν μικρή ώθηση για την αρχική εκκίνηση και δημιουργούν ηχορύπανση. Χρήσιμη καθίσταται μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση των HAWT και VAWT όσον αφορά την εμπορική σκοπιμότητα νέων τεχνολογιών μέσω της συγκριτικής ανάλυσης διαφόρων παραγόντων όπως η πυκνότητα ισχύος, η απόδοση, η ικανότητα αυτοεκκίνησης και η αεροδυναμική.



Σχήμα 23: (Α) Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα. (Β) Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα. Πηγή: <http://www.windturbineworks.com>, 2018

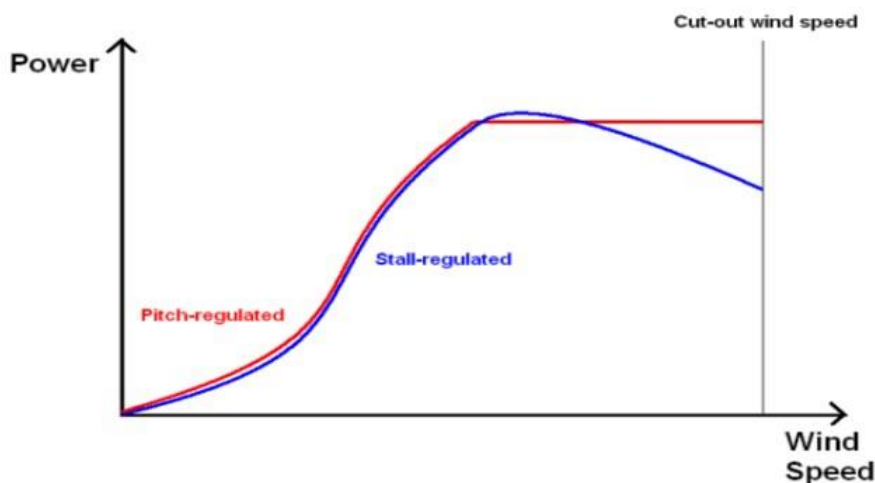
Μια φυσική διαμόρφωση που παράγει ανομοιόμορφη δύναμη στο ρεύμα ροής ανέμου τείνει να περιστρέφεται, να ταλαντώνεται και η ισχύς θα μπορούσε να αξιοποιηθεί από τη ροή του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας την ισχύ από τον άνεμο για την κίνηση μιας ηλεκτρικής γεννήτριας. Οι μηχανές μετατροπής αιολικής ενέργειας εξάγουν την κινητική ενέργεια του ανέμου από την περιοχή σάρωσης των πτερυγίων της Α/Γ κάνοντας διαφορές πίεσης στο πτερύγιο και εκκινούν την ηλεκτρική γεννήτρια για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η ανεμογεννήτρια περιλαμβάνει εξαρτήματα όπως: πύργος, ρότορας, άτρακτος και η δομή ελέγχου του

δρομέα του στροβίλου ή ο μηχανισμός εκτροπής. Ο πύργος είναι το δομικό στοιχείο της ανεμογεννήτριας που υποστηρίζει το κιβώτιο ταχυτήτων και την ηλεκτρική γεννήτρια που συγκρατούνται στην ατράκτου. Ο μηχανισμός εκτροπής είναι ένα σημαντικό συστατικό των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιείται για να κατευθύνει το ρότορα της Α/Γ προς την κατεύθυνση της ροής του ανέμου προκειμένου να εξαχθεί η κινητική ενέργεια του ανέμου. Η ηλεκτρική γεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια από τη μετασχηματισμένη μηχανική ενέργεια.

Οι ανεμογεννήτριες αρχίζουν να παράγουν ισχύ όταν η ροή της ταχύτητας του ανέμου ξεπεράσει την ελάχιστη ταχύτητα ανέμου (ταχύτητα έναρξης). Η ισχύς της ανεμογεννήτριας αυξάνεται με την ταχύτητα του ανέμου μέχρι να φτάσει στην ονομαστική ταχύτητα όπου παράγει τη μέγιστη ισχύ. Η Α/Γ δεν παράγει ισχύ πέρα μετά την ταχύτητα αποκοπής λόγω της συναρμολόγησης μηχανισμών ασφαλείας που θα μπορούσαν να εμποδίσουν την Α/Γ να παράγει ισχύ. Υπάρχουν δύο μηχανισμοί ελέγχου ταχύτητας ή ισχύος που απαιτούνται για την προστασία τόσο του φορτίου όσο και του στροβίλου κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής ταχύτητας ανέμου.

- Ρύθμιση βήματος(Pitch regulation): Διαθέτει ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου ή μηχανισμό ενεργού ελέγχου που μειώνει την αεροδυναμική απόδοση της ανεμογεννήτριας. Η αρχή του τρόπου λειτουργίας είναι ότι τα πτερύγια πρέπει να περιστρέφονται κατά μήκος του άξονα περιστροφής τους με τη βοήθεια μηχανισμού ελέγχου βήματος καθώς η ταχύτητα του ανέμου προσπαθεί να διασχίσει την ονομαστική ταχύτητα. Όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική ταχύτητα του ανέμου, ο μηχανισμός ρύθμισης αλλάζει αυτόματα το βήμα του πτερυγίου. Η τροποποίηση της γωνίας προσβολής θα μειώνει την ικανότητα του ρότορα. Για να αποφευχθεί η λειτουργία των πτερυγίων των ανεμογεννητριών εκτός του εφικτού εύρους, ο μηχανισμός ελέγχου θα πρέπει να ανταποκρίνεται ταχύτερα με διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου. Οι Α/Γ με ρύθμιση βήματος μετατρέπουν την ταχύτητα του ανέμου πιο αποτελεσματικά όταν ο άνεμος ρέει σε μέτρια εμβέλεια καθώς τα πτερύγια ρυθμίζονται στην κατάλληλη γωνία προσβολής. Η ισχύς εξόδου της Α/Γ αυξάνεται μέχρι την ονομαστική ταχύτητα του ανέμου αλλά πέρα από αυτή η ισχύς παραμένει σταθερή.
- Ρύθμιση Stall (Stall regulation): Σε αυτόν τον μηχανισμό ελέγχου ισχύος, το προφίλ του πτερυγίου έχει σχεδιαστεί για να ρυθμίζεται αεροδυναμικά κατά μήκος του διαμήκου άξονά του για να αυξάνει τη γωνία προσβολής. Η αύξηση της γωνίας προσβολής κάνει τον αέρα να κολλάει στην επάνω πλευρά του πτερυγίου και αυτό έχει ως αποτέλεσμα αναταράξεις, επομένως αυτό το φαινόμενο σταματά τη δύναμη ανύψωσης στα πτερύγια, οδηγώντας σε ακινητοποίηση τους. Γενικά, η ισχύς εξόδου ελέγχεται από τον ειδικό σχεδιασμό των πτερυγίων του ρότορα για να διασφαλιστεί ότι καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται, δημιουργεί αναταράξεις στο πλάι των πτερυγίων της Α/Γ, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αεροδυναμική απόδοση της. Η παραγωγή ισχύος, η

ταχύτητα περιστροφής, η αεροδυναμική ροπή μειώνονται με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου.



Σχήμα 24: Μηχανισμοί ελέγχου ισχύος ανεμογεννητριών. Πηγή: R. P. Mukund και B. Omid, *Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis & Operation*, CRC, 2021.

Οι πιο δημοφιλείς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι Α/Γ οριζόντιου άξονα με τρία πτερύγια. Αυτό οφείλεται στη χαμηλή ταχύτητα του ανέμου, τον υψηλό συντελεστή ισχύος, το εύκολο κύρτωμα και η σταθερότητά της. Οι Α/Γ με ζυγό αριθμό πτερυγίων έχουν προβλήματα σταθερότητας γιατί όταν το ανώτερο πτερύγιο στρίβει προς τα πίσω, το κατώτερο περνά στην σκιά του ανέμου στο μπροστινό μέρος του πύργου. Οι ανεμογεννήτριες με περισσότερα από 20 πτερύγια εφαρμόζονται για σκοπούς άντλησης νερού και δεν ισχύουν για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω υψηλότερων αεροδυναμικών απωλειών. Ο λόγος ταχύτητας στην άκρη του πτερυγίου και ο αριθμός των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας έχουν έμμεση σχέση. Είναι η αναλογία της ταχύτητας του ακροπτερυγίου προς την ταχύτητα του ανέμου, η οποία μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (2.1)$$

όπου:

λ : Ο λόγος ταχύτητας στην άκρη του πτερυγίου [A]

ω : Η συχνότητα της διανομής

R : Η ακτίνα του Ρότορα [m]

V : Η ταχύτητα του ανέμου [$\frac{m}{s}$]

Όσο μεγαλύτερος αριθμός πτερυγίων τόσο χαμηλότερη είναι η αναλογία στροφών στην άκρη των πτερυγίων με υψηλή ροπή εκκίνησης. Οι ανεμογεννήτριες με δύο ή τρία πτερύγια έχουν υψηλή αναλογία ταχύτητας στην άκρη των πτερυγίων.

Ο ρότορας των ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα μπορεί να τοποθετηθεί αντίθετα προς τον πύργο και προς τα κάτω από την κατεύθυνση του πύργου. Η δύναμη ανύψωσης είναι το κινητήριο στοιχείο της μηχανής ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα. Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα είναι μηχανές που έχουν άξονα περιστροφής κάθετο στη ροή του ανέμου. Ο στρόβιλος Darrieus είναι τύπος κατακόρυφου άξονα που λειτουργεί ανεξάρτητα από την κατεύθυνση της ροής του ανέμου. Αυτός ο τύπος μηχανών λαμβάνει αιολική ενέργεια από οποιαδήποτε κατεύθυνση, που σημαίνει ότι δεν χρειάζονται μηχανισμό εκτροπής για να προσαρμόζεται κάθε φορά στην κατεύθυνση ροής του ανέμου. Επίσης δεν έχουν ρύθμιση βήματος, η Α/Γ τοποθετείται στο επίπεδο του εδάφους που καθιστά τη δομή απλή και λιγότερο δαπανηρή, αλλά το τεράστιο πρόβλημα με τέτοιου είδους μηχανήματα, είναι η αυτοεκκίνηση, που χρειάζεται κάποιο μηχανισμό για να περιστραφεί. Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες ομάδες: αυτές που χρησιμοποιούν αεροδυναμική οπισθέλκουσα για να αξιοποιήσουν την ισχύ από τον άνεμο (ανεμόμετρο κυπέλλου) και αυτές που χρησιμοποιούν δύναμη ανύψωσης. Μπορούμε περαιτέρω να υποδιαιρέσουμε τις ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα που βασίζονται σε αεροτομές με ευθεία πτερύγια και σε αυτές με κυρτά πτερύγια.

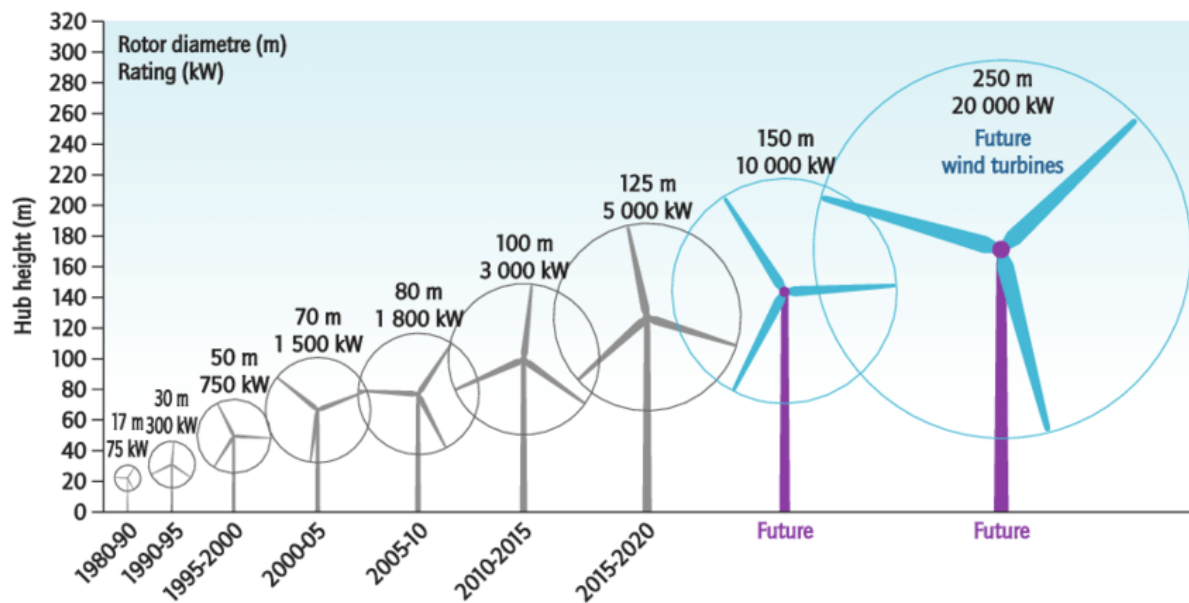
2. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το μέγεθός τους σε μικρές, μεσαίες και μεγάλες ανεμογεννήτριες ανάλογα με την ικανότητα παραγωγής ενέργειας.

- Οι ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας: μπορούν περαιτέρω να χωριστούν σε τύπους μικρού, μίνι και οικιακού τύπου με εγκατεστημένη ισχύ 0,00416 kW, διάμετρο πτερυγίων που κυμαίνεται μεταξύ 0,510 m και επιφάνεια σάρωσης 0,279 m². Οι μικρές εμπορικές ανεμογεννήτριες έχουν εγκατεστημένη ισχύ που κυμαίνεται μεταξύ 251.00 kW, διάμετρος πτερυγίου 1020 m, επιφάνεια σάρωσης 79.314 m², και μέγιστο ύψος έως 50 m. Αυτοί οι τύποι είναι κατάλληλοι για απομακρυσμένες κατοικημένες περιοχές όπου το δίκτυο βρίσκεται μακριά, καθιστώντας τη μετάδοση ισχύος δύσκολη και ως πρόκληση ως μελέτη εργασίας. Ωστόσο, η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας εξακολουθεί να αμφισβητείται και η έρευνα επικεντρώνεται τώρα στο να τα υλοποιηθεί πιο προσιτά οικονομικά.

- Οι ανεμογεννήτριες μεσαίας κλίμακας: έχουν εγκατεστημένη ισχύ 0,11 MW, διάμετρος λεπίδας 2.050 m, επιφάνεια σάρωσης 3.141.963 m² και μέγιστο ύψος μικρότερο από 100 m. Αυτοί οι τύποι είναι κατάλληλοι για απομακρυσμένες τοποθεσίες με υψηλή ζήτηση ή εμπορικά κτίρια. Είναι κοινή πρακτική η σύνδεση αυτών των Α/Γ απευθείας στο φορτίο μέσω μετατροπών.

- Οι ανεμογεννήτριες μεγάλης κλίμακας: έχουν εγκατεστημένη ισχύ 13 MW, διάμετρο πτερυγίων 50.100 m, επιφάνεια σάρωσης 19.637.854 m² και μέγιστο ύψος 150 m. Αυτοί οι τύποι στρόβιλων περιέχουν την πιο πολύπλοκη δομή που προορίζεται να συμβάλει στη μεγαλύτερη δυναμικότητα παραγωγής. Τα αιολικά

πάρκα περιλαμβάνουν μερικούς έως εκατοντάδες τέτοιους τύπους συνδεδεμένους στο δίκτυο. Οι ακραίες συνθήκες λειτουργίας προκαλούν υπερφόρτωση αυτών των τύπων Α/Γ που μπορεί να οδηγήσει σε ζημιά. Ως εκ τούτου, είναι αναπόφευκτο να χρησιμοποιηθούν οι πιο πρόσφατες τεχνικές για το σχεδιασμό ενός αξιόπιστου και οικονομικά αποδοτικού σχεδίου συντήρησης που μπορεί να παρακολουθεί με επιτυχία την κατάσταση και να διαγνώσει τις βλάβες. Υπάρχουν πολλές προκλήσεις σχετικά με την περαιτέρω ανάπτυξη αυτών των τύπων Α/Γ, ωστόσο, οι ερευνητές έχουν συμβάλει σημαντικά στην επισήμανση αυτών και έχουν προτείνει τρόπους αντιμετώπισής τους. Μια γαλλική εταιρεία, η GE Renewable Energy, ο τέταρτος μεγαλύτερος κατασκευαστής ανεμογεννητριών στον κόσμο το 2018, ισχυρίστηκε ότι ανέπτυξε τη μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια με το όνομα «Halide-X» χωρητικότητας 13 MW με διάμετρο ρότορα 220 μέτρα και συνολική 260 μέτρα ύψος. Έλαβαν την πρώτη παραγγελία 190 μηχανών για το Dogger Bank Wind Farm συνολικής χωρητικότητας 3.6 GW. Πρόκειται να σημειώσει παγκόσμιο ρεκόρ και αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2026.



Σχήμα 25: Εξέλιξη βάσει μεγέθους και ονομαστικής ισχύος των ανεμογεννητριών. Πηγή:

https://www.researchgate.net/figure/Evolution-of-the-size-and-rated-power-of-wind-turbines_fig3_309313810

3. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας (FSWT) και ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας (VSWT).

- Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας: Οι FSWT είναι οι απλούστερες και πιο οικονομικές. Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1980 και του 1990 (τα πρώτα χρόνια της αιολικής βιομηχανίας), οι Δανοί κατασκευαστές ανεμογεννητριών ανέπτυξαν, υιοθέτησαν και διέθεσαν με επιτυχία αυτήν την ιδέα. Ως εκ τούτου, θεωρείται επίσης ως "Δανική έννοια". Οι FSWT

χρησιμοποιούν μια γεννήτρια επαγωγής κλωβού (SCIG) και κιβώτιο ταχυτήτων πολλαπλών σταδίων για τη μετατροπή της μηχανικής αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Είναι επίσης εξοπλισμένα με “μαλακό” ευκίνητη και συστοιχία πυκνωτών για μείωση της επίδρασης της κατανάλωσης άεργης ισχύος. Τοποθετούνται στην κορυφή της Α/Γ εντός του αυλακιού. Το κιβώτιο ταχυτήτων λαμβάνει τη χαμηλή ταχύτητα περιστροφής ως είσοδο και παρέχει υψηλότερη ταχύτητα περιστροφής εντός της γεννήτριας οποιασδήποτε Α/Γ. Η ανεμογεννήτρια κινεί τον άξονα της γεννήτριας και ο στάτορας της συνδέεται απευθείας με το κύριο δίκτυο μέσω του μετασχηματιστή. Στον κανονικό τρόπο λειτουργίας του, η συχνότητα του δικτύου λαμβάνεται ως συχνότητα αναφοράς και η συχνότητα του στάτορα σταθεροποιείται ανάλογα με πολύ χαμηλή ολίσθηση. Η διαφορά μεταξύ των συχνοτήτων στάτορα και ολίσθησης καθορίζει την ταχύτητα του ρότορα που προσφέρει πολύ χαμηλές διακυμάνσεις έναντι της ταχύτητας του ανέμου, ως εκ τούτου, ονομάζονται συστήματα σταθερής ταχύτητας. Είναι ειδικά σχεδιασμένο για να επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη απόδοση με μία μόνο ταχύτητα περιστροφής, ωστόσο, στα σύγχρονα συστήματα, είναι διαθέσιμες δύο ταχύτητες περιστροφής για τη σύλληψη μεγαλύτερης ποσότητας ανέμου. Μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση δύο γεννητριών στο αυλάκι ή μιας μοναδικής γεννήτριας που περιλαμβάνει δύο ανεξάρτητες περιελίξεις, που ονομάζεται σύνολο περιελίξεων γεννήτριας. Έχει σχεδιαστεί ως οκταπολική διάταξη για να χρησιμοποιεί χαμηλότερες ταχύτητες ανέμου και ρυθμίσεις τεσσάρων έως έξι πόλων για μεσαίες και υψηλές ταχύτητες. Οι FSWT δεν είναι μόνο οικονομικές από άποψη συντήρησης, εγκατάστασης και μεταφοράς, αλλά είναι επίσης απλές, στιβαρές και αξιόπιστες. Ωστόσο, η υψηλή μηχανική καταπόνηση και η καταπόνηση λόγω κόπωσης, καθώς και οι διακυμάνσεις στην ισχύ εξόδου, είναι πολύ συνηθισμένες για αυτόν τον τύπο. Προσφέρουν χαμηλή αεροδυναμική απόδοση επειδή οι γεννήτριες δεν μπορούν να συντονιστούν σύμφωνα με τις διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου. Ο έλεγχος ποιότητας ισχύος είναι ένα άλλο ζήτημα με αυτές τις Α/Γ καθώς απαιτούν πρόσθετο εξοπλισμό για αντιστάθμιση άεργου ισχύος. Οι FWT χρησιμοποιούνται περισσότερο για υπεράκτια αγροκτήματα με πιο σταθερές συνθήκες ανέμου.

- Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας: Οι VSWT είναι ειδικά σχεδιασμένες για να λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων ανέμου. Απαιτούν ένα κιβώτιο ταχυτήτων πολλαπλών σταδίων για την ενίσχυση της απόδοσης έναντι πολύ χαμηλών (μεταβλητών) ταχυτήτων ανέμου. Η κύρια ιδέα είναι να συλλάβουμε τη μέγιστη ποσότητα του διαθέσιμου ανέμου που είναι διαλείπουσα από τη φύση της. Μια γεννήτρια επαγωγής διπλής τροφοδοσίας (DFIG) και ένας πλήρως βαθμολογημένος μετατροπέας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως γεννήτριες. Η

μεταβλητότητα της ταχύτητας οδηγεί στη μη συμμόρφωση των απαιτήσεων συχνότητας δικτύου, ως εκ τούτου απαιτούνται ειδικές ρυθμίσεις με τη μορφή μετατροπών ισχύος back-to-back για να διασφαλιστεί ότι η παραγόμενη συχνότητα ακολουθεί τις τυπικές απαιτήσεις του δικτύου. Οι πλευρικοί μετατροπείς της γεννήτριας μετατρέπουν πρώτα το επερχόμενο σήμα σε DC (ανόρθωση), που χρησιμοποιούνται κυρίως για τη διατήρηση της ροπής και της ταχύτητας υπό έλεγχο μέσω της παρακολούθησης σημείου μέγιστης ισχύος. Οι μετατροπείς της πλευράς του δικτύου μετατρέπουν το σήμα DC σε AC (αναστροφή) όπου χρησιμοποιούνται για τη φροντίδα της άεργου ισχύος του δικτύου και επερχόμενη τάση DC. Υπάρχουν διάφορες διαθέσιμες τεχνικές ελέγχου και τοπολογίες μετατροπών ισχύος για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης.

4. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ταξινομηθούν σε επίγειες (Onshore Wind Turbines) και παράκτιες ανεμογεννήτριες (Offshore Wind Turbines) ανάλογα με τη θέση τους. Οι επίγειες ανεμογεννήτριες μπορούν να βρίσκονται σε οποιοδήποτε μέρος με καλά χαρακτηριστικά ταχύτητας ανέμου. Ωστόσο, αυτοί οι άνεμοι υπόκεινται σε διάφορους παράγοντες. Ως εκ τούτου, ο έλεγχος ισχύος εξόδου και η προστασία του εξοπλισμού επιτυγχάνονται μέσω διαφορετικών σχημάτων ελέγχου.

Οι παράκτιες ανεμογεννήτριες έχουν το πλεονέκτημα ότι αντιμετωπίζουν σταθερή ταχύτητα ανέμου. Έχει παρατηρηθεί μεγάλη επένδυση σε παράκτιες ανεμογεννήτριες και αυτή η τάση είναι πιθανό να συνεχιστεί λόγω διαφόρων παραγόντων, όπως η μειωμένη οπτική επίδραση, η μείωση των αναταράξεων του ανέμου, το χαμηλότερο ύψος των πύργων και ότι η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι υψηλότερη. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές προκλήσεις που συνδέονται με αυτά. Οι προκλήσεις προκύπτουν λόγω της ενοποίησης της Α/Γ με τα δίκτυα διανομής. Οι κακές καιρικές συνθήκες περιορίζουν την πρόσβασή τους. Επίσης, το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα διπλασιάζεται περίπου στην περίπτωση υπεράκτιων συστημάτων Α/Γ σε σύγκριση με τις χερσαίες Α/Γ, ακόμη και τα σταθερά προφίλ ανέμου δεν μπορούν να αντισταθμίσουν το υψηλό αρχικό κόστος, τα ακριβά υποθαλάσσια καλώδια και το υψηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Μια πρόσφατα αναδυόμενη κατηγορία εμπορικών υπεράκτιων ανεμογεννητριών που βρίσκεται ακόμα υπό έρευνα και ανάπτυξη είναι πλωτές ανεμογεννήτριες και μια τέτοια εγκαταστάθηκε για πρώτη φορά το 2009, στα ανοιχτά της Νορβηγίας. Τοποθετείται σε πλωτό πλαίσιο τοποθετημένο σε βάθη νερού όπου η σταθερή κατασκευή δεν είναι πρακτική. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θαλάσσιες περιοχές, ειδικά όπου το βάθος του νερού είναι μικρό. Έχουν τα πλεονεκτήματα της προσφοράς καλύτερων καταλυμάτων για ψάρεμα, της αύξησης της διαθέσιμης περιοχής για ναυτιλιακές λωρίδες και έχουν πρόσβαση σε σταθερούς και ισχυρούς ανέμους. Η πρώτη εμπορική ανεμογεννήτρια ισχύος 2,3 MW με το όνομα Hywind εγκαταστάθηκε στη

Νορβηγία από τη Siemens και τη Statoil. Εγκαταστάθηκε σε δοκιμαστική βάση για να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα καθώς και άλλα τεχνικά ζητήματα. Αργότερα, ανέφεραν ότι η πλωτή υποδομή δεν είχε κανένα μειονέκτημα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανέφερε ότι η μεγαλύτερη χωρητικότητα πλωτών ανεμογεννητριών βρίσκεται στην Ευρώπη, δηλαδή το 70% της παγκόσμιας συνολικής. Μέχρι το 2040 θα συνεισφέρει στο 24% της συνολικής ζήτησης ενέργειας με αναμενόμενη συνολική ισχύ 350 GW.

2.2.1 Το φυσικό μοντέλο αξιοποίησης της Αιολικής Ενέργειας

Η μεταβολή της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου πάνω από το επίπεδο του εδάφους είναι απαραίτητη για τη μετατροπή ενέργειας. Μια ανεμογεννήτρια λαμβάνει την ισχύ της από τη ροή του ανέμου που προκαλεί την ανάπτυξη μιας δύναμης στροφής του ρότορα. Η αιολική ενέργεια μπορεί να εξαχθεί από τον άνεμο χρησιμοποιώντας αεροδυναμικές δυνάμεις όπως δυνάμεις άνωσης (Lift Force) και οπισθέλκουσας (Drag Force).

Δύναμη άνωσης (Lift Force): Δρα κάθετα προς την κατεύθυνση της ροής του ανέμου και διαμορφώνεται λόγω της άνισης κατανομής της πίεσης στην επιφάνεια του προφίλ της πτερύγωσης. Οι συσκευές που κινούνται με ανύψωση πρέπει να σχεδιάζονται και να είναι πιο αποτελεσματικές από τις συσκευές που κινούνται με αντίσταση. Τα πτερύγια της Α/Γ παράγουν διαφορά πίεσης στην επάνω και την κάτω επιφάνεια του πτερυγίου, η οποία είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δύναμης άνωσης.

Δύναμη οπισθέλκουσας (Drag Force): Λειτουργεί παράλληλα με την κατεύθυνση της ροής του ανέμου. Ο ρότορας Savonius είναι ένας από τους τύπους ανεμογεννητριών που χρησιμοποίησαν την οπισθέλκουσα για να περιστρέψουν τον ρότορα της Α/Γ και έτσι να παράξουν ισχύ. Είναι απλό να κατασκευαστεί σε οποιοδήποτε απλό εργαστήριο. Στον ρότορα τύπου Savonius, η δύναμη οπισθέλκουσας είναι μεγαλύτερη στο κυρτό ή ανοιχτό σχήμα του κυλίνδρου από την κοίλη επιφάνεια. Η θεωρητική ισχύς που διατίθεται από τον άνεμο μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως εξής:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.2)$$

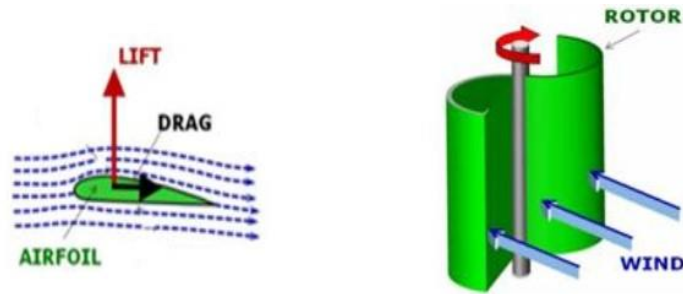
όπου:

P : Διαθέσιμη Ισχύς του Ανέμου [W]

ρ : Πυκνότητα Αέρα [$\frac{kg}{m^3}$]

A : Περιοχή Σάρωσης Ρότορα [m^2]

V : Η ταχύτητα του ανέμου [$\frac{m}{s}$]



Σχήμα 26: Προφίλ πτερυγίου ανεμογεννητριών με βάση τη Δύναμη ανύψωσης και Έλξης. Πηγή: Boston University Mechanical Engineering Department. Wind Turbines, 2010

Περιοχή σάρωσης ρότορα (Rotor Swept Area): Είναι η περιοχή που δημιουργείται όταν τα πτερύγια της Α/Γ περιστρέφονται. Καθορίζεται από το μήκος του πτερυγίου της Α/Γ. Επιπλέον, αυξάνεται με την αύξηση του μήκους του πτερυγίου. Όσο η διάμετρος του ρότορα αυξάνεται, τόσο μεγαλύτερη γίνεται και η ισχύς εξόδου της Α/Γ. Η περιοχή σάρωσης του ρότορα εκφράζεται μαθηματικά:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.3)$$

όπου:

A : Περιοχή Σάρωσης Ρότορα [m^2]

D : Διάμετρος Ρότορα [m]

Η περιοχή σάρωσης του ρότορα της ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα μπορεί να προσεγγιστεί:

$$A = \frac{2}{3} w_r h_r \quad (2.4)$$

όπου:

w_r : Πλάτος Ρότορα [m]

h_r : Ύψος Ρότορα [m]

Πυκνότητα αέρα: Όσο μεγαλύτερη πυκνότητα έχει ο αέρας τόσο περισσότερη ενέργεια αξιοποιείται από την Α/Γ. Η πυκνότητα είναι μάζα ανά όγκο και η κινητική ενέργεια είναι συνάρτηση των δύο παραμέτρων ροής αέρα. Επηρεάζεται επίσης από τη διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα και της πίεσης της τοποθεσίας:

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (2.5)$$

όπου:

ρ : Πυκνότητα Ροής Αέρα [$\frac{kg}{m^3}$]

P : Πίεση Αέρα [Pascal]

R : Σταθερά Αερίων $\left[287 \frac{J}{kg K}\right]$

T : Απόλυτη Θερμοκρασία Αέρα [K]

Αλλά η θερμοκρασία του αέρα καθώς και η υγρασία του αέρα δεν είναι καθόλου ελεγχόμενοι παράγοντες. Το μέγεθος της πυκνότητας του αέρα στο επίπεδο της θάλασσας είναι $1,25 \frac{kg}{m^3}$. Έχοντας αυτό ως σημείο αναφοράς, η πυκνότητα του αέρα διορθώνεται για τη συγκεκριμένη τοποθεσία και φυσικά η πίεση και η θερμοκρασία ποικίλλουν ανάλογα με το υψόμετρο. Έτσι, η συνδυασμένη επίδραση αυτών των παραμέτρων εκφράζεται με τον ακόλουθο τύπο και ισχύει μέχρι 6000m υψόμετρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας:

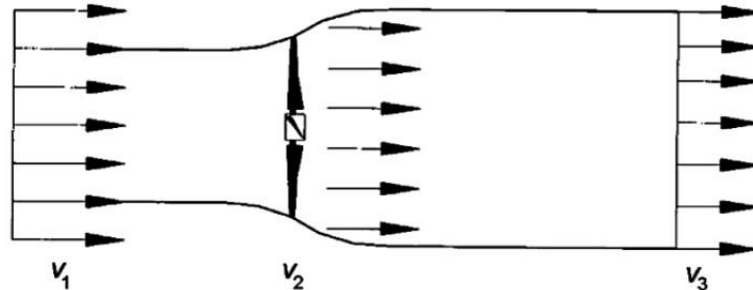
$$\rho = \rho_0 - 1,194 \times 10^{-4} H_m \quad (2.6)$$

όπου:

H_m : Ύψος Τοποθέτησης [m]

ρ_0 : Πυκνότητα Αέρα στο ύψος της θάλασσας $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Ταχύτητα ανέμου: Είναι η πιο κρίσιμη μεταβλητή από τις δύο παραμέτρους που περιγράφονται παραπάνω για τον προσδιορισμό της ισχύος εξόδου της μηχανής μετατροπής αιολικής ενέργειας. Η ροή του ανέμου ποικίλλει πριν και αφού χτυπήσει στον ρότορα της Α/Γ. Η ταχύτητα του ανέμου πέφτει καθώς περνάει από το ρότορα, ενώ η πίεση του ανέμου αυξάνεται ανάντη της Α/Γ και πέφτει κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση μετά την Α/Γ. Η αύξηση της πίεσης στην επιφάνεια του ρότορα οφείλεται στο μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται σε δυναμική ενέργεια:



Σχήμα 27: Ροή αέρα ανέμου κατά μήκος του ρότορα. Πηγή: Πηγή: R. P. Mukund και B. Omid, Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis & Operation, CRC, 2021

Το δυναμικό της πυκνότητας ισχύος ή της ειδικής ισχύος για μια συγκεκριμένη τοποθεσία εκφράζεται σε όρους πυκνότητας αέρα και ταχύτητας ανέμου ως εξής:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (2.7)$$

όπου:

$$\frac{P}{A}: \text{Πυκνότητα Ισχύος} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Η πυκνότητα ισχύος, είναι η ισχύς στο ανάντη τμήμα του ρότορα της ανεμογεννήτριας. Ωστόσο, η ισχύς που εξάγεται από το πτερύγιο του ρότορα είναι μικρότερη από την υπολογιζόμενη χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση. Η εξίσωση Betz δείχνει ότι ο ρότορας της ανεμογεννήτριας δεν μπορεί να εξάγει όλη την παρεχόμενη αιολική ενέργεια και ασχολείται με τις ταχύτητες ανέμου των V_1 & V_3 στο ανάντη και κατάντη τμήμα του ρότορα της ανεμογεννήτριας αντίστοιχα. Η ροή του ανέμου μειώνεται στην πλευρά του ρότορα και η μηχανική ισχύς που λαμβάνεται μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά όπως παρακάτω:

$$P_0 = \frac{1}{2} m_a (V_1^3 - V_3^3) \quad (2.8)$$

όπου:

P_0 : Η αποσπώμενη μηχανική ισχύς από την μηχανή της Α/Γ [W]

V_1 : Η ταχύτητα ροής του ανέμου στο πάνω μέρος από τον ρότορα $\left[\frac{m}{s} \right]$

V_3 : Η ταχύτητα ροής του ανέμου στο κάτω μέρος από τον ρότορα $\left[\frac{m}{s} \right]$

m_a : Η ρυθμός ροής της μάζας του αέρα $\left[\frac{kg}{s} \right]$

Ο ρυθμός ροής μάζας αέρα μπορεί να προσδιοριστεί λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις ταχύτητες του ανέμου στο ανάντη τμήμα όσο και στο κατάντη του ρότορα:

$$m_a = \rho A \frac{(V_1 + V_3)}{2} \quad (2.9)$$

Η ισχύς που εξάγεται από την ανεμογεννήτρια δίνεται ως:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A V_2^2 (V_1 - V_3) \quad (2.10)$$

Η μέγιστη ισχύς των ανεμογεννητριών εξάγεται όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι στην επιφάνεια του ρότορα :

$$V_2 = \frac{2}{3} V_1 \quad (2.11)$$

Αυτό δείχνει ότι η ταχύτητα του ανέμου κάτω από την ανεμογεννήτρια είναι:

$$V_3 = \frac{1}{3} V_1 \quad (2.12)$$

όπου:

P_0 : Η αποσπώμενη μηχανική ισχύς από την μηχανή της Α/Γ [W]

V_1 : Η ταχύτητα ροής του ανέμου στην όψη του ρότορα της Α/Γ [$\frac{m}{s}$]

V_3 : Η ταχύτητα ροής του ανέμου στο κάτω μέρος από τον ρότορα πριν την απόσπαση ισχύος [$\frac{m}{s}$]

V_2 : Η ταχύτητα ροής του ανέμου στο πάνω μέρος από τον ρότορα πριν την απόσπαση ισχύος [$\frac{m}{s}$]

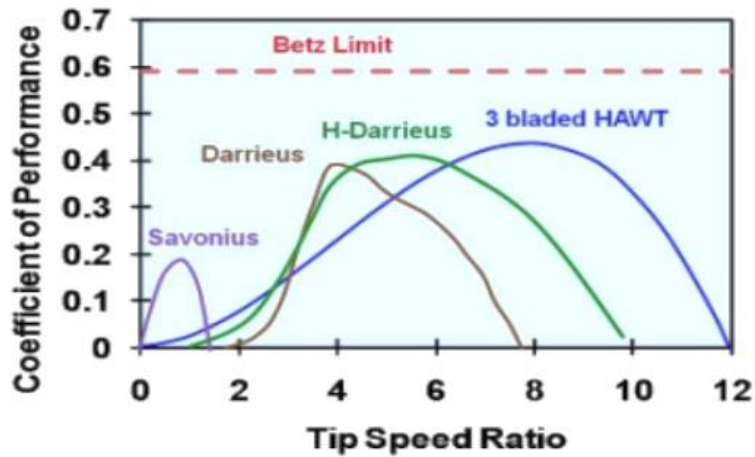
Ο συντελεστής απόδοσης είναι το μέτρο της απόδοσης της ανεμογεννήτριας στην παραγωγή ενέργειας από το ρεύμα ανέμου, ωστόσο το όριο Betz αφορά τις δύο ταχύτητες ανέμου. Το κλάσμα της αιολικής ισχύος που εξάγεται από τον δρομέα ονομάζεται επίσης και συντελεστής πίεσης (pressure coefficient) και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C_p = \frac{\text{Μέγιστη Αποσπώμενη Ισχύς}}{\text{Διαθέσιμη Ισχύς Ανέμου}} = \frac{\rho A V_1^3 \left(\frac{8}{27}\right)}{\frac{1}{2} \rho A V_1^3} = \frac{16}{27} \quad (2.13)$$

όπου:

C_p : Συντελεστής πίεσης

Η απόδοση του ρότορα έχει μια θεωρητική μέγιστη τιμή 0,593, και ονομάζεται όριο Betz. Σε πραγματικές περιπτώσεις λόγω απώλειας, η μέγιστη τιμή είναι 0,4 και 0,5 για Α/Γ δύο πτερυγίων και μεταξύ 0,2 και 0,4 για Α/Γ με περισσότερα πτερύγια καθώς και Α/Γ χαμηλών ταχυτήτων.



Σχήμα 28: Συντελεστής ισχύος έναντι αναλογίας ταχύτητας στα άκρα της Α/Γ για διάφορα είδη Α/Γ. Πηγή: M. Sathyajith, *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Springer, 2006.

Λόγω μηχανικών απωλειών, απωλειών μετάδοσης και ηλεκτρικών απωλειών, η ισχύς που παράγεται από την ηλεκτρική γεννήτρια είναι μικρότερη από την ισχύ που εξάγεται από τα πτερύγια της Α/Γ. Η διαθέσιμη μηχανική ισχύς για τη μηχανή λαμβάνεται με πολλαπλασιασμό με την απόδοση του συστήματος μετάδοσης κίνησης (κιβώτιο ταχυτήτων).

$$P_m = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p \eta_m \quad (2.14)$$

Η ηλεκτρική ισχύς της ανεμογεννήτριας εκφράζεται μαθηματικά ως:

$$P_{el} = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p \eta_g \eta_m \quad (2.15)$$

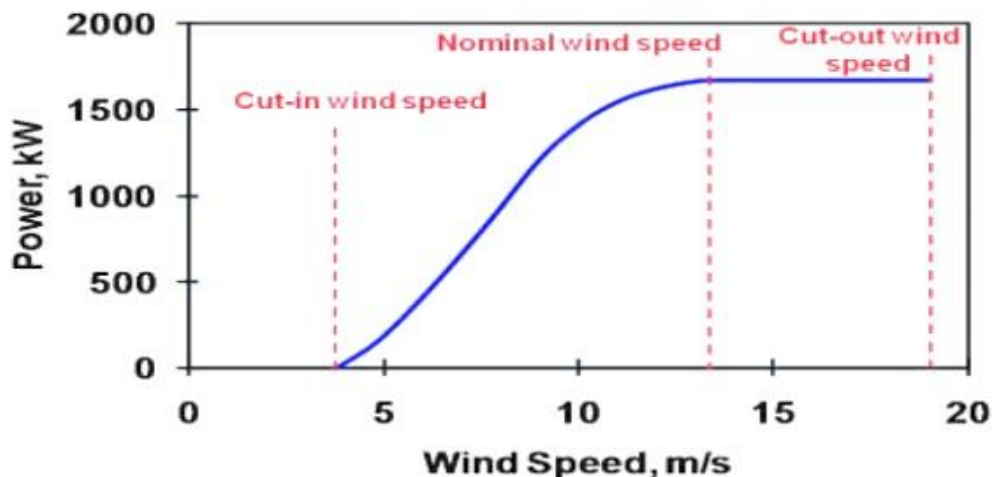
όπου:

P_{el} : Ηλεκτρική Ισχύς Ανεμογεννήτριας [kW]

P_m : Μηχανική Ισχύς Ανεμογεννήτριας [kW]

η_m : Ο βαθμός μετάδοσης του κιβωτίου ταχυτήτων [%]

η_g : Η απόδοση της ηλεκτρικής γεννήτριας [%]



Σχήμα 29: Χαρακτηριστική Καμπύλη μίας Τυπικής Α/Γ. Πηγή: : Boston University Mechanical Engineering Department. Wind Turbines, 2010

Στην καμπύλη χαρακτηριστικών οποιασδήποτε ανεμογεννήτριας υπάρχουν τρεις κύριες παράμετροι ταχύτητας ανέμου:

- **Ταχύτητα έναρξης (Cut-in Wind Speed):** Οι Α/Γ αρχίζουν να παράγουν ισχύ με ταχύτητες ανέμου μεταξύ 3-5 m/s. Αυτή η ταχύτητα ανέμου ονομάζεται ταχύτητα έναρξης της Α/Γ . Οι αιολικές μηχανές δεν θα παράγουν περισσότερη ισχύ κάτω από αυτή την ταχύτητα ανέμου.
- **Ταχύτητα αποκοπής (Cut-in Wind Speed):** Είναι η υψηλότερη ταχύτητα ανέμου στην οποία οι ανεμογεννήτριες πάυουν να παράγουν ισχύ και θα πρέπει να σταματήσουν για να προστατευτούν από ζημιές. Για τις περισσότερες Α/Γ η ταχύτητα αποκοπής είναι 25 m/s. Ονομαστική ταχύτητα ανέμου: Η ταχύτητα ανέμου με την οποία προκύπτει η μέγιστη ισχύς. Αυτή η ταχύτητα ανέμου είναι η πιο σημαντική που καθορίζει την καμπύλη ισχύος. Πέρα από αυτή την ταχύτητα ανέμου, είναι δυνατή η παραγωγή υψηλότερης ισχύος με ειδικό έλεγχο της ισχύος εξόδου για μείωση της πίεσης του πτερυγίου του ρότορα. Οι καμπύλες ισχύος που έχουν χαμηλότερη ονομαστική ταχύτητα παράγουν περισσότερη ενέργεια επειδή θα παράγουν περισσότερη ενέργεια μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου και της ονομαστικής ταχύτητας ανέμου. Για τις περισσότερες Α/Γ η ονομαστική ταχύτητα ανέμου είναι μεταξύ 11.5 και 15 m/s .
- **Ταχύτητα “επιβίωσης” (Survival Speed):** Οποιοδήποτε Α/Γ δεν μπορεί να αντέξει ταχύτητα ανέμου πέρα από την ταχύτητα αποκοπής. Στην πραγματικότητα δεν είναι μέρος της καμπύλης ισχύος, αλλά είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η ταχύτητα “επιβίωσης” μιας Α/Γ. Το εύρος της στις περισσότερες περιπτώσεις είναι μεταξύ 50 και 60 m/s .

2.2.2 Παράκτιες Ανεμογεννήτριες (Offshore Wind Turbines)

Η αξιοποίηση του παράκτιου ανέμου είναι επί του παρόντος πιο ακριβή από αυτή της αξιοποίησης στην ξηρά, λόγω της δυσκολίας εγκατάστασης και συντήρησης μηχανών στην ανοικτή θάλασσα και της ανάγκης να υπάρχουν ακριβές υποθαλάσσιες συνδέσεις με το δίκτυο πίσω στην ακτή, με αρχικές τιμές που κυμαίνονται έως και 180 €/MWh και άνω. Ωστόσο, το κόστος έχει μειωθεί δραματικά. Για παράδειγμα, στο Ηνωμένο Βασίλειο, στη δημοπρασία CfD του 2017, δύο παράκτια αιολικά πάρκα πήραν συμβόλαια 69 €/MWh, πτώση 50% από τον προηγούμενο γύρο CfD το 2015. Τέτοιες μειώσεις τιμών είχαν ήδη πραγματοποιηθεί κι αλλού. Για παράδειγμα, ένα παράκτιο αιολικό πάρκο της Δανίας είχε συμβόλαιο προμήθειας κάτω από 53€/MWh ή περίπου 66€/MWh, συμπεριλαμβανομένου του κόστους σύνδεσης στο δίκτυο. Συνολικά, υποστηρίζεται ότι, στην ΕΕ, το κόστος παραγωγής παράκτιων αιολικών πηγών έχει μειωθεί κατά 45% από το 2013, ενώ αναμένεται περαιτέρω μείωση.

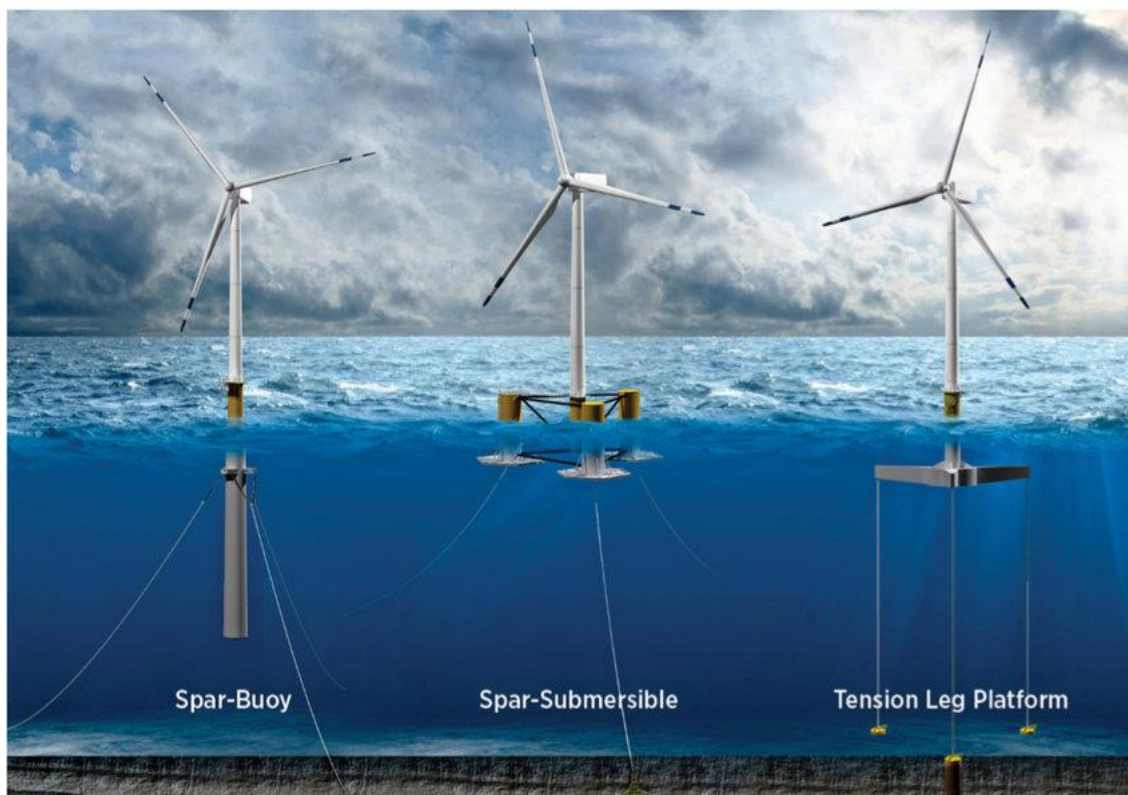
Η προσέλευση ενδιαφέροντος για την ανάπτυξη των παράκτιων αιολικών πάρκων πρέπει να περιλαμβάνει και την μην ύπαρξη εκδήλωσης έκφρασης αντιθέσεων από τους κατοίκους των αντίστοιχων περιοχών. Εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι ταχύτητες των παράκτιων ανέμων είναι υψηλότερες και πιο αξιόπιστες αφού δεν υπάρχουν τοπογραφικές αλληλεπιδράσεις. Επίσης ο παράκτιος χώρος είναι πολύ μεγάλος και λιγότερο περιορισμένος. Για παράδειγμα, ο παράκτιος χώρος του Ηνωμένου Βασιλείου έχει εκτιμηθεί ως υπεραρκετός θεωρητικά για να καλύψει όλες τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας του Ηνωμένου Βασιλείου, ενώ αφήνει πολλά περιθώρια για εξαγωγή, αν και προς το παρόν είναι περίπου 20%– Η συνεισφορά του 30% φαίνεται πιο πιθανή.

Μέχρι τα τέλη του 2018, υπήρχαν περίπου 19 GW εγκατεστημένα παράκτια αιολικά πάρκα παγκοσμίως, με το μεγαλύτερο μερίδιο να ανήκει στο Ηνωμένο Βασίλειο με συνολική ισχύ 7,6 GW. Τα παράκτια αιολικά πάρκα αναμένεται να μειώσουν περαιτέρω και το κόστος εγκατάστασης. Πιο δραματικά φαίνεται να είναι τα διάφορα σχέδια για τις πλωτές συσκευές. Το ενδιαφέρον με τα πλωτά συστήματα είναι ότι αποφεύγεται να χτιστούν ακριβά θεμέλια ή να τρυπηθεί ο βυθός της θάλασσας ώστε να τοποθετηθούν πάσσαλοι στήριξης. Οι πλωτές συσκευές μπορούν να ρυμουλκηθούν στη θάλασσα και να αναπτυχθούν εύκολα, χωρίς την ανάγκη πλωτών γερανών για την ανέγερση Α/Γ και μπορούν να τοποθετηθούν ανεξάρτητα από το βάθος. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοποθεσίες με βαθιά ύδατα όπου θα ήταν αδύνατη ή απαγορευτικά δαπανηρή η εγκατάσταση συμβατικών συσκευών που στερεώνονται στον βυθό της θάλασσας.

Εξακολουθούν να έχουν στηρίγματα αγκύρωσης στον βυθό της θάλασσας, μερικές φορές χρησιμοποιώντας πρόσδεση των ποδιών στον πυθμένα, μια προσέγγιση δανεισμένη από την παράκτια βιομηχανία πετρελαίου. Παραδείγματα αυτού του τύπου περιλαμβάνουν τη συσκευή Dutch Blue H και το Windfloat της Πορτογαλίας. Ορισμένες πλωτές συσκευές, όπως το γαλλικό Floatgen, έχουν Α/Γ τοποθετημένες σε πλήρους πλωτούς πλωτήρες τύπου φορτηγίδας ή μεγάλες μερικώς βυθισμένες σηματοδούρες, δεμένες στον βυθό της θάλασσας, με τις σηματοδούρες Spar Buoy να μοιάζουν με πλωτήρα ψαράδων. Η Νορβηγία ηγήθηκε του

πεδίου με την κεκλιμένη σηματοδότηση Sway Spar και επίσης το έργο Hywind. Πέντε Α/Γ Hywind των 6 MW εγκαθίστανται 25 km από τις ακτές της Σκωτίας, σε ένα δοκιμαστικό έργο 30 MW. Υπάρχει επίσης ένα ξεχωριστό έργο με μια ημι-υποβρύχια πλωτή εξέδρα Hexicon στα ανοικτά του Dounreay, σχεδιασμένη για δύο αιολικές μηχανές. Όπως σημειώθηκε αργότερα, η Ιαπωνία δοκιμάζει επίσης πλωτά αιολικά συστήματα.

Όλες οι πλωτές συσκευές που αναφέρθηκαν μέχρι στιγμής χρησιμοποιούν συμβατικές Α/Γ τύπου έλικα οριζόντιου άξονα, αλλά έχουν προκύψει σχέδια κάθετου άξονα, συμπεριλαμβανομένου του φιλόδοξου σχεδίου «Aerogenerator X» σχήματος V του Ηνωμένου Βασιλείου του γαλλικού σχήματος Η Το Vertiwind και το σχέδιο Dargius σε σχήμα «αυγοκτύπη» Deep Wind της EU/RISO. Μερικές από αυτές τις νέες ιδέες δεν θα τα καταφέρουν ή θα έχουν προβλήματα. Για παράδειγμα, ένα δοκιμαστικό μοντέλο Sway σε κλίμακα 1:6 βυθίστηκε σε κακές καιρικές συνθήκες στα ανοικτά της Νορβηγίας το 2011, ενώ η πρόοδος στη διαμόρφωση Aerogenerator X ήταν αρκετά αργή και η εταιρεία Vertiwind κατέρρευσε το 2018. Ωστόσο, ορισμένοι ελπίζουμε να τα καταφέρουν. Τα πλωτά συστήματα φαίνεται να είναι ο δρόμος προς τα εμπρός, δεδομένου ότι λίγες χώρες έχουν το πλεονέκτημα που απολαμβάνει το Ηνωμένο Βασίλειο να έχει σχετικά ρηγά νερά κοντά στην ακτή (συχνά βάθος κάτω από 20 μέτρα), όπου μπορούν να δοκιμαστούν σταθερά έργα στον βυθό της θάλασσας. Για να ευημερήσουν οι παράκτιες Α/Γ θα πρέπει να μεταφερθούν πιο έξω και σε βαθύτερα νερά, όπως κάνουν τώρα κάποιες άλλες χώρες. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει επιπλέον κόστος για μακρύτερα υποθαλάσσια καλώδια για την διασύνδεση ισχύος πίσω στην ακτή, με αυτή την στιγμή να είναι διαθέσιμα καλώδια εξαγωγής υψηλής τάσης δυναμικού DC που είναι πιο αποτελεσματικά και πιο αξιόπιστα για παράκτια αιολική ενέργεια με μεγαλύτερες συνθήκες αποθήκευσης ισχύος. Είναι σαφές ότι υπάρχει μεγάλη δραστηριότητα σε αυτόν τον τομέα με μεγάλη ποικιλία σχεδίων υπό δοκιμή. Το Bloomberg New Energy Finance έχει προτείνει ότι η παγκόσμια αγορά για τα παράκτια αιολικά θα φτάσει σχεδόν τα 115 GW έως το 2030 με τη Γερμανία να τα πηγαίνει ήδη καλά και τις ΗΠΑ να ενισχύονται σύντομα.



Σχήμα 30: Είδη υποστήριξης πλωτών υπεράκτιων ανεμογεννητριών. Πηγή: International Renewable Energy Agency [IRENA], 2016

Αν και το Ηνωμένο Βασίλειο ηγήθηκε, και η Κίνα μπορεί να το κάνει σύντομα, η Ιαπωνία είναι επίσης πρόθυμη να προχωρήσει με παράκτια αιολικά έργα, καθώς προσπαθεί να απομακρυνθεί από την εξάρτηση από την πυρηνική ενέργεια, μετά το πυρηνικό ατύχημα της Φουκουσίμα το 2011. Τα παράκτια έργα έχουν πολύ νόημα σε πολυσύχναστα μέρη όπου η γη είναι σπάνια. Το 2013, εγκαταστάθηκε μια πλωτή ανεμογεννήτρια ισχύος 2 MW 16 km μακριά από την ακτή της Φουκουσίμα, με δύο Α/Γ των 7 MW να δημιουργούνται στη συνέχεια. Συνολικά έχουν εγκατασταθεί μέχρι στιγμής περίπου 40 MW παράκτιων έργων, με πολύ περισσότερα προγραμματισμένα. Οι πιθανές παράκτιες εγκαταστάσεις στη Ιαπωνία είναι ίσως 100 GW.

Η Κίνα έχει σαφώς μεγάλες φιλοδοξίες για την παράκτια αιολική ενέργεια, η οποία αναμένεται να διαδραματίσει αυξανόμενο ρόλο στο τεράστιο αιολικό της πρόγραμμα. Ο Οδικός Χάρτης Ανάπτυξης Αιολικής Ενέργειας της Κίνας έως το 2050 έθεσε στόχο 200 GW εγκατεστημένης ισχύος έως το 2020, 400 GW έως το 2030 και 1000 GW έως το 2050. Μέχρι και πριν το 2020 έδινε προτεραιότητα στα χερσαία αιολικά πάρκα, ενώ πειραματίζονταν με πιλοτικά έργα κοντά στην Ξηρά. Αλλά από το 2020, η χερσαία και η υπεράκτια αιολική ενέργεια έχουν κεντρίσει την ίδια προσοχή, με πιλοτικά έργα μακριά από τη θάλασσα, έως το 2030, και στη συνέχεια περισσότερα κι από τα δύο.

Οι ΗΠΑ έχουν επίσης ένα μεγάλο επίγειο πρόγραμμα αιολικής ενέργειας (πάνω από 90 GW μέχρι στιγμής), αλλά ήταν πιο αργό να ξεκινήσει η παράκτια αιολική

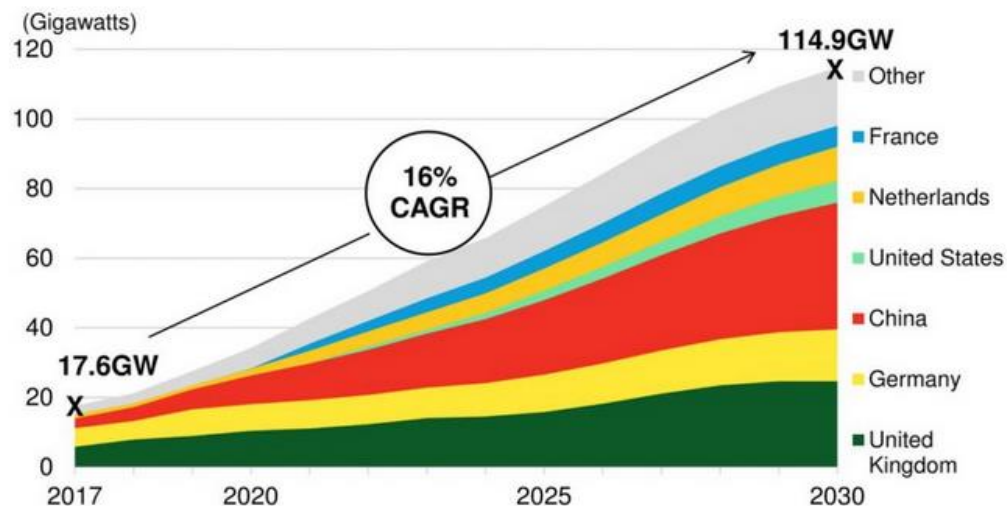
ενέργεια, αν και ένα έργο εκτελείται και πολλά άλλα προτείνονται, με περίπου 25 GW στην αναμονή και σχεδόν 2 GW αναμένεται να είναι σε ισχύ έως το 2023. Μέχρι στιγμής, οι περισσότερες από τις προτάσεις έργων αφορούσαν την ανατολική ακτή, αλλά μερικές τώρα εμφανίζονται και για τη δυτική.

Αν και ορισμένα παράκτια έργα μπορούν να είναι ορατά από την ακτή, καθώς τα έργα μετακινούνται πιο έξω στη θάλασσα, 50-100km ή περισσότερο, στον ορίζοντα, αποφεύγουν τα προβλήματα οπτικής διείσδυσης που σχετίζονται με τον χειρσαίο άνεμο. Ίσως δεν αποτελεί έκπληξη λοιπόν ότι η παράκτια αιολική ενέργεια είναι δημοφιλής στο κοινό. Σε δημοσκόπηση της κυβέρνησης του Ηνωμένου Βασιλείου το 2012, το 76% του δείγματος υποστήριξε την παράκτια αιολική ενέργεια, αυξάνοντας στο 83% σε δημοσκόπηση του 2018.

Ωστόσο, η οποιαδήποτε κατασκευή στη θάλασσα μπορεί να έχει επιπτώσεις και τα παράκτια αιολικά έργα πρέπει να αξιολογηθούν προσεκτικά. Ωστόσο, οι αρχικές μελέτες δεν βρήκαν σημαντικά περιβαλλοντικά ζητήματα. Στα θεμέλια των κατασκευών φαίνεται να προσαρμόζονται νέα είδη ενώ τα θαλάσσια θηλαστικά παραμένουν καθαρά, όπως και τα πουλιά και τα ψάρια. Οι μεταγενέστερες εργασίες επιβεβαίωσαν επίσης ότι οι νέες υπεράκτιες δομές μπορούν να δημιουργήσουν νέα περιβάλλοντα ενσωμάτωσης για ορισμένα είδη και, παρόλο που η προσεκτική καθοδήγηση και αξιολόγηση συνεχίζεται, μέχρι στιγμής οι επιπτώσεις φαίνονται ως επί το πλείστον χωρίς προβλήματα ή ακόμη και θετικές. Η μελέτη αποφυγής σύγκρουσης πουλιών του Κοινοτικού Προγράμματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας του Ηνωμένου Βασιλείου, η μεγαλύτερη μέχρι στιγμής, διαπίστωσε ότι τα παράκτια αιολικά πάρκα ήταν πολύ λιγότερο επιβλαβή για τα πουλιά από ό,τι πιστεύαμε αρχικά: τα θαλάσσια πτηνά επέδειξαν συμπεριφορά αποφυγής και άλλαξαν τη διαδρομή πτήσης τους για να αποφύγουν τις Α/Γ. Η μελέτη χρησιμοποίησε ραντάρ και βίντεο για την παρακολούθηση θαλάσσιων πτηνών που πετούσαν κοντά στο υπεράκτιο αιολικό πάρκο Thanet του Vattenfall στη Μάγχη για μια περίοδο 2 ετών. Διαπιστώθηκε ότι τα πουλιά που ήταν παρόντα κοντά στις Α/Γ αποτελούσαν μόλις το 2% των 600.000 βίντεο που τραβήχτηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου και καταγράφηκαν μόνο έξι συγκρούσεις, κατά μέσο όρο μία κάθε τέσσερις μήνες, κάτω από το ήμισυ του αναμενόμενου ρυθμού.

Μπορεί φυσικά να υπάρχουν αυξημένοι λειτουργικοί κίνδυνοι που αντιμετωπίζουν τα παράκτια αιολικά πάρκα, οι εργαζόμενοι και πληρώματα συντήρησης, με θέματα πλοήγησης και κινδύνους συγκρούσεων θαλάσσιας κυκλοφορίας. Ωστόσο, τα drones χρησιμοποιούνται για ορισμένα καθήκοντα επιθεώρησης και τα παράκτια αιολικά πάρκα ενέργειας, με προειδοποιητικά φώτα και ραδιοφωνικούς αναμεταδότες εγκατεστημένους, μπορούν πραγματικά να συμβάλουν στη μείωση των κινδύνων πλοήγησης επισημαίνοντας ασφαλείς θαλάσσιες λωρίδες, και καθιστώντας μια σύγχρονη παραλλαγή των γνωστών σε όλους φάρους. Έχει επίσης υποστηριχθεί ότι τα μεγάλα αιολικά πάρκα μπορεί να λειτουργήσουν ακόμη και ως προστατευτικά παράκτιας καταιγίδας. Αφήνοντας στην άκρη πιθανά παράπλευρα οφέλη όπως αυτό, δεδομένων των τεράστιων εκτάσεων και του μειωμένου κόστους, σύμφωνα με τα περισσότερα σενάρια, η παράκτια αιολική ενέργεια θεωρείται ότι συνεχίζει να επεκτείνεται σε όλο τον

κόσμο. Το σενάριο του Διεθνούς Οργανισμού Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για το 2050 έχει πάνω από 520 GW παράκτια αιολικής ενέργειας, περίπου το ίδιο με την τρέχουσα παγκόσμια χερσαία αιολική δυναμικότητα.



Σχήμα 31: Παγκόσμια πρόβλεψη αθροιστικής εγκατάστασης υπεράκτιων Α/Γ. Πηγή: <https://about.bnef.com/blog/global-offshore-wind-market-set-to-grow-sixfold-by-2030/>

2.2.3 Νέες Τεχνολογίες Ανεμογεννητριών (Sky Wind Turbines)

Μηχανισμοί εξισορρόπησης μπορεί να αυξήσουν το κόστος της αιολικής ενέργειας και άλλων μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά συνολικά, η αιολική ενέργεια φαίνεται να έχει καλές προοπτικές, προσφέροντας έναν σημαντικό οικονομικά ανταγωνιστικό πόρο με χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, εάν τοποθετηθεί προσεκτικά.

Μακροπρόθεσμα, εάν οι χερσαίες και (πολύ λιγότερο πιθανές) παράκτιες τοποθεσίες συμφορηθούν, υπάρχει ακόμη και η προοπτική αερομεταφερόμενων αιολικών συσκευών, ίσως υποστηριζόμενων από γιγάντιους δεμένους χαρταετούς ή ιπτάμενα τμήματα αεροτομής, που λειτουργούν σε μεγάλο υψόμετρο. Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος και μια αρκετά προσεκτική μελέτη πρότεινε ότι μπορεί να είναι διαθέσιμα περίπου 7,5 TW, ειδικά εάν ήταν δυνατή η λειτουργία σε ρεύματα αεριωθουμένων πολύ υψηλής ταχύτητας μεγάλου υψομέτρου. Άλλοι έχουν θέσει το συνολικό θεωρητικό πόρο του ανέμου στην ανώτερη ατμόσφαιρα πολύ υψηλότερο, στα γιγάντια 1.400 TW: υπάρχει σίγουρα πολλή ενέργεια εκεί πάνω. Ωστόσο, η εξόρυξη έστω και ενός μικρού τμήματός του θα ήταν πολύ δύσκολη και αν εξαγόταν με κάποιο τρόπο σημαντικές ποσότητες ενέργειας, αυτό θα μπορούσε να έχει μεγάλες περιβαλλοντικές/κλιματικές επιπτώσεις, για παράδειγμα, τα ρεύματα αεριωθουμένων διαμορφώνουν το καιρικό σύστημα. Κανείς δεν το προτείνει ακόμα, αλλά η εξαγωγή ενέργειας από χαμηλότερα προς τα κάτω, σε κανονικές ροές ανέμου μεγάλου υψομέτρου, ίσως έως και μερικές χιλιάδες πόδια, είναι δυνατή και θα εξακολουθούσε να προσφέρει έναν πολύ μεγάλο νέο πόρο, πιθανώς τέσσερις φορές τον επιφανειακό αιολικός πόρος.

Είναι μια ενδιαφέρουσα ιδέα. Σε ένα πρώιμο σχέδιο, όπως προτάθηκε από την SkyWindPower Corporation στις ΗΠΑ, οι ρότορες ενός συστήματος αυτόματου γυροσκοπίου που μοιάζει με drone παρέχουν ανύψωση, υποβοηθούμενοι από μια μικρή αεροτομή. Έχουν επίσης ένα καλωδίου πρόσδεσης με το έδαφος για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, το οποίο πρέπει να είναι αρκετά ισχυρό για να αντιστέκεται στις υψηλές δυνάμεις οπισθέλκουσας. Θα πετούσε περίπου στα 2000 πόδια.

Η κυβέρνηση των ΗΠΑ όπως και αρκετές μεγάλες εταιρείες εξετάζουν σοβαρά τις ιπτάμενες ανεμογεννήτριες. Το 2014 η Google επένδυσε σε ένα σχέδιο αερομεταφερόμενης γεννήτριας ενέργειας που αναπτύχθηκε από την αμερικανική εταιρεία Makani. Η αερομεταφερόμενη ανεμογεννήτρια (AWT) έχει μια πτέρυγα τμήματος αεροτομής δεμένη στο έδαφος, η οποία πετά σε μεγάλο κατακόρυφο κύκλο στους ισχυρότερους ανέμους σε υψόμετρα 800–2.000 ποδιών, με ρότορες που λειτουργούν και ως τουρμπίνες και ως έλικες, όπως με το SkyWind, ενώ οι γεννήτριες θα έστελναν απευθείας την ηλεκτρική ενέργεια κάτω από την πρόσδεσή τους σε έναν επίγειο σταθμό. Η AWT θα μπορούσε να τυλιχτεί μέσα, να «σκαρφλώσει» και στη συνέχεια να ξετυλιχθεί ξανά κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων χαμηλού ανέμου ή κακοκαιρίας ή για συντήρηση (Makani 2017, Felker 2017).

Συστήματα όπως αυτό υποστηρίζεται ότι είναι κατάλληλα για χρήση σε περιοχές λιγότερο ευνοϊκές για τα παραδοσιακά σχέδια που βασίζονται σε πύργους, όπως περιοχές με χαμηλότερη ταχύτητα ανέμου, καθώς και στην ανοικτή θάλασσα, ειδικά σε βαθύτερα νερά - δεν χρειάζονται υποστήριξη στον βυθό της θάλασσας, παρά μόνο ένα αγκυροβολημένο σκάφος ή πλωτή κατασκευή. Θα είναι επίσης, όπως υποστηρίζεται, οικονομικές. Ο Makani αναφέρει ότι δεδομένων των υψηλότερων ταχυτήτων ανέμου σε υψόμετρο, οι AWT θα αποδίδουν περίπου διπλάσια ενέργεια/μονάδα χωρητικότητας από τις συμβατικές Α/Γ (δηλαδή ο συντελεστής φορτίου του θα είναι περίπου 60% αντί για 30%), οπότε θα παράγει ισχύ στο μισό κόστος, και, χωρίς πύργο, θα χρησιμοποιούσε 90% λιγότερο υλικό, μειώνοντας έτσι το κόστος κεφαλαίου.

Μια διαφορετική προσέγγιση αναπτύχθηκε από την αμερικανική-ινδική εταιρεία kymill, με έναν γιγάντιο αυτόματο γυροσκοπικό ρότορα που θεωρείται ότι είναι δεμένος στο έδαφος και λειτουργεί σαν ανεβοκατέβασμα για να περιστρέφει ένα τύμπανο βαρούλκου στο έδαφος, το οποίο θα παράγει ενέργεια. Κάτι παρόμοιο έχει αναπτυχθεί και δοκιμαστεί από την KiteGen στην Ιταλία, με έναν μεγάλο χαρταετό σε σχήμα πετάλου που μοιάζει με ανεμόπτερο που είναι φτιαγμένος για να περιφέρεται σε ένα γιγάντιο κυκλικό μοτίβο, τραβώντας διαφορετικά μια πρόσδεση που συνδέεται με βαρούλκο. ως προς την παραγωγή ενέργειας στο έδαφος (Kitegen 2017). Με λιγότερη μάζα στον ουρανό, αυτός ο τύπος διαμόρφωσης μπορεί να είναι ακόμη πιο οικονομικός από τα συστήματα στροφογεννήτριας που μεταφέρονται στον ουρανό.

Στην πιο πρόσφατη εξέλιξη, η Shell υποστήριξε μια παραλλαγή του Ηνωμένου Βασιλείου που αναπτύχθηκε από την Kite Power Systems (Dutta 2017), στην οποία ένας γιγαντιαίος χαρταετός που μοιάζει με ανεμόπτερο επιτρέπεται να σηκωθεί,

τραβώντας ένα μακρύ δέσιμο που, όπως συμβαίνει με το Skymill και το KiteGen, κολουριάζεται έξω από ένα τύμπανο στο έδαφος που περιστρέφεται, παράγοντας ενέργεια. Στην έκδοση Kite Power, όταν ο χαρταετός φτάσει σε πλήρες υψόμετρο λειτουργίας (ίσως 1000 πόδια περίπου), σταματά και ανασύρεται σε χαμηλό επίπεδο, το σύστημα του βαρούλκου τον τραβάει προς τα κάτω και το χαλαρώνει, έτοιμος για άλλο ένα πέρασμα μέχρι το πλήρες υψόμετρο. Ένας δεύτερος χαρταετός, εν τω μεταξύ, αφήνεται να ανέβει, έτσι ώστε η καθαρή ισχύς να μπορεί να παράγεται συνεχώς από το σύστημα διπλού χαρταετού. Μετά από δοκιμές στη Σκωτία ενός συστήματος 500 kW, υπάρχουν σχέδια για χερσαία και παράκτια συστήματα 3 MW.

Το ενδιαφέρον για αυτού του τύπου σχεδίαση είναι ότι η (βαριά) γεννήτρια βρίσκεται στο έδαφος και, φυσικά, όλα τα σχέδια ιπτάμενου ανέμου παρέχουν πρόσβαση σε υψηλές ταχύτητες ανέμου χωρίς να χρειάζεται το χτίσιμο πύργων. Ένα αποτέλεσμα είναι το χαμηλότερο προβλεπόμενο κόστος και επίσης οι πολύ καλύτερες «επιστροφές ενέργειας από την επενδυμένη ενέργεια» (EOEI), δεδομένου ότι υπάρχουν λιγότερες απαιτήσεις υλικών. Η KiteGen έχει μιλήσει για EROEI ίσως 100:1 και ίσως 300:1 ή περισσότερο, που συγκρίνεται καλά με το 80:1 για τις καλύτερες συμβατικές ανεμογεννήτριες επιφάνειας (KiteGen 2017). Το EROEI για φωτοβολταϊκά ηλιακά είναι έως και 25:1.

Ωστόσο, θα υπάρξουν ζητήματα ασφαλούς πρόσδεσης και απογείωσης. Θα χρειαστεί επίσης να αποφευχθούν οι συγκρούσεις με την εναέρια κυκλοφορία και οι κίνδυνοι σύγκρουσης, αλλά σε ορισμένες απομακρυσμένες τοποθεσίες, ειδικά στις παράκτιες περιοχές, αυτό μπορεί να μην είναι πρόβλημα. Μπορεί με την πρώτη ματιά να φαίνεται απίθανο, αλλά ορισμένοι αρχικοί σκεπτικιστές έχουν μεταστραφεί και έχουν γίνει ενθουσιώδεις. Σίγουρα ο ενεργειακός πόρος σε μεγάλο υψόμετρο είναι πολύ μεγάλος, επομένως δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι μεγάλες εταιρείες ενέργειας όπως η Shell, αλλά και η E.ON, ενδιαφέρονται. Η E.ON αναζητά offshore εφαρμογές.

Οι δυνατότητες για νέες ιδέες δεν σταματούν εκεί. Υπήρξαν σχέδια για αξονικά περιστρεφόμενες συσκευές τύπου μπαλονιού, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν εντός ή ανοικτής θαλάσσης. Σε μια παραλλαγή, ένα μπαλόκι σε σχήμα «ντόνατ» έχει έναν κεντρικό ρότορα αεραγωγού. Φαίνεται κατάλληλο για χρήση σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Σε πολύ μεγαλύτερη κλίμακα υπήρξαν προτάσεις για τεράστιους επίγειους ρότορες κατακόρυφου άξονα τοποθετημένους σε μαγνητικά ρουλεμάν ή τεράστιους κυλινδρικούς πύργους ψύξης, που δημιουργούν εσωτερικές δίνες ανέμου υψηλής ταχύτητας, δηλαδή δημιουργούν τεχνητούς ανεμοστρόβιλους. Μία πράγματι αρκετά γοητευτική ιδέα, είναι μια συσκευή που μοιάζει με καλάμι κάθετου σωλήνα χωρίς πτερύγια που ταλαντώνεται παράγοντας δίνες, που αναπτύχθηκε στην Ισπανία, με τη μικρή ταλαντευόμενη κίνηση να χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας. Σίγουρα δεν είναι φανταστική η ιδέα της χρήσης της αιολικής ενέργειας για την αύξηση της πρόωσης του πλοίου, είτε με τη χρήση χαρταετών για την παροχή ισχύος ρυμούλκησης είτε με την τοποθέτηση γιγάντιων κάθετων κυλινδρικών Flettner rotors στο πλοίο, κάνοντας χρήση του φαινομένου Magnus .

Είναι σαφές ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να έχει μια σειρά από εφαρμογές και πολλές νέες ιδέες έχουν προκύψει τα τελευταία χρόνια. Μερικά είναι αρκετά εξωπραγματικά, όπως η ιδέα της χρήσης πτερυγίων, μίμησης πτηνών ή αεροτομών τύπου φτερού κουκουβάγιας για τη μείωση του αεροδυναμικού θορύβου. Πιο εκκεντρικό είναι ακόμα το σύστημα μικρού ανέμου ενός Γάλλου επιχειρηματία με μικροσκοπικούς ρότορες τοποθετημένους σαν φύλλα σε τεχνητό δέντρο: γοητευτικό αλλά ίσως όχι πολύ αποτελεσματικό. Ακόμη πιο ακραία είναι η ιδέα της δημιουργίας φορτίου από την κίνηση κυματισμού που προκαλείται από τον αέρα μικροσκοπικών ριβονηλεκτρικών πλαστικών λωρίδων που μοιάζουν με γρασίδι στις οροφές. Μερικές μάλλον πιο συμβατικές ιδέες μπορεί να ανοίξουν νέες προσεγγίσεις μηχανικής ενέργειας, όπως η χρήση μεταφοράς υδραυλικής ισχύος από μια σειρά υπεράκτιων Α/Γ σε μια ενιαία κεντρική γεννήτρια ισχύος. Κινούμενα, αναδιπλούμενα πτερύγια μεταβλητής γεωμετρίας τμηματοποιημένης ανοδικής κλίμακας έχουν επίσης προταθεί για πολύ μεγάλα παράκτια μηχανήματα (έως 50 MW), ώστε να μπορούν να στοιβάζονται με ασφάλεια (με κλειστό τρόπο σαν πέταλο) κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Η τμηματοποίηση θα διευκόλυε επίσης την κατασκευή μεγάλων πτερυγίων έως 200 m.

Ενώ ορισμένες από τις πολύ εξωτικές συσκευές φαίνονται απίθανο να είναι βιώσιμες τεχνικά ή οικονομικά, οι νέες ιδέες μπορεί ακόμη να προσφέρουν νέες δυνατότητες και νέες εφαρμογές. Μία νέα αξιόλογη εφαρμογή, είναι η ιδέα της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τον άνεμο για την παραγωγή λιπασμάτων με εξαγωγή αζώτου από τον αέρα, χρησιμοποιώντας τη διαδικασία τόξου πλάσματος Birkeland-Eyde. Αρχικά θεωρήθηκε ότι χρησιμοποιεί την πλεονάζουσα αιολική ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο, αλλά θα μπορούσε επίσης να εξαπλωθεί εκτός δικτύου, σε τοπικά κέντρα σε αγροτικές περιοχές σε όλο τον κόσμο, για να καλύψει τις ανάγκες των τοπικών αγροκτημάτων: μια νέα επιλογή «power to food».

Η αιολική τεχνολογία είναι ένας συναρπαστικός τομέας καινοτομίας. Σίγουρα η αιολική ενέργεια έχει ένα λαμπρό μέλλον, ακόμη και βραχυπρόθεσμα, με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Αιολικής Ενέργειας να προτείνει ότι ενδέχεται να υπάρχουν πάνω από 800 GW αιολικής ισχύος μέχρι το 2022, ενώ ο ΔΟΕ την τοποθετεί στα 839 GW έως το 2023, με την υπεράκτια αιολική να αντιπροσωπεύει το 10% της αύξησης. Μακροπρόθεσμα, εάν οι ιπτάμενες συσκευές είναι επιτυχημένες, μπορεί να μην είναι λανθασμένη η προοπτική ανεξάντλητης αξιοποίησης ενέργειας από τον ουρανό.



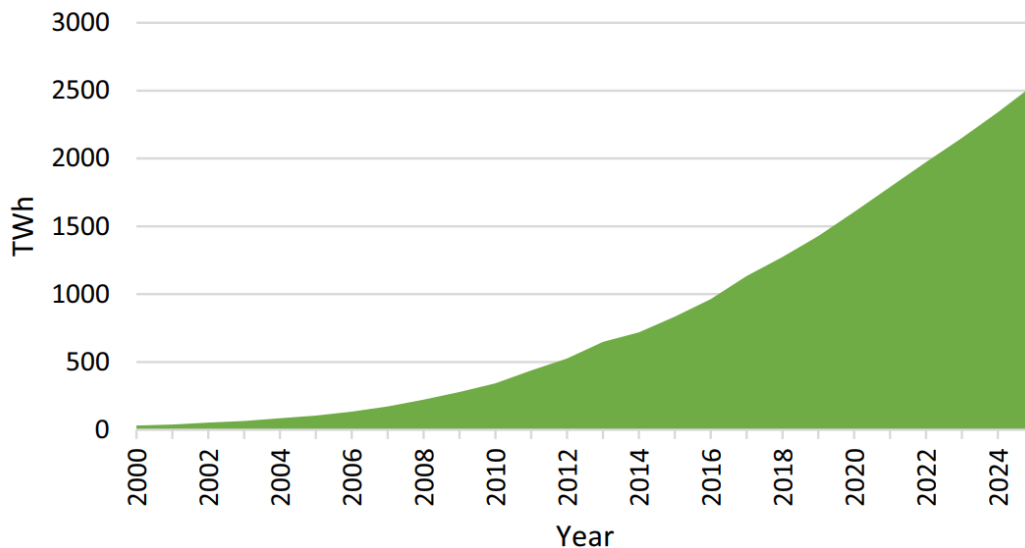
Σχήμα 32: Αερομεταφερόμενη ανεμογεννήτρια της Altaeros Energies. Πηγή: <https://scitechdaily.com/high-altitude-blimp-wind-turbine-will-harness-stronger-winds/>

2.2.4 Η προοπτική της Αιολικής Ενέργειας στην Παγκόσμια Οικονομία

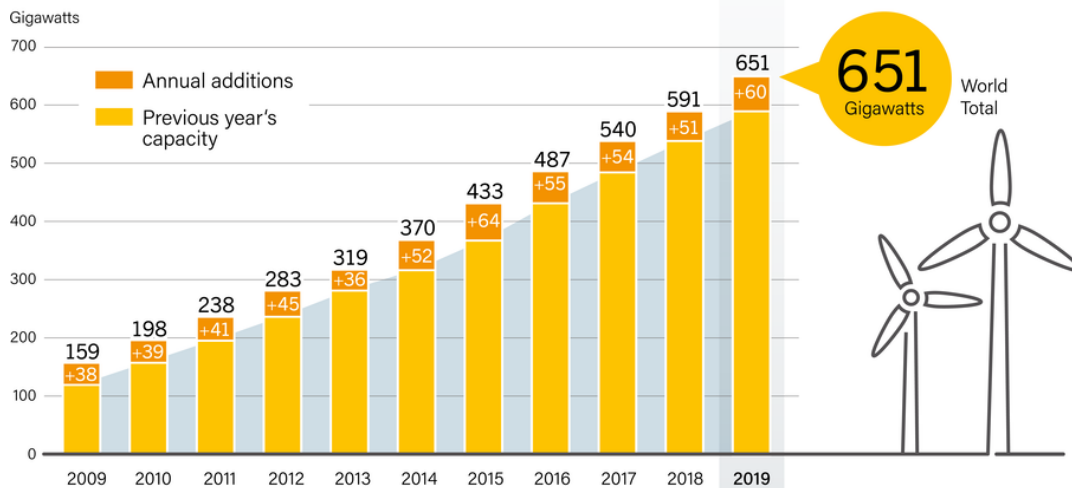
Το μέλλον της αιολικής ενέργειας είναι πολύ λαμπρό, αυτό οφείλεται κυρίως στη μείωση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, στο τεράστιο κόστος που σχετίζεται με την εξερεύνηση ορυκτών καυσίμων και στο κλείσιμο σταθμών παραγωγής ενέργειας από άνθρακα λόγω περιβαλλοντικών κινδύνων. Οι αναπτυσσόμενες χώρες μπορούν να αποκομίσουν το μέγιστο όφελος από αυτό, ειδικά όπου η ενεργειακή κατάσταση λόγω φτώχειας αποτελεί μεγάλη πρόκληση. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να είναι οικονομικά βιώσιμες σε αγροτικές περιοχές και σε απομακρυσμένες περιοχές που δεν έχουν πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου. Είναι μια πολύ γρήγορα αναπτυσσόμενη αγορά που ωριμάζει. Οι αναπτυσσόμενες χώρες επένδυσαν πολλά στον άνεμο για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων, αλλά τώρα είναι και οικονομικά δικαιολογημένη. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την αιολική ενέργεια το 2018 ήταν 1.273 TWh και αναμένεται να αυξηθεί σε 14 Συστήματα Μετατροπής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας με προσφερόμενη ενέργεια 2.500 TWh το 2025.

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), η χερσαία αιολική ενέργεια αυξήθηκε κατά 12% το 2019, ενώ η παράκτια αυξήθηκε κατά 20% το 2018, σημειώνοντας μείωση 12% στην ανάπτυξη σε σύγκριση με το 2017 (32%). Η Ευρώπη παρέμεινε η κορυφαία περιοχή όσον αφορά τις τεχνολογικές εξελίξεις, την ταχεία ανάπτυξη και την ανάπτυξη υλοποιήσιμων εφαρμογών. Η χερσαία αιολική τεχνολογία παρέμεινε η μεγαλύτερη δυναμικότητα ανανεώσιμης ενέργειας (μη υδροηλεκτρική), με παραγωγή ίση σχεδόν με όλες τις υπόλοιπες μαζί. Η IEA αναφέρει ότι για την επίτευξη των στόχων που θέτει το σενάριο βιώσιμης ανάπτυξης (SDS) απαιτείται ετήσια ανάπτυξη 10% έως το 2030. Η καθαρή χερσαία παραγωγή αιολικής ενέργειας ήταν 1.323 TWh το 2019, η οποία αναμένεται να φτάσει 3.749 TWh. Η Κίνα παρέμεινε η πρώτη χώρα το 2019 με 23,8 GW επίσης το 2019 σε σύγκριση με 19 GW του 2018 και 14,5 GW το 2017. Η Ευρωπαϊκή Ένωση πρόσθεσε 9,1 GW το 2019, δηλαδή 17% περισσότερο σε σύγκριση με το 2018 με την Ισπανία, τη

Σουηδία και τη Γαλλία τις τρεις κορυφαίες χώρες. Ενώ οι Ηνωμένες Πολιτείες πρόσθεσαν 9.1 GW σε σύγκριση με 6,9 GW του 2018 . Η τρέχουσα εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ενέργειας των παράκτιων ανεμογεννητριών είναι 67 TWh που αναμένεται να είναι 3,8 TWh το 2025 και 606 TWh έως το 2030. Η συνδεδεμένη στο δίκτυο εγκατεστημένη ισχύς μιας παράκτιας ανεμογεννήτριας ήταν 5,9 GW το 2019, 40% υψηλότερη σε σύγκριση με το 2018. Η Κίνα και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν παρατηρήσει απότομη αύξηση στην διαμόρφωση εγκαταστάσεων σε παραγωγικό επίπεδο. Η Κίνα οδηγεί τα νούμερα με προσθήκες δυναμικότητας 2,3 GW το 2019, με το Ηνωμένο Βασίλειο (1,6 GW) και τη Γερμανία (1,1 GW) να είναι δεύτερη και τρίτη στη λίστα. Ωστόσο, απαιτείται επιταχυνόμενη ανάπτυξη για την επίτευξη των στόχων με την υπέρβαση των φραγμών. Οι εθνικές πολιτικές θα παραμείνουν κρίσιμες για την περαιτέρω ανάπτυξή της και την επιταχυνόμενη ανάπτυξή της.



Σχήμα 33: Παγκόσμια καθαρή προσθήκη στη συγκέντρωση αιολικής ενέργειας. Πηγή: M. Kamran και M. R. Fazal, *Renewable Energy Conversion Systems*, Elsevier, 2021.



Σχήμα 34: Παγκόσμια δυναμικότητα Αιολικής Ισχύος και ετήσιες προσθήκες. Πηγή: <https://www.evwind.es/2020/07/05/wind-energy-expanded-19-in-2019-with-around-60-gw-of-new-capacity/75563>

2.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Ο κύκλος ζωής του νερού οφείλεται επίσης στον ήλιο, ξεκινώντας από το λιώσιμο των παγετώνων. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όταν ο ήλιος λάμπει για περισσότερες από 8 ώρες την ημέρα, οι παγετώνες λιώνουν και το νερό φτάνει στο ποτάμι, στα κανάλια και στη συνέχεια στα χωράφια. Στην πορεία του νερού όπου η στάθμη του καναλιού του νερού είναι υψηλότερη από τη στάθμη της γης, η δυναμική ενέργεια του νερού αξιοποιείται χρησιμοποιώντας έναν υδροστρόβιλο συνδεδεμένο με μια ηλεκτρική γεννήτρια. Μεταξύ όλων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των αντίστοιχων τεχνολογιών, η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η πιο ώριμη και το κόστος της ενέργειας από την υδροηλεκτρική ενέργεια είναι το λιγότερο μεταξύ άλλων συμβατικών και μη πηγών ενέργειας επειδή δεν χρησιμοποιεί ρυπογόνα καύσιμα για τη λειτουργία της. Αυτό σημαίνει ότι η υδροηλεκτρική ενέργεια δεν εκπέμπει διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, καθιστώντας την πηγή πράσινης ενέργειας. Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από οποιαδήποτε άλλη ανανεώσιμη και συμβατική πηγή ενέργειας. Το 2000 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υδροηλεκτρικής ενέργειας ήταν 2.500 TWh που αυξήθηκε σε 4.325 TWh το 2018 και αναμένεται να αυξηθεί σε 4.600 TWh το 2025.



Σχήμα 35: Μεγάλο υδροηλεκτρικό: φράγμα Grand Coulee 6,8 GW, ΗΠΑ. Πηγή:
<https://usbr.gov/pn/grandcoulee/news/gallery/aerial/1.html>

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ήταν το πρώτο μεγάλο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που αναπτύχθηκε. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παγιδεύουν το νερό πίσω από φράγματα σε ποτάμια, μεγάλα και μικρά, για να δημιουργήσουν μια κεφαλή νερού (δηλαδή δυναμική ενέργεια) που μπορεί να απελευθερωθεί για να παράγει κινητική ενέργεια για να οδηγήσει ψηλά - στροβίλους ταχύτητας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Υποθέτοντας ότι ο υδάτινος πόρος συμπλήρωσης είναι κατάλληλος, μπορούν να παράγουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας σε συνεχή, αξιόπιστη βάση. ο συνολικός ετήσιος συντελεστής φορτίου (η ενέργεια ως ποσοστό της δυναμικής μέγιστης ενέργειας) για υδροηλεκτρικά έργα παγκοσμίως είναι περίπου 44%, αλλά εξαρτάται από την τοποθεσία. Για ορισμένες τοποθεσίες, ανάλογα με τη διάταξη και την τοπική παροχή νερού, είναι πολύ υψηλότερο.

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι η μεγαλύτερη υπάρχουσα ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας σε χρήση, με σχεδόν 1,3 TW (1.293 GW το 2018) εγκατεστημένη δυναμικότητα παραγωγής παγκοσμίως, το μεγαλύτερο μέρος της μεγάλης κλίμακας, αλλά περίπου το 10% αυτής μικρότερης κλίμακας (κάτω από 100 MW. Η τεχνολογία είναι ώριμη και η ανάπτυξη εξακολουθεί να εξαπλώνεται. Η Hydro παρέχει σχεδόν όλη την ηλεκτρική ενέργεια στα δίκτυα πολλών αναπτυσσόμενων χωρών, για παράδειγμα σχεδόν 100% σε Αλβανία, Αγκόλα, Μπουτάν, Μπουρούντι, Κόστα Ρίκα, ΛΔ Κονγκό, Λεσόθο, Μοζαμβίκη, Νεπάλ, Παραγουάη, Τατζικιστάν και Ζάμπια, καθώς και 60%-90% σε 30 άλλες αναπτυσσόμενες χώρες. Επιπλέον, παρέχει σχεδόν όλη την ηλεκτρική ενέργεια στη Νορβηγία, το μεγαλύτερο μέρος της στην Ισλανδία και περίπου το 60% στην Αυστρία, τον Καναδά, τη Νέα Ζηλανδία και τη Σουηδία .

Δεδομένου ότι η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από το ύψος, οι τοποθεσίες που μπορούν να φιλοξενήσουν ψηλότερα φράγματα (και έχουν επαρκή ροή νερού

μέσα) μπορούν να παράγουν περισσότερη ενέργεια και ισχύει ο τετράγωνος νόμος (square law). Δύο φορές παροχή δίνει τέσσερις φορές περισσότερη ενέργεια κατά μέσο όρο. Έτσι, τουλάχιστον από άποψη ενέργειας, όσο μεγαλύτερη τόσο το καλύτερο. Επιπλέον, αν υποθέσουμε ότι ο ρυθμός συμπλήρωσης νερού είναι κατάλληλος, η παγίδευση μεγάλης μάζας νερού στη δεξαμενή πίσω από το φράγμα θα βοηθούσε, αν και θα υπήρχε αντιστάθμιση κόστους και περιορισμοί τοποθεσίας.

Η πηγή ενέργειας είναι τελικά η ηλιακή θερμότητα, η οποία οδηγεί τον υδρολογικό κύκλο, αλλά δεδομένου ότι αυτό σχετίζεται με το κλίμα και τον καιρό, με τις βροχοπτώσεις να ποικίλλουν, ο ενεργειακός πόρος σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη τοποθεσία και ώρα μπορεί να ποικίλλει. Πράγματι, με τις μειωμένες βροχοπτώσεις σε ορισμένες περιοχές τα τελευταία χρόνια, η παραγωγή ορισμένων υδροηλεκτρικών σταθμών έχει μειωθεί. Σε ορισμένα μέρη του κόσμου, οι ξηρασίες έχουν οδηγήσει σε αυξανόμενη αναξιόπιστη παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό είναι πιθανό να επιδεινωθεί με την κλιματική αλλαγή.

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ υδροηλεκτρικών έργων και περιβάλλοντος είναι επίσης αμφίδρομες. Τα μεγάλα έργα μπορούν να έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Πολλές περιβαλλοντικές/αναπτυξιακές οργανώσεις, συμπεριλαμβανομένων των WWF, Friends of the Earth και Oxfam, ενώ υποστηρίζουν υδροηλεκτρικά μικρότερης κλίμακας, έχουν αντιταχθεί σε μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα λόγω των μεγάλων κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η κοινωνική εξάρθρωση που προκύπτει από τις πλημμύρες περιοχών για νέες δεξαμενές είναι ένα προφανές ζήτημα. Πολλές δεκάδες εκατομμύρια άνθρωποι έχουν εκτοπιστεί παγκοσμίως λόγω της κατασκευής υδροφραγμάτων, σύμφωνα με την Παγκόσμια Επιτροπή για τα Φράγματα σε μια μελέτη του 2000 που ανέθεσε η Παγκόσμια Τράπεζα, και υπήρχαν επίσης ευρύτερα οικολογικά ζητήματα. Για παράδειγμα, η Επιτροπή σημείωσε ότι, σε ορισμένα θερμά κλίματα, η βιομάζα που μεταφέρεται κατάντι μπορεί να συλλεχθεί από το φράγμα και μπορεί να σαπίσει, παράγοντας μεθάνιο, έτσι ώστε οι καθαρές εκπομπές θερμοκηπίου να είναι περισσότερες από ό,τι από μια μονάδα ορυκτών με την ίδια ενεργειακή ικανότητα. Δεν είναι απλώς θέμα οποιασδήποτε αρχικής βιομάζας που παγιδεύτηκε όταν γεμίστηκε για πρώτη φορά η δεξαμενή, αλλά μια συνεχής διαδικασία αποσύνθεσης φρέσκιας βιομάζας σε ορισμένες θερμές τοποθεσίες.

Η βιομηχανία δεν το δέχτηκε αυτό. Είπε ότι οι εκπομπές από την παγιδευμένη βιομάζα δεν ήταν ένα γενικό πρόβλημα (κάποιες θα εμφανίζονταν ούτως ή άλλως, αλλού) και σε κάθε περίπτωση υπήρχαν επιλογές αποκατάστασης. Ενώ ορισμένοι επικριτές επέμεναν ακόμη ότι η υδροηλεκτρική δεν ήταν τόσο ελκυστική ως ανανεώσιμη πηγή όπως αρχικά προτάθηκε, και η Παγκόσμια Τράπεζα μείωσε τη στήριξη, παρέμεινε μια ισχυρή ώθηση για περισσότερα υδροηλεκτρικά και μεγάλα προγράμματα. Για παράδειγμα, η Αφρικανική Ένωση, το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας, η Διεθνής Επιτροπή για τα Μεγάλα Φράγματα, η Διεθνής Ένωση Υδροηλεκτρικής Ενέργειας και άλλοι ενώθηκαν για να επιμείνουν ότι η υδροηλεκτρική ενέργεια ήταν μια σημαντική απάντηση για ορισμένα από τα προβλήματα της Αφρικής. Σημείωσαν ότι «Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, η υδροηλεκτρική ενέργεια συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη, όπως φαίνεται από

την εμπειρία των ανεπτυγμένων χωρών, όπου έχει αξιοποιηθεί το μεγαλύτερο δυναμικό της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Σε ορισμένες αναπτυσσόμενες χώρες, η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει συμβάλει στη μείωση της φτώχειας και στην οικονομική ανάπτυξη μέσω της περιφερειακής ανάπτυξης και στην επέκταση της βιομηχανίας. Από αυτή την άποψη, σημειώνουμε ότι τα δύο τρίτα του οικονομικά βιώσιμου δυναμικού υδροηλεκτρικής ενέργειας δεν έχουν ακόμη αξιοποιηθεί και το 90% αυτού του δυναμικού εξακολουθεί να είναι διαθέσιμο στις αναπτυσσόμενες χώρες. Στην Αφρική, λιγότερο από το 7% του υδροηλεκτρικού δυναμικού έχει αναπτυχθεί.»

Ωστόσο, αναγνώρισαν την ανάγκη να ληφθούν σοβαρά υπόψη τα περιβαλλοντικά ζητήματα: «Πιστεύουμε ακράδαντα ότι υπάρχει ανάγκη να αναπτυχθεί υδροηλεκτρική ενέργεια που να είναι οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά βιώσιμη» αλλά πείτε ότι «έχουν αντληθεί πολλά μαθήματα από την εμπειρία του παρελθόντος. Οι κυβερνήσεις, οι χρηματοδοτικοί φορείς και η βιομηχανία έχουν αναπτύξει πολιτικές, πλαίσια και κατευθυντήριες γραμμές για την αξιολόγηση και τον μετριασμό των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων και για την αντιμετώπιση των ανησυχιών των ευάλωτων κοινοτήτων που επηρεάζονται από την ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας.»

Σημείωσαν ότι «τα βασικά συστατικά για την επιτυχή επανεγκατάσταση περιλαμβάνουν δέσμευση στους στόχους της επανεγκατάστασης από τον κύριο του έργου, αυστηρός σχεδιασμός επανεγκατάστασης με πλήρη συμμετοχή των πληττόμενων κοινοτήτων, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στις ευάλωτες κοινότητες». Πρόσθεσαν: «Η διαδικασία λήψης αποφάσεων θα πρέπει να ενσωματώνει την ενημερωμένη συμμετοχή των ευάλωτων κοινοτήτων και εκείνων που επηρεάζονται αρνητικά, οι οποίοι πρέπει σε κάθε περίπτωση να αποκομίσουν βιώσιμα οφέλη από το έργο. Το κόστος των κοινωνικών και περιβαλλοντικών μέτρων και σχεδίων μετριασμού θα πρέπει να αξιολογηθεί πλήρως και να ενσωματωθεί στο συνολικό κόστος του έργου».

Το γενικό συμπέρασμα ωστόσο παρέμεινε ότι η μεγάλη υδροηλεκτρική ενέργεια ήταν επωφελής. Έδειξαν τεράστια πιθανά έργα, όπως το προτεινόμενο Grand Inga, αξίας 40 δισ. λιρών, στον ποταμό Κονγκό. Η χωρητικότητά του 40.000 MW θα μπορούσε, είπαν οι υποστηρικτές του, να παράγει περισσότερα από 280 TWh/έτος ηλεκτρική ενέργεια με λιγότερο από 0,01 \$/kWh. Για σύγκριση, οι γεννήτριες ντίζελ, που χρησιμοποιούνται ευρέως στην Αφρική, κοστίζουν από 0,15 \$ έως 0,30 \$/kWh. Το φράγμα θα μπορούσε, είπαν οι υποστηρικτές, να διπλασιάσει την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που είναι διαθέσιμη στην ήπειρο και να ξεκινήσει τη βιομηχανική ανάπτυξη, φέρνοντας ηλεκτρική ενέργεια σε εκατοντάδες εκατομμύρια ανθρώπους, καθώς και εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη Νότια Αφρική, τη Νιγηρία και την Αίγυπτο, ακόμη και στην Ευρώπη. Θα παρείχε διπλάσια ηλεκτρική ενέργεια από το σημερινό μεγαλύτερο φράγμα στον κόσμο, το αρχικά 18,2 GW, αργότερα 22,4 GW, το έργο Three Gorges στην Κίνα.

Ωστόσο, δεν ήταν όλοι τόσο ένθερμοι, για παράδειγμα, το περιβαλλοντικό δίκτυο International Rivers. Η αρχική τους θέση σκιαγραφήθηκε από τον Terri Hathaway, τον ακτιβιστή τους στην Αφρική, ο οποίος είπε ότι ως έχει, η ηλεκτρική

ενέργεια του έργου δεν θα φτάσει ούτε ένα κλάσμα των 500 εκατομμυρίων ανθρώπων της ηπείρου που δεν είναι ακόμη συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Η κατασκευή ενός δικτύου διανομής που θα φωτίζει πραγματικά την Αφρική θα αύξανε το κόστος του έργου εκθετικά. Θα ήταν πολύ διαφορετικό εάν η αγροτική ενέργεια λάμβανε το είδος της δέσμευσης και της προσοχής που δίνεται τώρα στην Ίνγκα.»

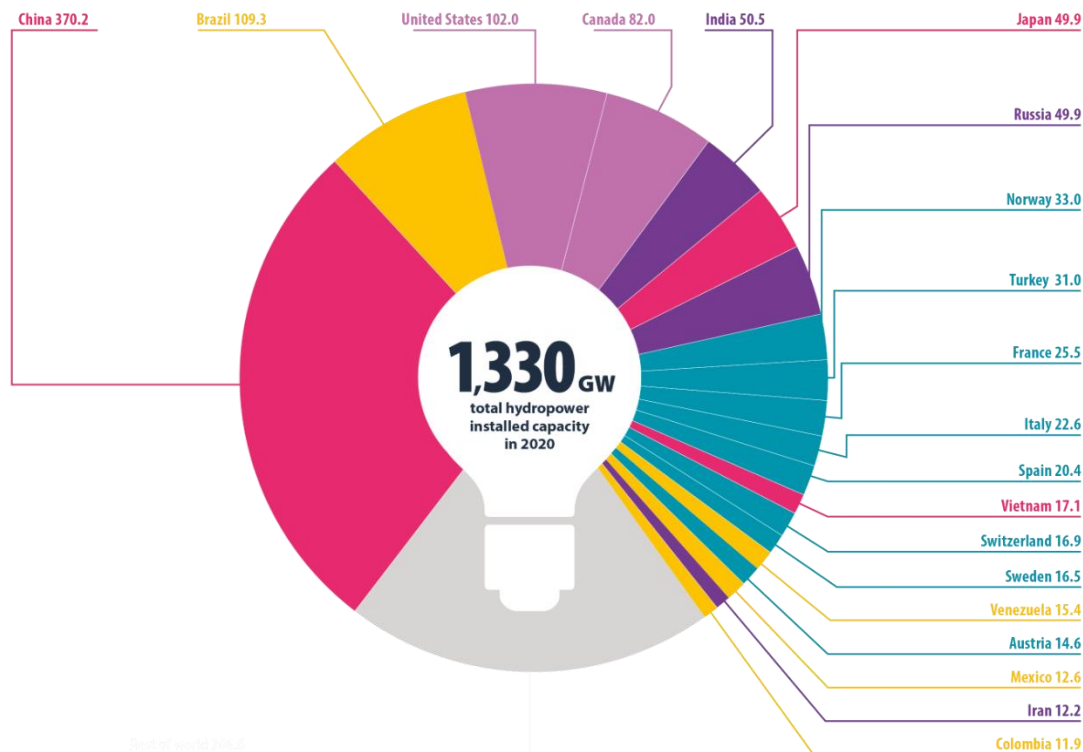
Το Grand Inga προτάθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1980, αλλά υπήρχαν προβλήματα που ξεπερνούσαν τις μελέτες σκοπιμότητας λόγω της πολιτικής αναταραχής στην κεντρική Αφρική και οι καθυστερήσεις συνεχίστηκαν. Ωστόσο, φαίνεται να υπάρχουν τώρα προοπτικές για ένα μέρος του (μια πρώτη φάση 11 GW) να προχωρήσει, αλλά με την αντίθεση να συνεχίζεται. Με την Κίνα σήμερα να παρέχει συχνά κεφάλαια για μεγάλα αναπτυξιακά έργα όπως αυτό, υπάρχουν επίσης προτάσεις για άλλα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα σε όλο τον κόσμο, αν και πολλά από αυτά αντιτίθενται επίσης σε τοπικό επίπεδο και από ΜΚΟ/περιβαλλοντικές ομάδες.

Μια ανασκόπηση από το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας το 2015 σημείωσε ότι η υδροηλεκτρική δυναμικότητα είχε αυξηθεί κατά 27% από το 2004 και πρότεινε ότι θα μπορούσε να διπλασιαστεί στα 2.000 GW έως το 2050 ή νωρίτερα. Η WEC θεώρησε τους μοχλούς ανάπτυξης ως «η αυξημένη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια, αποθήκευση ενέργειας, ευελιξία παραγωγής, διαχείριση γλυκού νερού και λύσεις μετριασμού και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Ανέφερε ότι έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος όσον αφορά τις πρακτικές βιωσιμότητας του κλάδου και την αποδοχή από εξωτερικούς ενδιαφερόμενους φορείς, όπως οι ΜΚΟ και η χρηματοπιστωτική κοινότητα, που στο παρελθόν εμπόδιζαν την ανάπτυξη νέων έργων. Ωστόσο, η κριτική για την υδροηλεκτρική ενέργεια συνεχίζεται σε ορισμένες ομάδες ενδιαφερομένων, ειδικά όπου οι νέες εξελίξεις επηρεάζουν τις τοπικές κοινότητες ή όπου οι ροές ποταμών επηρεάζουν ευάλωτα ενδιαιτήματα.» Η συζήτηση για τα μεγάλα υδροηλεκτρικά συνεχίζεται, με ακαδημαϊκές μελέτες να επιδιώκουν να εξισορροπήσουν τους διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες και η βιομηχανία παρουσιάζει την υδροηλεκτρική ενέργεια ως μια πλήρως βιώσιμη επιλογή, με μια μελέτη που υποστηρίζεται από τη βιομηχανία να υποδηλώνει ότι τα περισσότερα έργα ήταν χαμηλών εκπομπών. Έχει επίσης υποστηριχθεί ότι τα έργα υδρογονανθράκων μπορούν να μειώσουν τις μεγάλες εκπομπές μεθανίου από τους υγροτόπους. Ενώ είναι σαφές ότι η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει πολλά πλεονεκτήματα και ότι η Αφρική και άλλα μέρη στον αναπτυσσόμενο κόσμο χρειάζονται ενέργεια, υπάρχουν επίσης ξεκάθαρα αντίθετες απόψεις σχετικά με το εάν η υδροηλεκτρική ενέργεια και ιδιαίτερα τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα είναι η καλύτερη επιλογή. Τα μεγάλα έργα είναι ακριβά και περιλαμβάνουν μεγάλες εταιρείες που, κάποιος φοβούνται, μπορεί να μην είναι αρκετά ευαίσθητες σε τοπικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές ανησυχίες.

Σίγουρα έχουν γίνει κάποιες σκληρές μάχες για ορισμένα έργα και η υδροηλεκτρική ενέργεια μεγάλης κλίμακας παραμένει ένα πολιτικά αμφιλεγόμενο ζήτημα σε πολλά μέρη του κόσμου. Εκτός από θέματα τοπικού αντίκτυπου, μερικές φορές υποστηρίζεται ότι τα μεγάλα κεντρικά έργα μπορεί σε κάθε περίπτωση να είναι η λάθος απάντηση για την Αφρική και άλλες παρόμοιες τοποθεσίες. Οι πολύ

μεγάλες αποστάσεις καθιστούν απίθανο τα πλέγματα να καλύψουν ποτέ ολόκληρη την ήπειρο. Όπως και με το έργο Grand Inga, μεγάλο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται πιθανό να εξάγεται μέσω συνδέσεων συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC) σε απομακρυσμένες αγορές, χωρίς να χρησιμοποιείται τοπικά. Έτσι οι τοπικές κοινωνίες αντιμετώπισαν όλα τα προβλήματα, αλλά απολάμβαναν ελάχιστα από τα οφέλη. Αντίθετα, ορισμένοι υποστηρίζουν, η τοπική αποκεντρωμένη εξουσία έχει περισσότερο νόημα. Αυτό μπορεί να είναι μίνι ή μικρό υδροηλεκτρικό έργο ή ένα αιολικό πάρκο. Επίσης χρησιμοποιώντας τεχνολογίες που μπορούν να εγκατασταθούν γρήγορα με μικρές τοπικές επιπτώσεις και δυνατότητα άμεσης τοπικής συμμετοχής, όπως πιθανώς η δημιουργία τοπικών κατασκευαστικών επιχειρήσεων για την κατασκευή του εξοπλισμού θα ήταν μια πολύ καλύτερη και συμβιβαστική λύση.

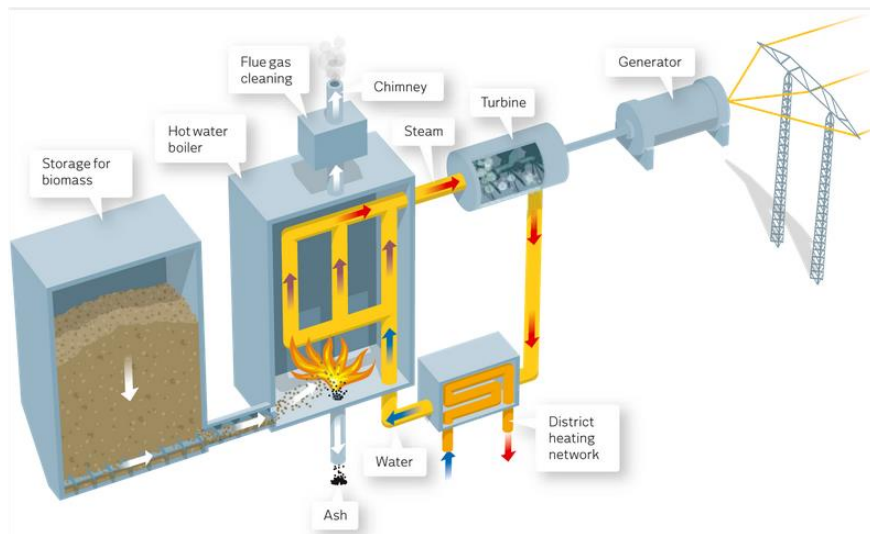
Ενώ ορισμένες πρόσφατα χώρες που εκβιομηχανίζονται όπως η Βραζιλία, η Κίνα και η Ινδία, που έχουν ήδη μεγάλες υδροηλεκτρικές δυναμικότητες, προσβλέπουν σε περαιτέρω επέκταση, στο μεγαλύτερο μέρος του ήδη ανεπτυγμένου κόσμου, ορισμένα παλαιότερα υδροηλεκτρικά έργα έχουν αποσυρθεί και υπάρχει πολύ λιγότερη δυνατότητα για μεγάλα νέα έργα, αν και η Ρωσία για παράδειγμα εξακολουθεί να έχει σχέδια για σημαντική επέκταση πέρα από 52 GW υδροηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, ενδέχεται να υπάρχει ευρύτερο δυναμικό για έργα μικρότερης κλίμακας. Τα μικρά υδροηλεκτρικά συμβάλλουν περίπου το 3% στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη, με περισσότερα από 17800 μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα και συνολική εγκατεστημένη ισχύ 12.333 MW στην ΕΕ-27, με σημαντικές δυνατότητες επέκτασης, για παράδειγμα, στην περιοχή των Βαλκανίων. Επιπλέον, εκτός Ευρώπης, οι αγορές του Σχεδίου Εμπορίας Εκπομπών και του Μηχανισμού Καθαρής Ανάπτυξης προσφέρουν νέες ευκαιρίες στον κλάδο: το 90% των πρόσφατων έργων μηχανισμών καθαρής ανάπτυξης στην Κίνα αφορούσαν μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες.



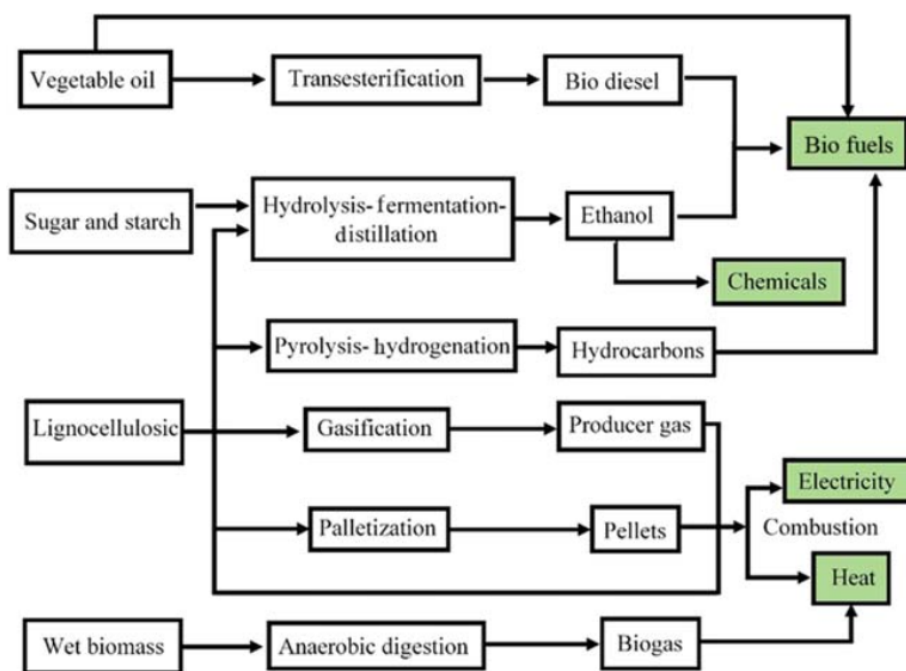
Σχήμα 36: Συνολική παγκόσμια χωρητικότητα εγκατεστημένης υδροηλεκτρικής Ισχύς για το 2020. Πηγή: <https://www.hydroreview.com/hydro-industry-news/despite-growth-hydropower-installation-needs-to-increase-further-ih-says/#gref>

2.4 Ενέργεια από Βιοκαύσιμα

Η καύση φυτικής βιομάζας παρείχε την πρώτη τεχνητή και αποθηκευμένη μορφή ενέργειας στην ανθρωπότητα, εκτός από τα τρόφιμα, αν και αργότερα μάθαμε πώς να χρησιμοποιούμε λάδι από φάλαινες. Μάθαμε επίσης πώς να μετατρέπουμε το ξύλο βιομάζας σε κάρβουνο, που χρησιμοποιείται τόσο ως καύσιμο όσο και για τον εμπλουτισμό του εδάφους. Κάποιοι λένε ότι θα πρέπει να κάνουμε περισσότερα από αυτό, παράγοντας βιοκάρβουνο για να παγιεύσουμε το διοξείδιο του άνθρακα ως μια μορφή βιοαποδέσμευσης «μαύρου άνθρακα», αν και μπορεί να υπάρχουν πιο οικονομικοί τρόποι δέσμευσης άνθρακα, όπως θα δούμε αργότερα.



Σχήμα 37: Παραγωγή Ισχύος Ενέργειας από Εργοστάσια Καύσης Βιομάζας. Πηγή: <https://alderinvestment.com/biomass-power-plants/>



Σχήμα 38: Τύποι βιομάζας, τεχνολογίες μετατροπής ύλης και παράγωγα τους. Πηγή: M. Kamran και M. R. Fazal, *Renewable Energy Conversion Systems*, Elsevier, 2021.

Η μερική (περιορισμένη παροχή αέρα) καύση βιομάζας, όπως χρησιμοποιείται για την παραγωγή ξυλάνθρακα, μπορεί επίσης να παράγει χρήσιμα υγρά βιοκαύσιμα (δηλαδή με πυρόλυση), όπως και η ζύμωση ορισμένων βιοϋλικών (με την παραγωγή αλκοόλης να είναι το πιο προφανές και μακροχρόνιο ανθρώπινο όφελος). Η αναερόβια χώνευση (AD) των σάπων υλικών είναι μια άλλη (πιο δύσσομη) επιλογή βιοαερίου (μεθάνιο). Αλλά η πλήρης καύση εξακολουθεί να κυριαρχεί στην

προσέγγιση της βιομάζας ως πηγή ενέργειας. Είτε για θερμότητα, ηλεκτρισμό είτε για χρήση σε οχήματα, εξακολουθεί να καίγεται, σε ορισμένες περιπτώσεις σε μεγάλη κλίμακα.

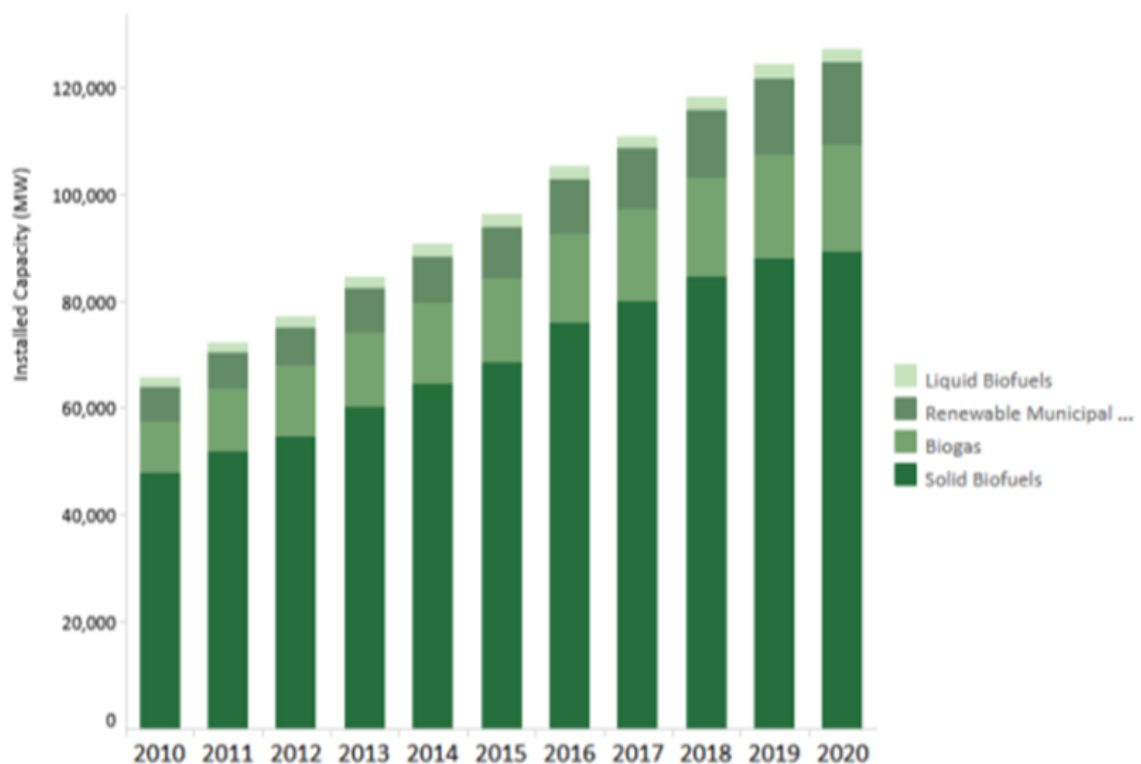
Αν και όλα καταλήγουν σε καύση, υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας, που συνοψίζονται όμορφα και εξερευνώνται σε ένα γραφικό καρτούν που παράγεται από τον όμιλο Supergen Bioenergy του Ηνωμένου Βασιλείου, τονίζοντας το γεγονός ότι κάθε τύπος χρήσης έχει διαφορετικές επιπτώσεις και ζητήματα επίλυσης.

Συνολικά, οι πηγές βιοενέργειας αντιπροσώπευαν περίπου το 12,8% της τελικής ενέργειας τελικής χρήσης παγκοσμίως το 2016, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας εξακολουθεί να είναι ξύλο που χρησιμοποιείται για θέρμανση, αλλά η λεγόμενη «μοντέρνα βιομάζα» (ενεργειακές καλλιέργειες, βιοκαύσιμα, βιοαέριο κ.λπ.) παρέχει πλέον περίπου το 5% της παγκόσμιας χρήσης ενέργειας και το μερίδιό αυτό αυξάνεται, καθώς η χρήση παραδοσιακής βιομάζας (όπως καυσόξυλα και κοπριά) καταργείται σταδιακά και εμφανίζονται νέες τελικές χρήσεις. Μία από τις νέες χρήσεις της βιομάζας και των απορριμμάτων είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία αυξάνεται. Το 2011 η ΕΕ παράγαγε 123 TWh από αυτές τις πηγές, οι ΗΠΑ 57 TWh και η Κίνα 34 TWh, αλλά η κλίμακα χρήσης έχει αυξηθεί σημαντικά από τότε, σε 555 TWh παγκοσμίως το 2017, περίπου το 2% της συνολικής παγκόσμιας χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας, από 122 GW της παραγωγικής ικανότητας (Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας αναφέρει ότι η παγκόσμια ικανότητα παραγωγής βιοενέργειας (συμπεριλαμβανομένης της χρήσης βιοαποβλήτων) αναμένεται να αυξηθεί κατά 37 GW το 2018–23, για να φτάσει τα 158 GW. Μικρή σε σύγκριση με την αιολική (που πλησιάζει τα 540 GW), αλλά όχι ασήμαντη.

Ωστόσο, αυτό εξακολουθεί να είναι μόνο ένα μικρό μέρος της συνολικής χρήσης βιομάζας. Το μεγαλύτερο μέρος της βιομάζας εξακολουθεί να χρησιμοποιείται για θέρμανση, περίπου το 78% από την άποψη της πρωτογενούς χρήσης ενέργειας από βιομάζα, και παραμένει η κύρια πηγή ανανεώσιμες πηγές θερμότητας (97% το 2014). Αντίθετα, η χρήση των μεταφορών εξακολουθεί να είναι σχετικά μικρή, αντιπροσωπεύοντας μόνο το 6% περίπου της συνολικής χρήσης βιομάζας το 2014, αν και η χρήση της στα οχήματα επεκτείνεται. Για το μέλλον, Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) λέει ότι η βιοενέργεια από υγρά καύσιμα και το βιοαέριο θα οδηγήσουν ουσιαστικά στην αύξηση της συνολικής κατανάλωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως το 2023, λόγω της αυξανόμενης χρήσης τους στους τομείς της θέρμανσης και των μεταφορών. Αν και η ανάπτυξη της ηλιακής και αιολικής ενέργειας αναμένεται να συνεχιστεί στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, η IEA είπε ότι η βιοενέργεια θα αναπτυχθεί επίσης και θα παραμείνει μια μεγάλη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Ο Φατίχ Μπιρόλ, εκτελεστικός διευθυντής του IEA, δήλωσε ότι «η σύγχρονη βιοενέργεια είναι ο παραγνωρισμένος γίγαντας του πεδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το μερίδιό της στη συνολική κατανάλωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον κόσμο είναι περίπου 50% σήμερα, με άλλα λόγια όσο και η υδροηλεκτρική, αιολική, ηλιακή και όλες οι άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μαζί».

Το ενεργειακό περιεχόμενο των διαφόρων πηγών βιομάζας ποικίλλει, αλλά σχεδόν όλες είναι πιο ογκώδεις και έχουν πολύ χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τα ορυκτά καύσιμα. Όσον αφορά την τρέχουσα χρήση αυτών των πηγών, περίπου το 90% της βιομάζας που χρησιμοποιείται παγκοσμίως είναι σε μορφή στερεών, 6% υγρών και 2% ως βιοαερίου. Τα τοπικά καυσόξυλα και η κοπριά αγελάδας, οι παραδοσιακές πηγές βιομάζας, εξακολουθούν να παρέχουν περίπου το 7,8% της παγκόσμιας θερμικής ενέργειας, συχνά με πολύ αναποτελεσματικότητα και εκθέτοντας τους χρήστες σε τοξικές αναθυμιάσεις. Ωστόσο, ενώ η χρήση «νέας βιομάζας», όπως το βιοαέριο από τα απόβλητα και οι ειδικά καλλιεργημένες ενεργειακές καλλιέργειες, επεκτείνεται, ο δασικός τομέας εξακολουθεί να είναι ο μεγαλύτερος πάροχος στη σύγχρονη βιομάζα παγκοσμίως, παρέχοντας το 87% του συνόλου. Μόνο το 10% προέρχεται από τη γεωργία και το 3% από τα αστικά στερεά απόβλητα και το αέριο των χωματερών.

Ορισμένοι περιβαλλοντολόγοι ανησυχούν για τη χρήση της βιομάζας γενικά, και ειδικά για τον κοινωνικό και περιβαλλοντικό αντίκτυπο της καλλιέργειας βιοκαυσίμων για οχήματα. Η συζήτηση για αυτά τα ζητήματα ήταν μακρά και μερικές φορές έντονη. Για παράδειγμα, έχει υποστηριχθεί ότι η ανάπτυξη βιομάζας για ενέργεια αντί για τρόφιμα στις αναπτυσσόμενες χώρες θα οδηγήσει σε μαζική πείνα και ότι η ενεργειακή παραγωγικότητα ορισμένων βιοκαυσίμων είναι χαμηλή και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις υψηλές.



Σχήμα 39: Παγκόσμια εγκατεστημένη Ισχύς για αξιοποίηση Βιομάζας. Πηγή: <https://www.irena.org/bioenergy>

2.5 Γεωθερμία

Η γεωθερμική ενέργεια είναι φυσική ενέργεια με τη μορφή θερμότητας που παράγεται και διατηρείται στη Γη. Ο συνολικός όρος μπορεί να αναφέρεται ως η κίνηση της ενεργού θερμικής ενέργειας μέσα στη Γη. Η θερμοκρασία της Γης αυξάνεται με το βάθος της και αυτή η γεωθερμική κλίση επιτρέπει τη συνεχή μεταφορά θερμότητας από τον πυρήνα της Γης στην επιφάνεια. Αυτό ονομάζεται επίσης «επίγεια ροή θερμότητας». Εάν ο ρυθμός ροής θερμότητας είναι υψηλός και η εξαγωγή ενέργειας είναι οικονομική, τότε οι άνθρωποι μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτή τη θερμότητα για πολλαπλούς σκοπούς, δηλαδή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανση και χρήση στη γεωργία. Η μέση ροή θερμότητας προς την επιφάνεια της Γης είναι 50 mW/m^2 . Η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 25°C - 30°C με κάθε χιλιόμετρο του βάθους της Γης, με ορισμένες περιοχές να έχουν αυτή την κλίση έως και 150°C . Είναι η μόνη πηγή ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή βασικού φορτίου ή με δυνατότητα αποστολής χωρίς καιρικούς περιορισμούς. Λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για μετάβαση στην παραγωγή καθαρής ενέργειας, η ανάγκη για έρευνα και ανάπτυξη σε μηχανικά γεωθερμικά συστήματα γίνεται κρίσιμη. Πρόσφατα η ανάπτυξη των γεωθερμικών συστημάτων επέτρεψε την εξάλειψη της ανάγκης για φυσικούς υδροθερμικούς πόρους. Μπορεί να γίνει με θραύση των υπόγειων πετρωμάτων και έγχυση νερού. Το νερό θερμαίνεται όταν έρθει σε επαφή με τα πετρώματα και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται πηγάδια παραγωγής για να το στείλουν στην επιφάνεια.

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ανανεώσιμη εάν μπορεί να καλύψει τη ζήτηση. Η υψηλή ενεργειακή της πυκνότητα και η συνεχής διαθεσιμότητά της τη καθιστούν ιδιαίτερα επιθυμητή και της δίνουν πλεονέκτημα έναντι της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας. Ωστόσο, έχει τους περιορισμούς της, όπως οι περιορισμοί μεταφοράς, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα. Η κατανομή των πηγών γεωθερμικής ενέργειας ακολουθεί ένα ακανόνιστο μοτίβο λόγω της άνισης κατανομής των υδατικών θερμοπηγών, των θερμών πηγών, των φουμάρων (fumaroles), της τάρτσας πυριτίου πυριτίου, των στρωμάτων φυκών, των ρών λάβας, των θερμών πισινών και λιμνών, των ατμοσφαιρικών πισινών και των ηφαιστειών. Αυτοί οι πόροι συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με γεωλογικά και υδρολογικά πρότυπα. Πλούσιοι πόροι θερμικής ενέργειας θεωρούνται οι περιοχές που βρίσκονται κοντά σε ηφαιστειακές αλυσίδες ή δακτυλίους φωτιάς όπου συναντώνται οι τεκτονικές πλάκες και μπορούν να παρατηρηθούν συχνές ηφαιστειακές δραστηριότητες. Ο πιθανός στόχος διερευνάται μέσω μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης που ακολουθείται από γεωχημικές μελέτες και τη διαδικασία γεώτρησης. Αυτές οι πολύπλοκες μελέτες ακολουθούνται από γεωφυσικές έρευνες.

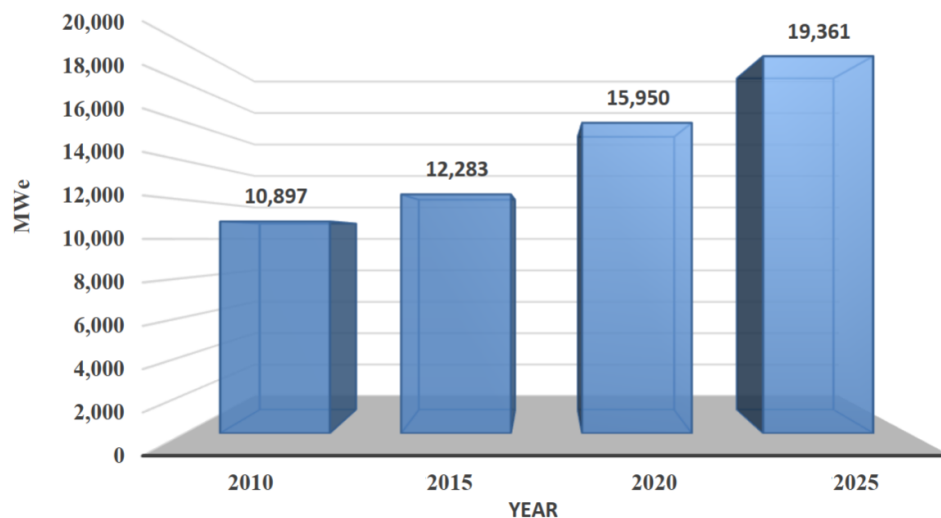
Κυρίως υπάρχουν δύο είδη γεωθερμικών συστημάτων, δηλαδή, κυριαρχούμενα από ατμούς και κυριαρχούμενα από υγρά. Τα ατμοποιημένα συστήματα είναι πολύ σπάνια και ασυνήθιστα με νερό και ατμούς να συνυπάρχουν στη δεξαμενή. Οι θερμοπίδακες (Καλιφόρνια, Ηνωμένες Πολιτείες), Kamojang, Darajat (Ιάβα, Ινδονησία), Larderello (Ιταλία) και Matsukawa (Ιαπωνία) βρίσκονται στη βιβλιογραφία που επιβεβαιώνουν τις περιοχές με την απαιτούμενη πίεση των πεδίων που κυριαρχούν οι ατμοί. Η πλειονότητα των γεωθερμικών συστημάτων

ανήκει στον υδροκυριαρχούμενο τύπο. Αυτοί οι τύποι συστημάτων έχουν δεξαμενές με μέση θερμοκρασία 200°C ικανές να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια στην περιοχή των 210 MW. Βρίσκονται γενικά σε ενεργά τεκτονικά περιβάλλοντα με μέτρια έως υψηλή θερμοκρασία. Ως εκ τούτου, τα περισσότερα από αυτά μπορούν να βρεθούν κοντά σε ηφαιστειακές αλυσίδες. Τα πετρώματα σε αυτά τα συστήματα έχουν φυσικό σχήμα για να υποστηρίξουν τη ροή του υγρού.



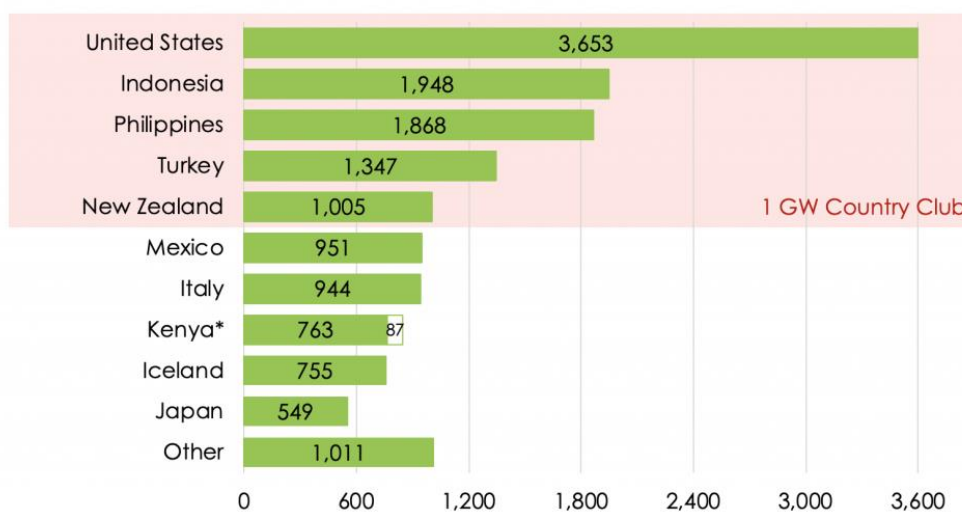
Σχήμα 40: Γεωθερμικό Εργοστάσιο Gunung Salak στην Ινδονησία. Πηγή: <https://www.starenergygeothermal.co.id/salak/>

Τα ενημερωμένα δεδομένα του παγκόσμιου συνεδρίου γεωθερμίας που πραγματοποιήθηκε το 2020 παρέχουν μια βαθιά εικόνα σχετικά με τις τρέχουσες τάσεις της γεωθερμικής ενέργειας και τις μελλοντικές τάσεις. Κατά την περίοδο 2015-2020, παρατηρήθηκε αύξηση της γεωθερμικής ενέργειας κατά 3,649 GW (27%). Πέντε νέες χώρες ξεκίνησαν για πρώτη φορά την παραγωγή ενέργειας μέσω γεωθερμικών μέσων: η Χιλή (48 MWe), η Ονδούρα (35 MWe), η Κροατία (16,5 MWe), η Ουγγαρία (3 MWe) και το Βέλγιο (0,8 MWe). Σε αυτά τα 5 χρόνια, τα στατιστικά στοιχεία της παγκόσμιας γεωθερμικής βιομηχανίας είναι ότι έχουν διανοιχτεί 1.159 νέα πηγάδια, έχουν δαπανηθεί 10.367 εκατομμύρια δολάρια σε έργα ηλεκτρικής ενέργειας, κι έχουν προστεθεί 3666,56 MWe. Οι χώρες με τη μεγαλύτερη συνολική εγκατεστημένη δυναμικότητα είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ινδονησία, οι Φιλιππίνες και η Τουρκία. Μόνο η Ινδονησία διαθέτει τις τέσσερις μεγαλύτερες μονάδες δυναμικότητας στον κόσμο, με το Gunung Salak, το μεγαλύτερο, με ισχύ 375 MWe. Ορισμένα από τα έθνη σχεδιάζουν να προσθέσουν χωρητικότητα γεωθερμικής ενέργειας στα συστήματά τους στο εγγύς μέλλον. Αυτές οι χώρες περιλαμβάνουν κράτη της Καραϊβικής, τον Καναδά, την Ελλάδα, το Ιράν και τον Ισημερινό.



Σχήμα 41: Συνολική Εγκατεστημένη Γεωθερμική Ισχύς 2020-2025. Πηγή: «Geothermal Power Generation in the World 2015-2020 Update Report,» Proceedings World Geothermal Congress , Reykjavik, Iceland, 2021.

Το δυναμικό για την παγκόσμια χωρητικότητα ισχύος των συστημάτων γεωθερμικής ενέργειας προβλέπεται να είναι 6 TWe για το έτος 2030 και 108 TWe για το έτος 2050. Φτάνει τα 200 TWe εάν εξαιρεθούν κάποιοι περιορισμοί και φυσικά το κόστος. Οι πέντε πρώτες χώρες με τις μεγαλύτερες δυνατότητες μέχρι το 2050 είναι η Ρωσία, η Κίνα, η Βραζιλία, οι Ηνωμένες Πολιτείες και ο Καναδάς. Επίσης, προβλέπεται ότι η εφαρμογή του πλήρους δυναμικού των ενισχυμένων συστημάτων γεωθερμικής ενέργειας έως το 2050 μπορεί να προσφέρει πέντε φορές τη συνολική ενεργειακή ζήτηση του 2016. Κρατώντας κατά μέρος τις μεθόδους ποσοτικοποίησης των πόρων, η ποσότητα της εξόρυξης γεωθερμικής ενέργειας θα επηρεαστεί από τις κυβερνητικές πολιτικές και στρατηγικές, καθώς και προσαρμογή προηγμένων τεχνολογιών .



Σχήμα 42: Συνολική Εγκατεστημένη Γεωθερμική Ισχύς -14.900 MW,2019. Πηγή: <https://www.thinkgeoenergy.com/global-geothermal-capacity-reaches-14900-mw-new-top-10-ranking/>

2.6 Θαλάσσια Ενέργεια

2.6.1 Ενέργεια από Κύματα (Wave Energy)

Η κυματική ισχύς παράγεται συνήθως από πλωτές πλατφόρμες στροβίλων ή σημαδούρες που ανεβαίνουν και πέφτουν με τους κυματισμούς της θάλασσας. Ωστόσο, η κυματική ισχύς μπορεί να παραχθεί εκμεταλλευόμενοι τις αλλαγές στην πίεση του αέρα που συμβαίνουν στους θαλάμους σύλληψης κυμάτων που βλέπουν τη θάλασσα ή τις αλλαγές στην πίεση των κυμάτων στον πυθμένα του ωκεανού.

Οι περιοχές με το μεγαλύτερο δυναμικό ανάπτυξης κυματικής ενέργειας βρίσκονται στα γεωγραφικά πλάτη με τους υψηλότερους ανέμους (γεωγραφικά πλάτη 40°–60° Β και Ν) στις ανατολικές ακτές των ωκεανών του κόσμου (που συνορεύουν με τις δυτικές άκρες των ηπείρων). Για παράδειγμα, η πρώτη επιχειρησιακή γεννήτρια κυμάτων στον κόσμο βρίσκεται στα ανοιχτά της Aguçadora της Πορτογαλίας, η οποία παράγει έως και 2,25 MW από τρεις τεράστιους ενωμένους σωλήνες που επιπλέουν στην επιφάνεια του Ατλαντικού Ωκεανού. Συγκεκριμένα, μεμονωμένες γεννήτριες ισχύος βρίσκονται στις αρθρώσεις των σωλήνων και ενεργοποιούνται από την κυματική κίνηση. Επιπλέον, ένα μεγάλο δυναμικό για συστήματα κυματικής ενέργειας υπάρχει στις Βρετανικές Νήσους και στον Βορειοδυτικό Ειρηνικό των Ηνωμένων Πολιτειών. Οι εκτιμήσεις για το ετήσιο δυναμικό της κυματικής ενέργειας κατά μήκος της υφαλοκρηπίδας των ακτών των ΗΠΑ κυμαίνονται μεταξύ 1.170 και 2.640 TWh, που αντιστοιχεί στο 33–65 % της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας των ΗΠΑ το 2015.

Παρά το τεράστιο ενεργειακό δυναμικό της κυματικής ισχύος, εξακολουθούν να υπάρχουν τεχνικές προκλήσεις. Η χρηματοδότηση της έρευνας είναι χαμηλή σε σύγκριση με εκείνη που υποστηρίζει την ηλιακή, την αιολική και τις υπόλοιπες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, και επομένως η διαδικασία πειραματισμού και βελτιώσεων με διαφορετικά σχέδια συλλεκτών κυματικής ενέργειας δεν είναι τόσο καλά ανεπτυγμένη. Η ανάπτυξη τεράστιων μηχανών για χρήση στους ωκεανούς είναι δαπανηρή. Το αλμυρό νερό στους ωκεανούς διαβρώνει τον χάλυβα και άλλα μέταλλα και η φυσική δύναμη των κυμάτων κουράζει τους συλλέκτες ενέργειας των κυμάτων, τα καλώδια μετάδοσης και άλλες υποδομές με την πάροδο του χρόνου.

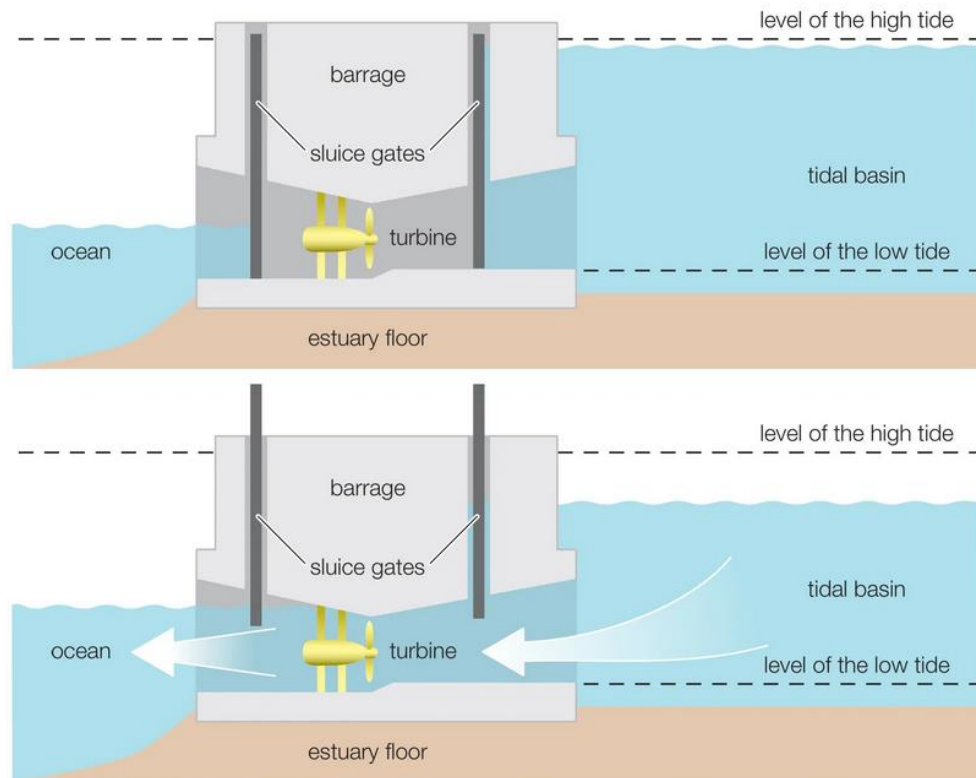


Σχήμα 43: Συσκευή σημαδούρας για αξιοποίηση κυμάτων της εταιρείας OPT. Πηγή: <https://oceanpowertechnologies.com/>

2.6.2 Παλιρροιακή Ενέργεια (Tidal Energy)

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να αξιοποιηθεί η παλιρροιακή ισχύς. Τα συστήματα τροφοδοσίας παλιρροϊκού φράγματος εκμεταλλεύονται τις διαφορές μεταξύ της παλίρροιας και της άμπωτης χρησιμοποιώντας ένα «φράγμα» ή τύπο φράγματος, για να εμποδίσουν το νερό που υποχωρεί κατά τη διάρκεια περιόδων άμπωτης. Κατά την άμπωτη, το νερό πίσω από το φράγμα απελευθερώνεται και το νερό περνά μέσα από μια τουρμπίνα που παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Τα συστήματα τροφοδοσίας παλιρροϊκών ρευμάτων εκμεταλλεύονται τα ωκεάνια ρεύματα για να οδηγήσουν στρόβιλους, ιδιαίτερα σε περιοχές γύρω από νησιά ή ακτές όπου αυτά τα ρεύματα είναι γρήγορα. Μπορούν να εγκατασταθούν ως παλιρροϊκοί φράχτες - όπου οι στρόβιλοι τεντώνονται σε ένα κανάλι - ή ως παλιρροϊκές τουρμπίνες, που μοιάζουν με υποβρύχιες ανεμογεννήτριες. Πολλές τεχνολογίες παλιρροιακής ενέργειας δεν είναι διαθέσιμες σε βιομηχανική κλίμακα, και έτσι η παλιρροιακή ενέργεια συνεισφέρει ένα αμελητέο κλάσμα της παγκόσμιας ενέργειας σήμερα. Υπάρχουν, ωστόσο, μεγάλες δυνατότητες για τη χρήση του, διότι μεγάλη αξιοποιήσιμη ενέργεια περιέχεται στα υδάτινα ρεύματα.



Σχήμα 44: Διαδικασία λειτουργίας φραγμάτων αξιοποίησης παλιρροιακής ενέργειας. Πηγή: <https://www.britannica.com/science/tidal-power>

Η συνολική ενέργεια που περιέχεται στις παλίρροιας παγκοσμίως είναι 3.000 GW αν και οι εκτιμήσεις για το πόσο από αυτή την ενέργεια είναι διαθέσιμη για παραγωγή ενέργειας από παλιρροϊκά φράγματα είναι μεταξύ 120 και 400 GW,

ανάλογα με την τοποθεσία και τη δυνατότητα μετατροπής. Συγκριτικά, μια τυπική νέα μονάδα παραγωγής άνθρακα με βάση τον άνθρακα παράγει περίπου 550 μεγαβάτ (MW, εκατομμύρια Watt). Οι ειδικοί στον τομέα της ενέργειας εικάζουν ότι τα πλήρως ενσωματωμένα παλιρροιακά συστήματα ισχύος θα μπορούσαν να καλύψουν μεγάλο μέρος της παγκόσμιας ζήτησης στο μέλλον. Οι εκτιμήσεις της ισχύος των παλιρροϊκών ρευμάτων - η οποία χρησιμοποιεί τα ωκεάνια ρεύματα για να οδηγεί τα υποβρύχια πτερύγια με τρόπο παρόμοιο με την παραγωγή αιολικής ενέργειας - σε ρηχά νερά είναι ικανές να παράγουν περίπου 3.800 TWh.

Στις αρχές του 21ου αιώνα, ορισμένες από αυτές τις τεχνολογίες είχαν γίνει εμπορικά διαθέσιμες. Ο μεγαλύτερος παλιρροϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής στον κόσμο είναι ο παλιρροιακός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Sihwa Lake στη Νότια Κορέα, ο οποίος παράγει 254 MW ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας παλιρροϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής στο La Rance στη Γαλλία λειτουργεί από τη δεκαετία του 1960, με ισχύ 240 MW. Η τυπική του παραγωγή είναι 0,5 TWh ετησίως. Μεγαλύτερες προσπάθειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκονται στον ορίζοντα. Για παράδειγμα, η πρώτη φάση του έργου MeyGen στο Scotland's Inner Sound παρήγαγε 700 MWh ηλεκτρικής ενέργειας τον Αύγουστο του 2017. Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες που εγείρονται σχετικά με τους παλιρροιακούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής εστιάζονται σε μεγάλο βαθμό στα συστήματα παλιρροϊκού φράγματος, τα οποία μπορούν να διαταράξουν τα οικοσυστήματα των εκβολών ποταμών κατά την κατασκευή και τη λειτουργία τους. Οι παλιρροϊκοί φράχτες και οι τουρμπίνες αναμένεται να έχουν ελάχιστη επίδραση στα ωκεάνια οικοσυστήματα. Ωστόσο, οι παλιρροϊκοί φράχτες έχουν τη δυνατότητα να τραυματίσουν ή να σκοτώσουν τα αποδημητικά ψάρια, αλλά αυτές οι δομές μπορούν να σχεδιαστούν για να ελαχιστοποιούν τέτοιες επιπτώσεις.

2.7 Παραγωγή Ενέργειας από Υδρογόνο

Σύμφωνα με τον διεθνή οργανισμό οι ενεργειακές απαιτήσεις του κόσμου θα είναι διπλές μέχρι το έτος 2030. Η κατανάλωση ενέργειας ποικίλλει άμεσα ανάλογα με τον ανθρώπινο πληθυσμό. Η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού είχε ως αποτέλεσμα την αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας. Ο πληθυσμός του κόσμου θεωρείται ότι θα τριπλασιαστεί μέχρι το έτος 2030. Η πιο κοινή μορφή ενέργειας είναι το μεθάνιο ή το φυσικό αέριο που περιλαμβάνει ένα άτομο άνθρακα και τέσσερα άτομα υδρογόνου. Προκειμένου να αποκτήσει το μέγιστο των διαθέσιμων πόρων στη γη, ο κόσμος έχει αρχίσει να μετατρέπει την ενέργεια από τη μια μορφή στην άλλη. Οι ενεργειακοί πόροι από ορυκτά καύσιμα εξαντλούνται γρήγορα και αποτελούν την αιτία της ρύπανσης και της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Ο κόσμος τώρα κοιτάζει προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Διαφορετικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια και τα κύματα είναι πολλά υποσχόμενες εναλλακτικές λύσεις στα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, δεν επαρκούν για να καλύψουν τις απαιτήσεις του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού. Από τα τελευταία

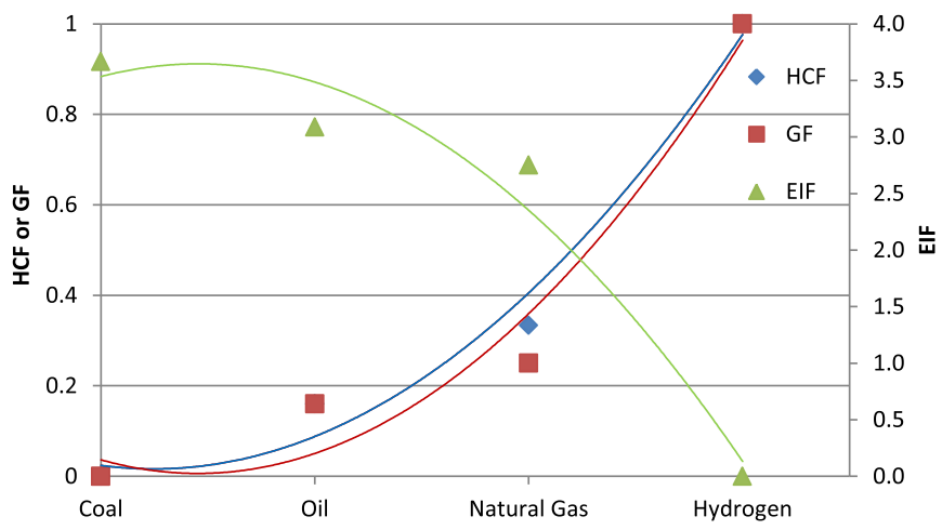
χρόνια, το υδρογόνο έχει αναδειχθεί ως πολλά υποσχόμενο καύσιμο και η ζήτησή του θα εκτιναχθεί στα ύψη τα επόμενα χρόνια.

Το υδρογόνο είναι μια ανανεώσιμη ενέργεια καθώς παράγεται από πηγές που είναι εγγενώς ανανεώσιμες όπως το νερό. Το υδρογόνο μπορεί να μετατραπεί στις εφαρμόσιμες μορφές ενέργειας όπως η ηλεκτρική ενέργεια μέσω της εφαρμογής μικρών συσκευών όπως οι κυψέλες καυσίμου. Όταν το υδρογόνο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια το υποπροϊόν είναι το νερό που είναι αβλαβές. Εκτός από φιλικό προς το περιβάλλον, το ενεργειακό περιεχόμενο του υδρογόνου είναι επίσης πολύ υψηλό.

Το καύσιμο υδρογόνου είναι σημαντική πηγή καθαρής ενέργειας και είναι σημαντικό για την αντιμετώπιση του προβλήματος της έλλειψης ορυκτών καυσίμων και έχει μεγάλη επέκταση χρήσης. Επιπλέον, τα ορυκτά καύσιμα είναι κύρια αιτία επιβλαβών ρύπων όπως τα οξειδία του άνθρακα, του θείου και του αζώτου που παράγονται ως υποπροϊόν της καύσης ορυκτών καυσίμων με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του πλανήτη. Διαφορετικοί παράγοντες καυσίμων που επηρεάζουν το περιβάλλον και την απόδοσή του δίνονται από διαφορετικούς δείκτες όπως ο συντελεστής περιβαλλοντικών επιπτώσεων (EIF), ο συντελεστής πρασίνου (GF) και η περιεκτικότητα σε παράγοντα υδρογόνου (HCF). Το καύσιμο υδρογόνου έχει τον χαμηλότερο συντελεστή πρόσκρουσης και τον υψηλότερο συντελεστή πράσινων, επομένως το καθιστά ένα από τα καθαρότερα καύσιμα.

Το αέριο υδρογόνο πρέπει να παράγεται σε μεγάλη κλίμακα και έχει ερευνηθεί εκτενώς, όσον αφορά τις πηγές παραγωγής υδρογόνου, τις μεθόδους εξαγωγής υδρογόνου από διάφορες πηγές υδρογόνου, τις διαδικασίες και τεχνικές αποθήκευσης υδρογόνου και τη μεταφορά και χρήση του υδρογόνου σε διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές. Το αειφόρο υδρογόνο μπορεί να παραχθεί από διάφορους διαφορετικούς πόρους, όπως νερό, υδρόθειο, αμμωνία, υδρογονάνθρακες και η βιομάζα. Στην παραγωγή υδρογόνου εμπλέκονται διαφορετικές μέθοδοι εκχύλισης από αυτές τις πηγές. Μετά την παραγωγή υδρογόνου, το επόμενο μεγάλο βήμα είναι η αποθήκευση υδρογόνου. Το H_2 δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αέριο καύσιμο σε διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές. Ως μέσο καυσίμου, πρέπει να αποθηκευτεί με τρόπο που να διασφαλίζει φορητές εφαρμογές καθώς και σκοπούς χρήσης του σε αυτοκίνητα.

Ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους το υδρογόνο εξακολουθεί να μην χρησιμοποιείται ως καύσιμο κύριας πηγής είναι οι περιορισμοί στην αποθήκευση του υδρογόνου. Η αποθήκευση του υδρογόνου θα πρέπει να είναι αναστρέψιμη σε συνθήκες περιβάλλοντος ή μπορεί να απελευθερωθεί από το αποθηκευτικό υλικό κατά παραγγελία. Όταν το αέριο υδρογόνο έρχεται κοντά στο υλικό που απορροφά το υδρογόνο, μερικά από τα μόρια που πλησιάζουν (ανάλογα με τη φύση του προσροφητικού) αναπτύσσουν φυσική συσχέτιση ή ασθενή αλληλεπίδραση Van der Waals με την επιφάνεια του υλικού και απορροφούνται σε αυτήν. Όταν παρέχεται επαρκώς υψηλή ενέργεια είτε μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία είτε την πίεση, τα μόρια του υδρογόνου διασπώνται σε άτομα και σχηματίζουν χημικούς δεσμούς με το προσροφητικό. Η αντιστροφή των συνθηκών θερμοκρασίας ή πίεσης απελευθερώνει το προσροφημένο υδρογόνο.



Σχήμα 45: Συντελεστής περιβαλλοντικών επιπτώσεων (EIF), ο συντελεστής πρασίνου (GF) και η περιεκτικότητα σε παράγοντα υδρογόνου (HCF) του υδρογόνου κι άλλων ορυκτών καυσίμων. Πηγή: Dincer, I., & Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. *International Journal of Hydrogen Energy*

Κεφάλαιο 3. Μοντελοποίηση Μικροδικτύου

3.1 Μελέτη Περίπτωσης για το νησί της Χίου

3.1.1 Περιοχή Μελέτης

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλο αριθμό νησιών, περίπου 6.000. Τα νησιά είναι το κύριο μορφολογικό χαρακτηριστικό της Ελλάδας και μόνο 227 από τα 600 είναι κατοικήσιμα. Η ακτογραμμή της Ελλάδας είναι περίπου 13.676 km.

Η Χίος είναι νησί του Κεντρικού Αιγαίου και το πέμπτο μεγαλύτερο της Ελλάδας με έκταση 842 km² και μήκος ακτών 213 km. Διοικητικά αποτελεί την Περιφερειακή Ενότητα Χίου, η οποία ανήκει στην Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου μαζί με τα Ψαρά και τα Αντίψαρα (στη δυτική πλευρά) και τις Οινούσσες (στην ανατολική πλευρά).

Ο πληθυσμός της ανέρχεται σε 51.320 κατοίκους (απογραφή 2011), που ζει στην πόλη της Χίου, πρωτεύουσα και κύριο λιμάνι του νησιού, καθώς και στα 64 χωριά του νησιού. Ακόμα η Χίος έχει μεγάλη απόδημη κοινότητα σε Λονδίνο και Νέα Υόρκη.

3.1.2 Δίκτυο Ισχύος Χίου

Όσον αφορά το ηλεκτρικό σύστημα της Χίου, το νησί είναι ένα από τα 32 μη διασυνδεδεμένα ελληνικά νησιά. Το ενεργειακό σύστημα της Χίου για το 2020 στηριζόταν σε εννιά(9) γεννήτριες συνολικής ισχύος 64.452 kW και ως αποτέλεσμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται μαζούτ. Μέχρι στιγμής χρησιμοποιούνται ΑΠΕ για παραγωγή στο νησί της Χίου, όπου σε λειτουργία βρίσκονται 12 Αιολικά Πάρκα συνολική ισχύος 8.825 kW από τα οποία το ένα ισχύος

1.8 MW βρίσκεται στα Ψαρά, ενώ τα υπόλοιπα στη Χίο. Επίσης, λειτουργούν 55 PV σταθμοί συνολικής ισχύος 5.175 kW.

Η συνολική παραγωγή της θερμικής μονάδας του νησιού για ηλεκτρική ενέργεια για το έτος 2020 σύμφωνα με τον ΔΕΔΔΗΕ ήταν 175.855,69 MWh. Επιπλέον, το μέσο ετήσιο μεταβλητό κόστος των συμβατικών μονάδων του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος Χίου είναι ίσο με 100.07 €/MWh για το 2020. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για το 2020 το μέσο σταθμισμένο ετήσιο κόστος αγοράς μαζούτ(HFO) κυμάνθηκε στα 383,03 €/tn και το μέσος ετήσιο πρόσθετο κόστος λειτουργίας και συντήρησης υπολογίζεται για κάθε μονάδα και ισούται με 4,22 €/MWh. Το μέσο σταθερό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συμβατικού σταθμού παραγωγής του συστήματος Χίου για το έτος 2020, προέκυψε ίσο με 52,19 €/MWh. Το συνολικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συμβατικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής του συστήματος ήταν 152,26 €/MWh. Επιπλέον, το συνολικό φορτίο για το έτος 2020 ήταν 22.626 MW.

Πίνακας 3: Τύποι γεννητριών και χαρακτηριστικά τους για την Χίο το 2020 σύμφωνα με τον ΔΕΔΔΗΕ.

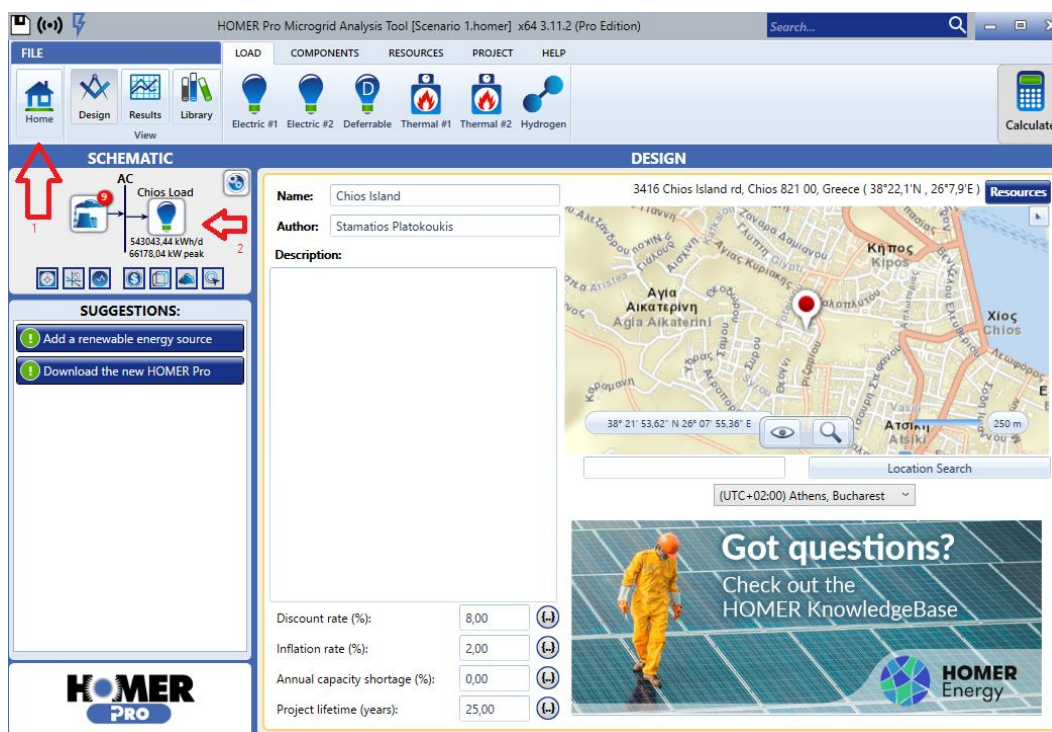
No.	Τύπος Γεννήτριας	Καύσιμο	Pmax (kW)	Pmin (kW)
1	H.S.D/MAN 9K60	HFO	14.476	7.238
2	H.S.D/MAN 9K60	HFO	14.476	7.238
3	CEGIELSKI 9RTAF58	HFO	11.000	61.40
4	CEGIELSKI 9RTAF58	HFO	9.000	5.500
5	GMT A420.12	HFO	3.500	2.340
6	GMT A420.12	HFO	3.500	2.340
7	GMT A420.12	HFO	3.500	2.340
8	GMT - FIAT C4212ESS	HFO	2.500	1.600
9	GMT - FIAT C4212ESS	HFO	2.500	1.600

Το μικροδίκτυο που προτείνεται σε αυτή τη μελέτη έχει κύριο στόχο την κάλυψη των απαιτήσεων φορτίου για το ετήσιο φορτίο της Χίου. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται από το μικροδίκτυο είναι η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, ενώ παράλληλα χρησιμοποιούνται γεννήτριες ντίζελ, και μπαταρίες για αποθήκευση ενέργειας, προκειμένου να ελέγχεται η διακοπτόμενη φύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ παράγουν τάση εξόδου τύπου AC με την χρήση inverter που μετατρέπει το DC σε AC. Επίσης, οι γεννήτριες ντίζελ και οι ανεμογεννήτριες παράγουν τάση εξόδου AC. Επιπλέον, υπάρχει ένας αμφίδρομος μετατροπέας(converter) με κύριο σκοπό τη φόρτιση της μπαταρίας αλλάζοντας την τάση AC σε τάση DC. Ακόμα, παρέχει εναλλασσόμενο ρεύμα τύπου επιστροφής από την μπαταρία στους καταναλωτές όταν υπάρχει τέτοια ανάγκη. Το φορτίο των κατοίκων του νησιού θεωρείται τύπου AC.

3.2 Ηλεκτρικές Καταναλώσεις Χίου

Στο εργαλείο μοντελοποίησης HOMER η πρώτη παράμετρος που πρέπει να εισαχθεί και η πιο σημαντική είναι το ηλεκτρικό φορτίο που βρίσκεται δίπλα στην επιλογή των εξαρτημάτων από τη βιβλιοθήκη του λογισμικού HOMER. Όσον αφορά το προφίλ ηλεκτρικού φορτίου για το νησί της Χίου, το ηλεκτρικό φορτίο κατέστη δυνατό να ανακτηθεί από τον ΔΕΔΔΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.), σε ωριαία βάση για το έτος 2020. Εισήχθη αρχείο κειμένου με 8760 τιμές στο λογισμικό HOMER.

Για την εύρεση του προφίλ ηλεκτρικού φορτίου της Χίου για το 2020, επιλέγουμε την καρτέλα HOME στο πρόγραμμα του HOMER PRO (1) κι έπειτα επιλέγουμε πάνω στο εικονίδιο του φορτίου της Χίου (2).



Σχήμα 46: Βήμα (1) και (2) για την εύρεση του προφίλ ηλεκτρικού φορτίου της Χίου για το 2020.

Στη συνέχεια κατευθυνόμαστε στην καρτέλα του ηλεκτρικού φορτίου το οποίο έχει διαμορφωθεί εντός του λογισμικού, όπου επιλέγουμε το εικονίδιο plot (3) προκειμένου να ανακατευθυνθούμε σε νέο παράθυρο που διαθέτει το ω του ηλεκτρικού φορτίου.

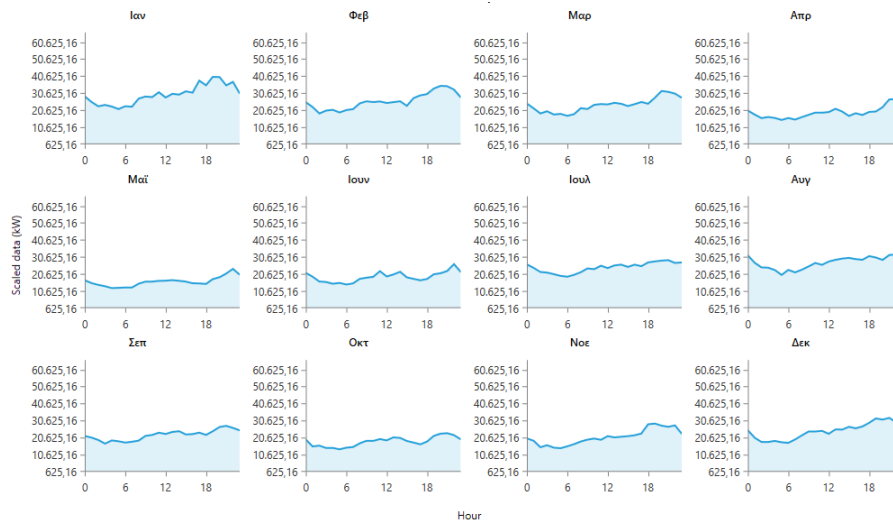


Σχήμα 47: Βήμα (3) για την εύρεση του προφίλ ηλεκτρικού φορτίου της Χίου για το 2020.

Τέλος, ανοίγει το παράθυρο Time Series Detail Analysis όπου επιλέγουμε το tab Profile (4).



Σχήμα 48: Βήμα (4) για την εύρεση του προφίλ ηλεκτρικού φορτίου της Χίου για το 2020.

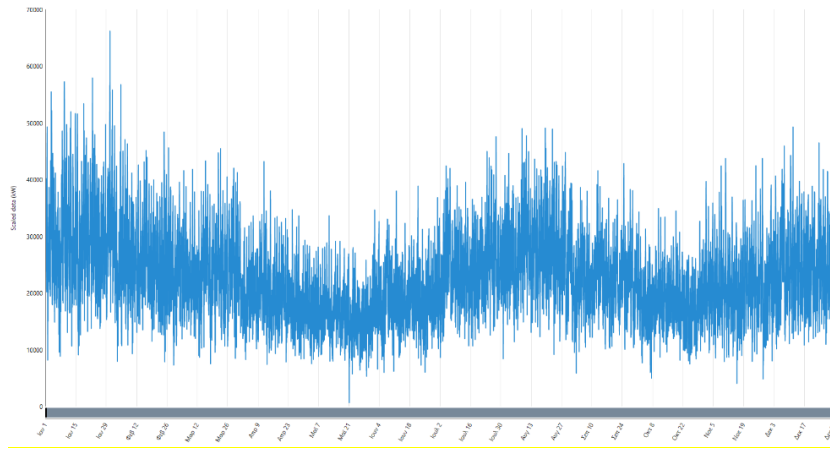


Σχήμα 49: Ημερήσια μεταβολή του προφίλ ηλεκτρικού φορτίου της Χίου για το 2020.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί το φορτίο κατανάλωσης αυξάνεται στις αρχές του έτους, για τον μήνα Ιανουάριο του 2020, και σημειώνει μια αύξηση τον καλοκαιρινό μήνα του Αυγούστου. Για τον μήνα Ιανουάριο η σημαντική αύξηση σημειώνεται από τις 18:00, το οποίο πιθανόν αιτιολογείται από την χρήση ηλεκτρικών οικιακών συσκευών θέρμανσης που χρησιμοποιούνται από το καταναλωτικό κοινό που έχει επιστρέψει από την εργασία του στον οικιακό του χώρο. Αντίθετα, για τον μήνα Αύγουστο η υψηλή αύξηση του φορτίου πιθανώς αιτιολογείται από την χρήση κλιματιστικών συσκευών από τις 12:00 που επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες. Το μέγιστο φορτίο κατανάλωσης των 43,22 MW σημειώνεται στις 21 Ιανουαρίου στις 19:00. Η μέση κατανάλωση του νησιού είναι 543.043 kWh/day και το μέσο φορτίο κατανάλωσης 22.626 kW.

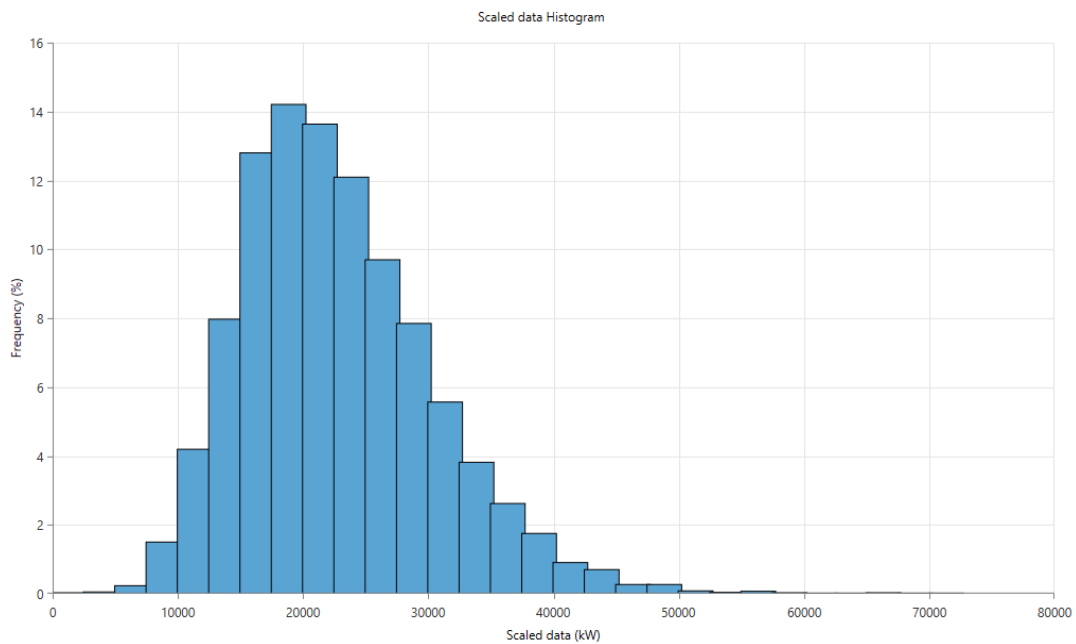
Επιπλέον, η διακύμανση του ηλεκτρικού φορτίου κατά τη διάρκεια της ημέρας από 15 έως 25 MW παρατηρούνται κατά τις νυχτερινές ώρες 0:00–6:00 ώρες. Στη συνέχεια, οι ώρες αιχμής κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι 11:00 έως 14:00 και αργά το απόγευμα 18:00 έως 21:00. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το καθημερινό φορτίο αιχμής εμφανίζεται από τις 10:00 έως τις 14:00 και το απόγευμα από τις 18:00 έως τις 23:00.

Παραμένοντας στο παράθυρο Time Series Detail Analysis, μεταβαίνοντας στη πρώτη καρτέλα Hourly από την καρτέλα Profile (5) βρίσκουμε το Ετήσιο φορτίο κατανάλωσης Χίου ανά ώρα.



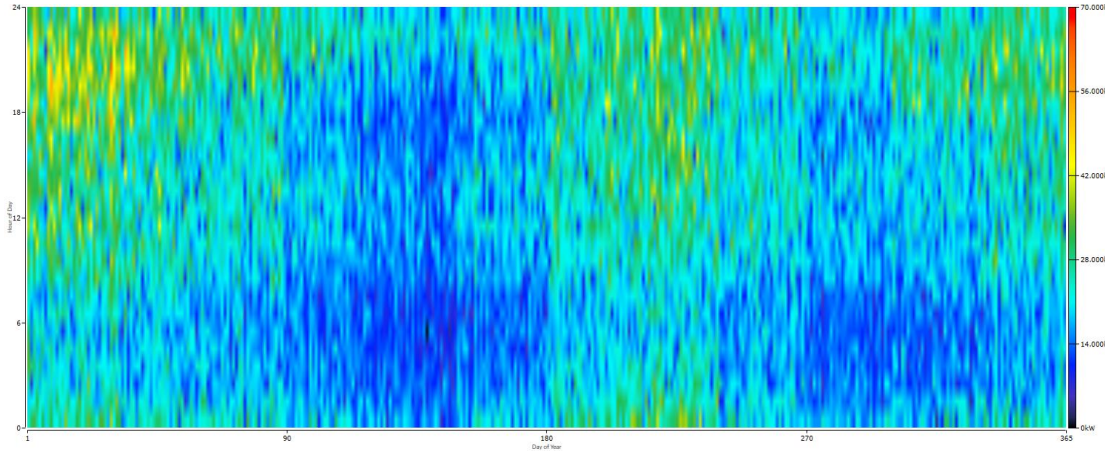
Σχήμα 50: Ετήσιο φορτίο κατανάλωσης Χίου για το 2020.

Στο ίδιο παράθυρο Time Series Detail Analysis, με την μετάβαση στην καρτέλα Histogram (6) βρίσκουμε Ιστόγραμμα Ζήτησης για το σύστημα της Χίου για το 2020.



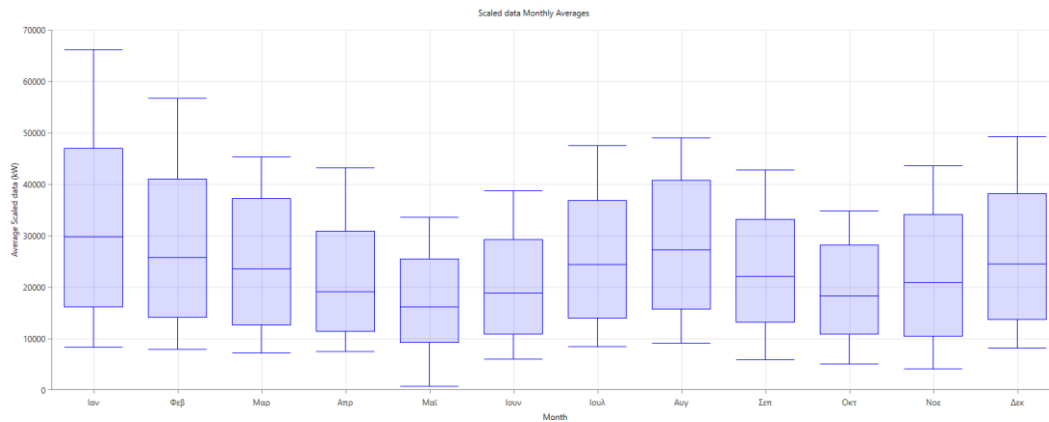
Σχήμα 51: Ιστόγραμμα Ζήτησης για το σύστημα της Χίου για το 2020.

Στο ίδιο παράθυρο Time Series Detail Analysis, με την μετάβαση στην καρτέλα DMap (7) βρίσκουμε το Data-Map του μηνιαίου προφίλ του φορτίου της Χίου για το 2020.



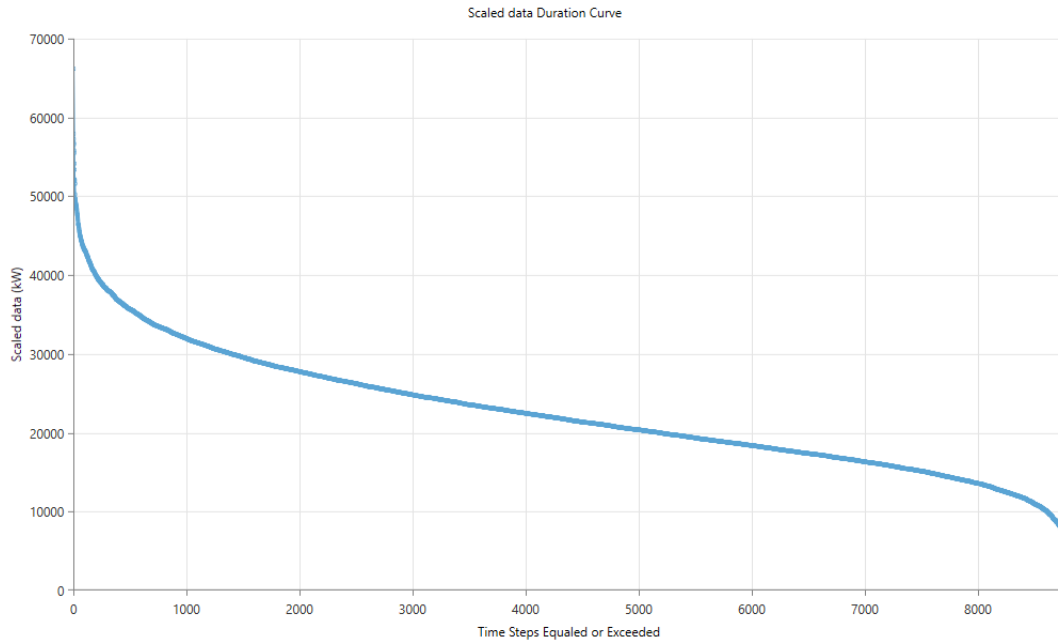
Σχήμα 52: Data-Map του μηνιαίου προφίλ του φορτίου της Χίου για το 2020.

Στο ίδιο παράθυρο Time Series Detail Analysis, με την μετάβαση στην καρτέλα Monthly (9) βρίσκουμε το Εποχιακό προφίλ φορτίου της Χίου για το 2020.



Σχήμα 53: Εποχιακό προφίλ φορτίου της Χίου για το 2020.

Στο ίδιο παράθυρο Time Series Detail Analysis, με την μετάβαση στην καρτέλα CDF (10) βρίσκουμε την Καμπύλη Διάρκειας Φορτίου για το σύστημα της Χίου για το 2020.



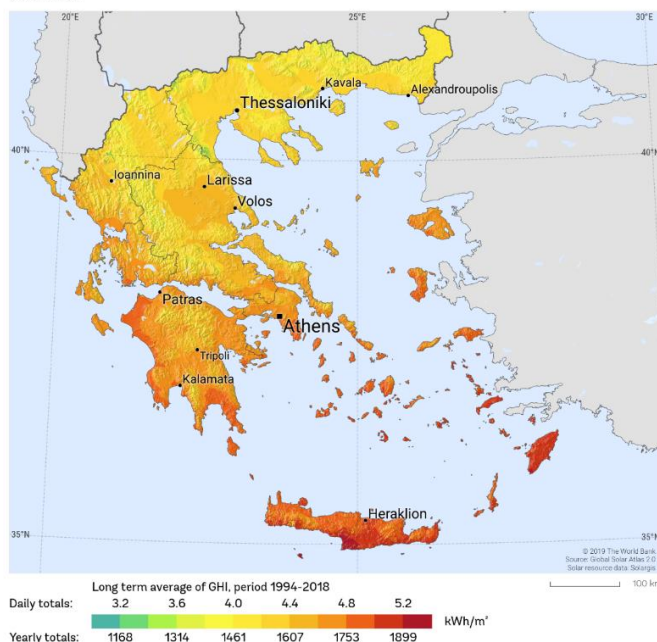
Σχήμα 54: Καμπύλη Διάρκειας Φορτίου για το σύστημα της Χίου για το 2020.

3.3 Δεδομένα Ηλιακής Ακτινοβολίας και Αξιολόγηση Ανεμολογικών Δεδομένων

3.3.1 Δεδομένα Ηλιακής Ακτινοβολίας

Η Ελλάδα έχει μεγάλες δυνατότητες για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία στο νησί της Χίου είναι σε υψηλά επίπεδα. Για τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας υπάρχουν δύο τρόποι εισαγωγής τους στο λογισμικό HOMER. Πρώτον, το HOMER δίνει την ευκαιρία αυτόματης ανάκτησης ηλιακών δεδομένων από τις δορυφορικές βάσεις δεδομένων του NREL και της NASA για το καθορισμένο γεωγραφικό πλάτος και μήκος μέσω σύνδεσης στο Διαδίκτυο. Ο δεύτερος τρόπος που προσφέρει το λογισμικό HOMER σχετικά με τα ηλιακά δεδομένα είναι ότι η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να εισαχθεί, με χρονικά βήματα πολλών μεγεθών μεταξύ 60 λεπτών και ενός λεπτού σε ένα αρχείο κειμένου.

**GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION
GREECE**

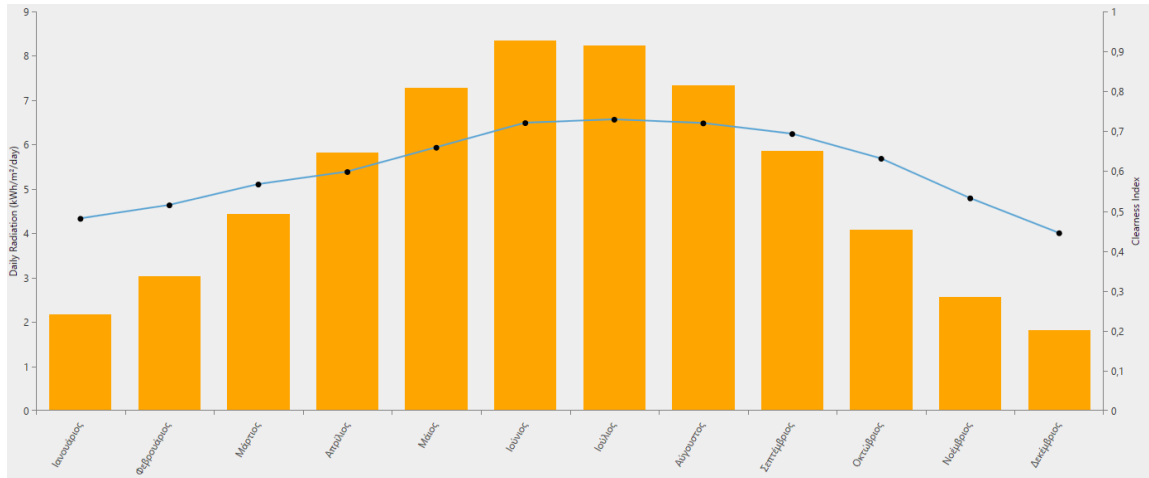


Σχήμα 55: Παγκόσμια Οριζόντια Ακτινοβολία (GHI), Ελλάδα 1994-2018. Πηγή: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/greece>

Η ημερήσια ακτινοβολία ανά μήνα εισήχθη στο λογισμικό HOMER. Τα παγκόσμια δεδομένα οριζόντιας ακτινοβολίας ανακτήθηκαν από το Φωτοβολταϊκό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών για το έτος 2020 για το νησί της Χίου (γεωγραφικό πλάτος 38,21, γεωγραφικό μήκος 26,79). Η μέση ετήσια ηλιακή παγκόσμια οριζόντια ακτινοβολία είναι 5,08 kWh/m²/day.

Πίνακας 4: Μηνιαία Δεδομένα Ακτινοβολίας για το νησί της Χίου.

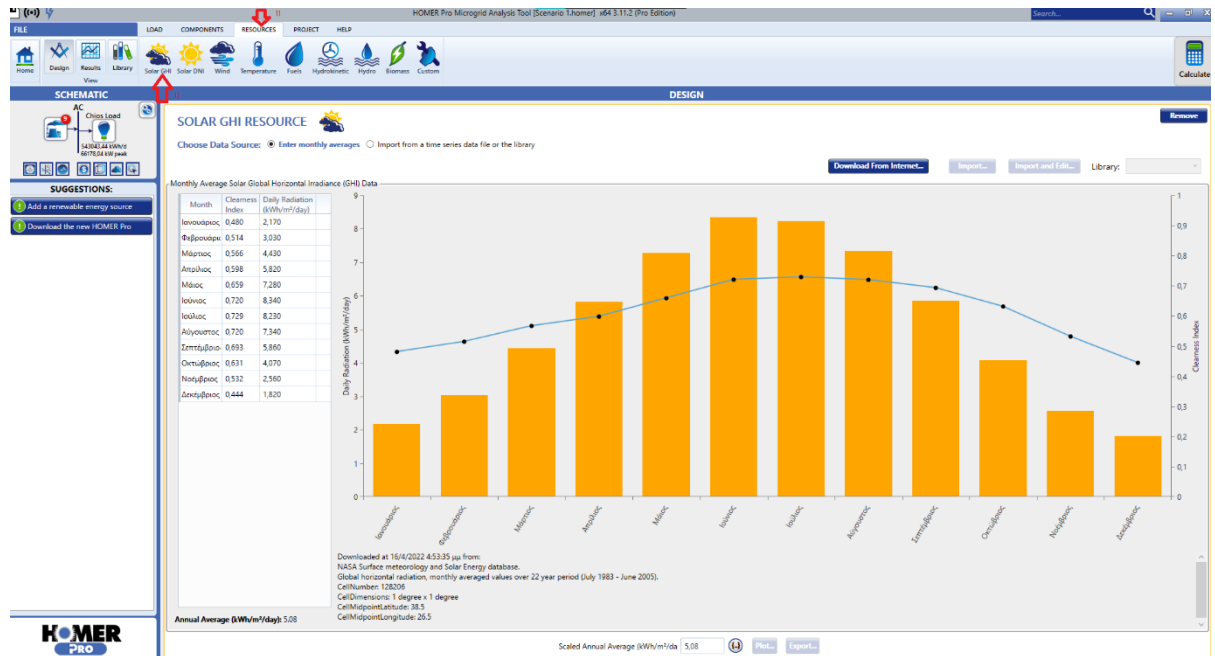
Μήνας	Δείκτης Καθαρότητας	Ημερήσια Ακτινοβολία kWh/m ² /day
Ιανουάριος	0,480	2,170
Φεβρουάριος	0,514	3,030
Μάρτιος	0,566	4,430
Απρίλιος	0,598	5,820
Μάιος	0,659	7,280
Ιούνιος	0,720	8,340
Ιούλιος	0,729	8,230
Αύγουστος	0,720	7,340
Σεπτέμβριος	0,693	5,860
Οκτώβριος	0,631	4,070
Νοέμβριος	0,532	2,560
Δεκέμβριος	0,444	1,820



Σχήμα 56: Μηνιαίες πηγές ηλιακής ακτινοβολίας και δείκτης καθαρότητας.

Όπως φαίνεται, ο Ιούνιος ήταν ο πιο ηλιόλουστος μήνας με 8,34 kWh/m²/day ημερήσιας ακτινοβολίας και η ελάχιστη τιμή ημερήσιας ακτινοβολίας ήταν 1,82 kWh/m²/day τον Δεκέμβριο. Επιπλέον, ο δείκτης καθαρότητας είναι ένα μέτρο της καθαρότητας της ατμόσφαιρας και δείχνει την ηλιακή ακτινοβολία που μεταδίδεται στην επιφάνεια της γης. Η τιμή του δείκτη καθαρότητας κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Σε αυτή τη μελέτη η μέγιστη τιμή είναι 0,729 τον Ιούλιο και η ελάχιστη τιμή του δείκτη είναι 0,444 τον Δεκέμβριο.

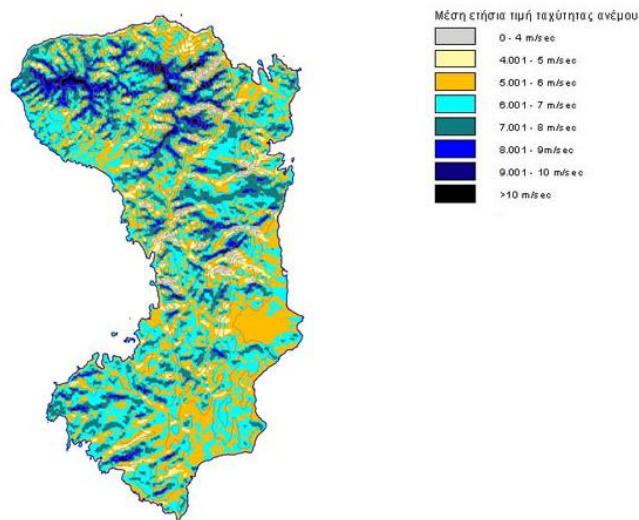
Η διαδικασία για την εύρεση των δεδομένων εντός του λογισμικού ήταν η αρχική επιλογή της καρτέλας RESOURCES(11) κι η επιλογή της καρτέλας έπειτα Solar GHI (12).



Σχήμα 57: Βήμα (11) και (12) για την εύρεση Μηνιαίων πηγών της ηλιακής ακτινοβολίας και δείκτης καθαρότητας για το νησί της Χίου το 2020.

3.3.2 Αξιολόγηση Ανεμολογικών Δεδομένων

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλο δυναμικό αξιοποίησης ανέμου. Οι άνεμοι είναι υψηλές όλο το χρόνο σε όλη τη χώρα, στην ηπειρωτική χώρα και ιδιαίτερα στα νησιά. Όσον αφορά τη μελέτη αυτή, η Χίος θεωρείται ιδανική τοποθεσία για αιολικές εφαρμογές και όπως φαίνεται παρακάτω από τον ανεμολογικό χάρτη της Χίου οι μέσες ετήσιες ταχύτητες ανέμου κυμαίνονται από 5-6 m/s έως 7 m/s.

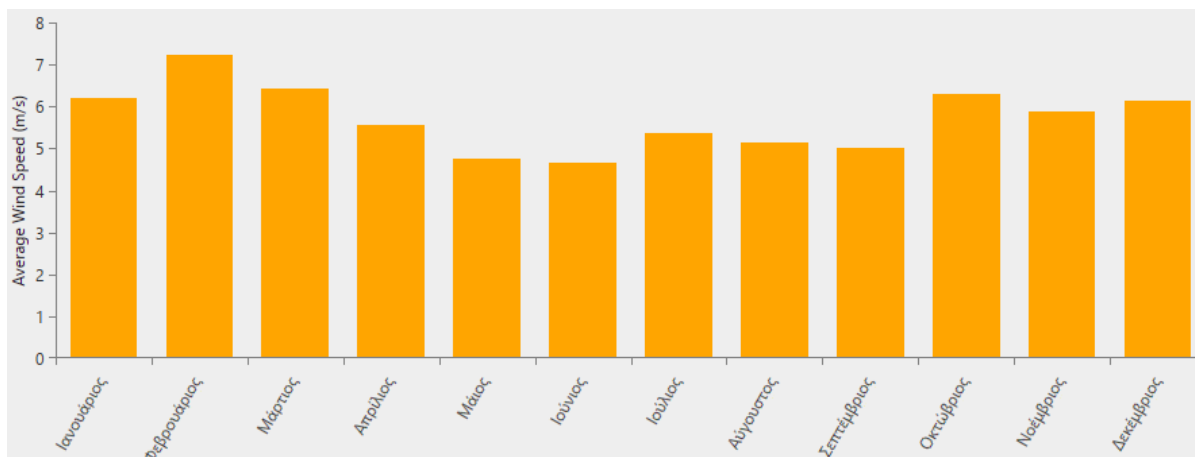


Σχήμα 58: Ανεμολογικός Χάρτης Χίου. Πηγή: <http://www.cres.gr/kape/maps/aioliko/Chios.htm>

Παρόμοια με τους ηλιακούς πόρους, μετρήθηκαν οι ταχύτητες του ανέμου για να εισαχθούν στο λογισμικό HOMER. Η ταχύτητα του ανέμου στα 50 μέτρα πάνω από το επίπεδο του εδάφους μετρήθηκε από την πρόβλεψη της NASA. Η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου είναι 5,72 m/s. Τέλος, οι ταχύτητες ανέμου επαρκούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες και υπάρχει αρκετό δυναμικό αιολικής ενέργειας στο νησί.

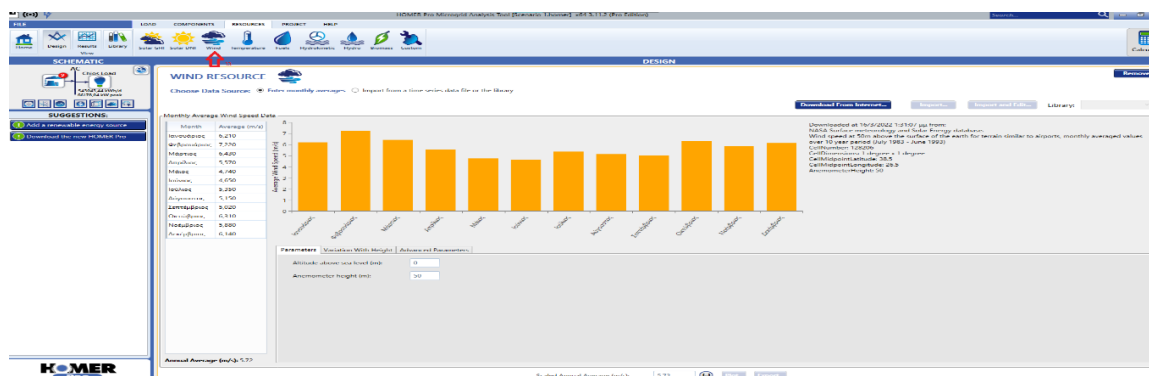
Πίνακας 5: Δεδομένα για τον Μέσο Όρο Ταχυτήτων Ανέμου ανά μήνα για την Χίο.

Μήνας	Μέσος όρος Ταχύτητας Ανέμου (m/s)
Ιανουάριος	6,210
Φεβρουάριος	7,220
Μάρτιος	6,430
Απρίλιος	5,570
Μάιος	4,740
Ιούνιος	4,650
Ιούλιος	5,350
Αύγουστος	5,150
Σεπτέμβριος	5,020
Οκτώβριος	6,310
Νοέμβριος	5,880
Δεκέμβριος	6,140



Σχήμα 59: Μέσος όρος Ταχυτήτων Ανέμου ανά μήνα για την Χίο για το 2020.

Η διαδικασία για την εύρεση των Μέσων όρων Ταχυτήτων Ανέμου ανά μήνα για την Χίο για το 2020 είναι με την παραμονή στην καρτέλα RESOURCES και την επιλογή της καρτέλας Wind (13).

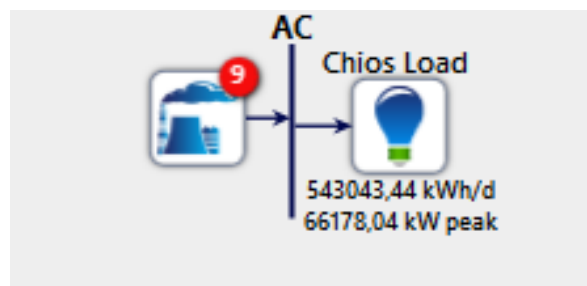


Σχήμα 60: Βήμα (13) για την εύρεση των Μέσων όρων Ταχυτήτων Ανέμου ανά μήνα για την Χίο για το 2020.

3.4 Συστήματα προσομοίωσης – Σενάρια

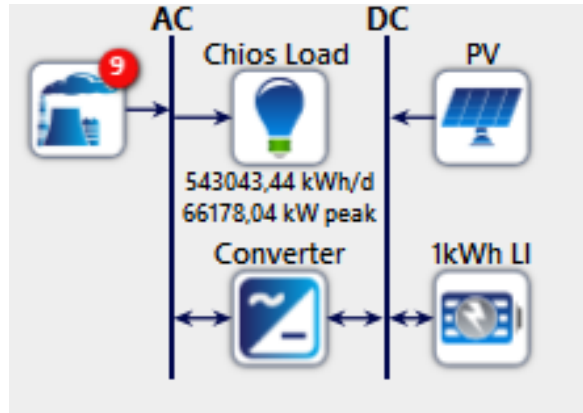
Το λογισμικό HOMER μετά την προσομοίωση διαφορετικών διαμορφώσεων εξαρτημάτων του ενεργειακού συστήματος, καταλήγει και εμφανίζει στον χρήστη για εκτεταμένη ανάλυση μόνο τα εφικτά σενάρια σχημάτων ισχύος. Η παρούσα μελέτη πρόκειται να προτείνει ένα ανανεώσιμο μικροδίκτυο χωρίς να προκληθούν προβλήματα σταθερότητας στο δίκτυο της Χίου. Επιπλέον, η μελέτη προσομοίωσης θα πραγματοποιηθεί σε διαφορετικά σενάρια προκειμένου να επαληθευτεί η αποτελεσματικότητα της προσθήκης ΑΠΕ και αποθήκευσης (μπαταριών) στο υφιστάμενο ηλεκτρικό σύστημα της Χίου καθώς και μικροδικτύου 100 % ΑΠΕ με αποθήκευση. Η μείωση της λειτουργίας και χρήσης των γεννητριών ντίζελ είναι μια σημαντική πτυχή που μελετά η παρούσα διπλωματική. Το ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα της Χίου αποτελείται από 9 συμβατικές γεννήτριες συνολικής ισχύος 64.5 MW που είναι σχεδόν ίσο με το φορτίο αιχμής του συστήματος (66,2 MW). Το φορτίο αιχμής και η υψηλή ζήτηση φορτίου διαρκεί μόνο σε μια συγκεκριμένη εποχή του έτους (χειμώνας) και τον υπόλοιπο χρόνο η μέση ζήτηση φορτίου είναι μικρότερη. Για το σκοπό αυτό, στην παρούσα μελέτη διατυπώθηκαν 3 βασικά σενάρια για την ηλεκτροδότηση της νήσου Χίου. Το πρώτο σενάριο περιλαμβάνει μόνο τις συμβατικές μονάδες των γεννητριών ώστε να επιβεβαιώσουμε το κόστος ενέργειας που δίνει ο ΔΕΔΔΗΕ για την λειτουργία τους μεμονωμένα. Το δεύτερο σενάριο περιλαμβάνει μπαταρία, φωτοβολταϊκά ηλιακά πάνελ και συμβατικές μονάδες γεννητριών με υψηλή ενεργειακή εφεδρεία από ΑΠΕ. Το τρίτο σενάριο περιλαμβάνει μπαταρία, φωτοβολταϊκά ηλιακά πάνελ, συμβατικές μονάδες γεννητριών και ανεμογεννήτριες με υψηλή ενεργειακή εφεδρεία από ΑΠΕ. Τέλος, το τέταρτο σενάριο περιλαμβάνει την μελέτης της περίπτωσης από >90% κάλυψη ενέργειας από ΑΠΕ με χρήση μπαταρίας, PV και Α/Γ.

Για το 1^ο Σενάριο, θα χρησιμοποιηθούν όλες οι ήδη εγκατεστημένες συμβατικές μονάδες γεννητριών συνολικής ισχύος 64.452 kW.



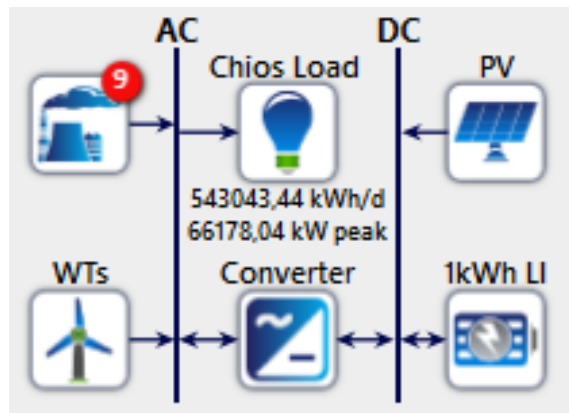
Σχήμα 61: Σενάριο 1 με χρήση Συμβατικών Μονάδων Γεννητριών.

Για το 2^ο Σενάριο, θα χρησιμοποιηθούν οι 55 Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί συνολικής ισχύος 5.175 kW, μαζί με τις εγκατεστημένες συμβατικές μονάδες γεννητριών συνολικής ισχύος 64.452 kW και την μπαταρία.



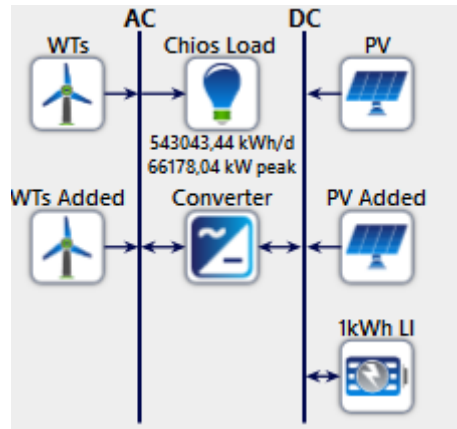
Σχήμα 62: Σενάριο 2 με χρήση Συμβατικών Μονάδων Γεννητριών, PV και μπαταρίας.

Για το 3^ο Σενάριο, θα χρησιμοποιηθούν οι 55 Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί συνολικής ισχύος 5.175 kW, μαζί με τις εγκατεστημένες συμβατικές μονάδες γεννητριών συνολικής ισχύος 64.452 kW, την μπαταρία και τις Α/Γ συνολικής ισχύος 8.550 kW.



Σχήμα 63: Σενάριο 3 με χρήση Συμβατικών Μονάδων Γεννητριών, PV, μπαταρίας και Α/Γ.

Τέλος, για το 4^ο Σενάριο, θα επιχειρήσουμε την υλοποίηση του συστήματος μόνο με ΑΠΕ, χωρίς την λειτουργία των συμβατικών μονάδων. Το μικροδίκτυο αποτελείται από Α/Γ, PV και μπαταρία. Όπως γίνεται κατανοητό η διείσδυση σε ΑΠΕ σε αυτή την περίπτωση είναι μεγάλη της τάξεως του 100%, με προσθήκη παραπάνω ισχύος από Α/Γ και φωτοβολταϊκά.



Σχήμα 64: Σενάριο 3 PV, μπαταρίας και Α/Γ, 100% ΑΠΕ.

Για την εισαγωγή των στοιχείων (Components) μεταβαίνουμε στην καρτέλα COMPONENTS (14) εντός του λογισμικού όπου βρίσκουμε όλα τα στοιχεία που θα χρειαστούμε και στη συνέχεια επιλέγουμε καθένα ξεχωριστά (Controller, Generator, PV, Wind Turbine, Storage, Converter) ώστε από τις ήδη υπάρχουσες βιβλιοθήκες του λογισμικού να επιλέξουμε τα ειδικά στοιχεία που μας ενδιαφέρουν.



Σχήμα 65: Βήμα (14) για την επιλογή των στοιχείων που μας ενδιαφέρουν για νησί της Χίου για το 2020.

3.5 Δεδομένα κόστους και Χαρακτηριστικά Μεγέθους Αποτελούμενων Στοιχείων Μικροδικτύου

Ένας από τους κύριους σκοπούς αυτής της εργασίας είναι η βέλτιστη διαμόρφωση του συστήματος ισχύος που θα ικανοποιούσε τη ζήτηση φορτίου με ελάχιστο NPC και COE. Τρία είναι τα κύρια κόστη που λαμβάνει υπόψη το λογισμικό HOMER Pro: Κόστος κεφαλαίου, Κόστος Αντικατάστασης και Κόστος O & M (Λειτουργίας και Συντήρησης). Κόστος Κεφαλαίου θεωρείται το συνολικό εγκατεστημένο κόστος αυτού του στοιχείου στην αρχή του έργου. Κόστος αντικατάστασης είναι το κόστος αντικατάστασης ενός στοιχείου στο τέλος της διάρκειας ζωής του. Αυτό το κόστος θα μπορούσε να είναι διαφορετικό από το Κόστος Κεφαλαίου για πολλούς διαφορετικούς λόγους, στο τέλος της διάρκειας ζωής τους δεν είναι υποχρεωτικό ένα στοιχείο να πρέπει να αντικατασταθεί. Το

κόστος αντικατάστασης είναι σταθερό εάν παρουσιαστεί δυσλειτουργία ενώ το αρχικό Κόστος Κεφαλαίου μπορεί να εξαλειφθεί ή να μειωθεί από έναν δωρητή οργανισμό. Επιπλέον, τα πάγια κόστη στο κόστος Κεφαλαίου ή άλλα πάγια έξοδα προσμετρώνται σε αντίθεση με το Κόστος Αντικατάστασης όπου δεν λογίζονται. Κόστος λειτουργίας και συντήρησης θεωρείται το άθροισμα του κόστους κάθε στοιχείου του συστήματος για τη λειτουργία και τη συντήρησή του. Τέλος, σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τα μεγέθη και το κόστος κάθε στοιχείου του μικροδικτύου.

Εντός του λογισμικού κάθε καρτέλα στοιχείου ξεχωριστά διαθέτει πληροφορίες προσθήκης των δεδομένων εισαγωγής για τον νησί της Χίου για το 2020 σε συνδυασμό με τα δεδομένα που υπάρχουν προς διάθεση από τον ΔΕΔΔΗΕ. Πεδία εισαγωγής δεδομένων στο λογισμικό όπως κόστη στοιχείων (Costs), (Fuel Resource, Fuel Curve) για τις Συμβατικές μονάδες και το Διάστημα Αναζήτησης (Search Space) υπάρχουν σε καθεμία καρτέλα Στοιχείου (Components).

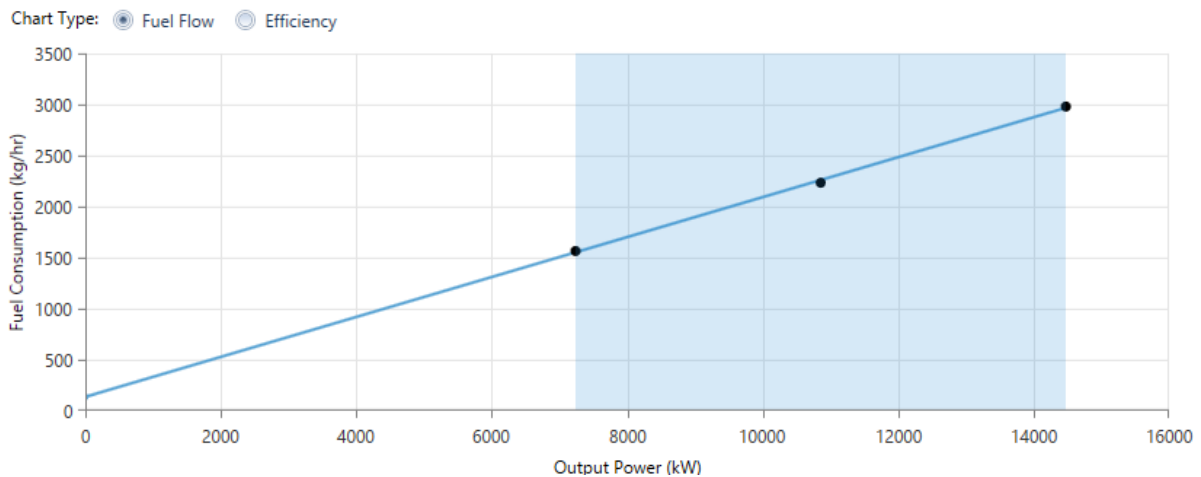
3.5.1 Ανάλυση Συμβατικών Γεννητριών

Οι Συμβατικές Γεννήτριες χρησιμοποιούνται ευρέως σε μικροδίκτυα ως εφεδρική πηγή ενέργειας με κύριο στόχο τη βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος. Η Συμβατική Γεννήτρια είναι μια μηχανή που συνδυάζει έναν κινητήρα κατανάλωσης ειδικού καυσίμου με μια ηλεκτρική γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πιο σημαντικές ιδιότητες μιας Συμβατικής Γεννήτριας είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς της, η αναμενόμενη διάρκεια ζωής της σε ώρες λειτουργίας, ο τύπος καυσίμου που καταναλώνει μαζί με την ειδική κατανάλωση καυσίμου και η καμπύλη καυσίμου που σχετίζεται με την ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται με την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ.

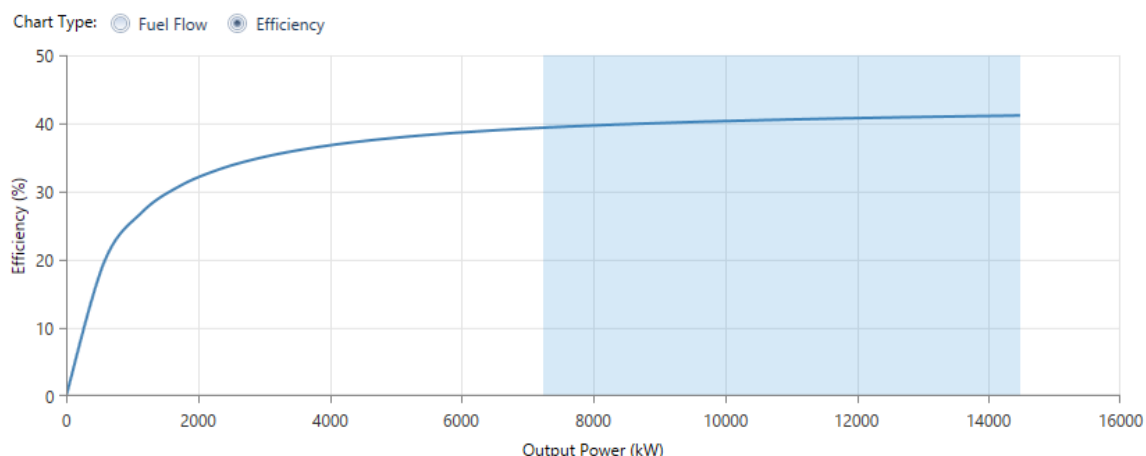
Πίνακας 6:Χαρακτηριστικά Λειτουργίας Συμβατικών Γεννητριών.

Τύπος Γεννήτριας	H.S.D/MAN 9K60	CEGIELSKI 9RTAF58	CEGIELSKI 9RTAF58	GMT A420.12	GMT - FIAT C4212ESS
Καύσιμο	HFO	HFO	HFO	HFO	HFO
P _{max} (kW)	14.476	11.000	9.000	3.500	2.500
P _{min} (kW)	7.238	6.140	5.500	2.341	1.600
Διάρκεια Ζωής(hr)	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Ελάχιστο Όριο Λειτουργίας(%)	50	56	61.1	66.9	64
Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου [Λειτουργία 100%] (kg/hr)	2.979,1608	2.274,8	1.861,2	809,2	643,5
Κόστος Κεφαλαίου (€)	0	0	0	0	0
Κόστος Αντικατάστασης(€/kW)	350	350	350	350	350
Κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας (€/hr)	0,061	0,046	0,038	0,015	0,011
Κόστος Καυσίμου (€/tn)	383,03	383,03	383,03	383,03	383,03
Χρήση Μονάδων Σενάριο 1	2	1	1	3	2
Χρήση Μονάδων Σενάριο 2	2	1	1	3	2
Χρήση Μονάδων Σενάριο 3	2	1	1	3	2
Χρήση Μονάδων Σενάριο 4	0	0	0	0	0

Το κόστος Συντήρησης & Λειτουργίας διαμορφώνεται σύμφωνα με την δοθείσα τιμή του ΔΕΔΔΗΕ, που ανέρχεται σε 4,22 €/MWh. Επίσης, δίνεται από τον ΔΕΔΔΗΕ η ειδική κατανάλωση κάθε γεννήτριας για το 50%, 75% και 100% της λειτουργίας τους αντίστοιχα, βάσει των οποίων διαμορφώνεται κι εκάστοτε καμπύλη απόδοσης συμβατικής γεννήτριας με χρήση του λογισμικού HOMER PRO. Ενδεικτικά, για την γεννήτρια H.S.D/MAN 9K60 έχουμε:



Σχήμα 66: Γράφημα Κατανάλωσης Καυσίμου Γεννήτριας H.S.D/MAN 9K60.



Σχήμα 67: Καμπύλη Απόδοσης Γεννήτριας H.S.D/MAN 9K60.

3.5.2 Ανάλυση Ηλιακών PV πάνελ

Για το έτος 2020 είναι 5.175 kW εγκατεστημένα στο σύστημα της Χίου. Το κόστος αντικατάστασης του συστήματος θεωρήθηκε 800€/kW και το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης στα 12€/kW.

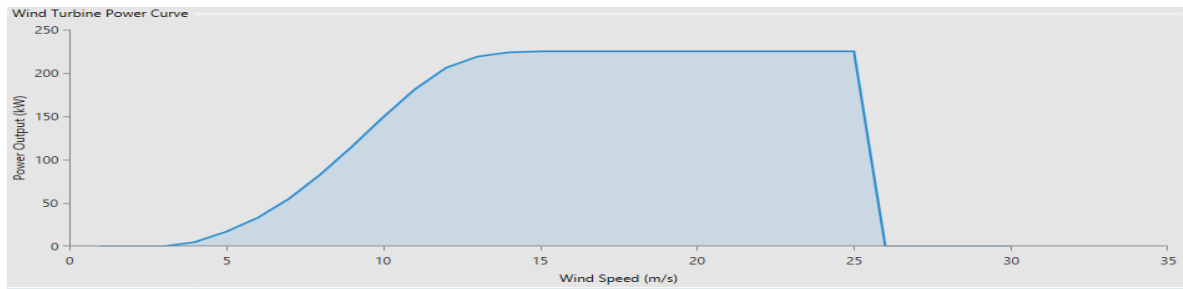
Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά Εγκατεστημένων PV στην Χίο για το έτος 2020.

Τύπος PV	Generic Flat Plate
Εξεταζόμενα Μεγέθη [Search Space](kW)	2.000,2.500,3.000,3.500,4.000,4.500,5.000,5.175
Τύπος	DC
Σύστημα Παρακολούθησης Ηλίου	OXI
Δείκτης Ανακλαστικότητας Εδάφους (%)	20
Κλίση(°)	38,37
Διάρκεια Ζωής(Έτη)	25

Στο HOMER PRO εισάγουμε τα δεδομένα με την επιλογή search space όπου μελετάμε όλα τα πιθανά σενάρια αξιοποίησης ισχύος των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Μία παραπάνω χρήσιμη δυνατότητα που θα αξιοποιηθεί στο 4^ο Σενάριο είναι το Homer Optimizer που σε συνδυασμό με άλλες ΑΠΕ θα μας δώσει την βέλτιστη επέκταση του συστήματος σε επίπεδο φωτοβολταϊκών. Το κόστος κεφαλαίου ή αλλιώς το αρχικό κόστος εγκατάστασης, για την νέα εγκατάσταση PV θεωρήθηκε 1.000€/kW.

3.5.3 Ανάλυση Ανεμογεννητριών

Για το έτος 2020, στο νησί τις Χίου είναι εγκατεστημένες Α/Γ συνολικής ισχύος 8.55 MW. Το αρχικό κόστος εγκατάστασης θεωρήθηκε 1.200€/kW, το κόστος αντικατάστασης 1.000€ και το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας 40.000€. Οι ανεμογεννήτριες που θα αξιοποιηθούν από τις βιβλιοθήκες του HOMER PRO είναι στον αριθμό 38 ισχύος 225 kW, Vestas V27. Ακόμα, θεωρήθηκε η διάρκεια ζωής στα 20 έτη. Ο δυναμικός περιορισμός διείσδυσης των αιολικών στο σύστημα της Χίου είναι στο 30%. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως το σύστημα θα πρέπει να είναι έτοιμο να παρέχει ενέργεια από την χωρητικότητα του ακόμα κι αν η ενέργεια που παράγεται από την Α/Γ μειωθεί κατά 30%.



Σχήμα 68: Καμπύλη ισχύος Α/Γ Vestas V27.

3.5.4 Ανάλυση Μπαταρίας

Ο κύριος λόγος επιλογής μπαταρίας είναι το κόστος και η αξιοπιστία της. Βάσει αυτών των κριτηρίων επιλέχθηκε μπαταρία Ιόντων Λιθίου (Li-Ion), οι οποίες κυριαρχούν στην αγορά. Το αρχικό κόστος εγκατάστασης για 1 kWh θεωρήθηκε στα 140€, το κόστος αντικατάστασης στα 90€ και το ετήσιος κόστος συντήρησης και λειτουργίας στα 10€. Η απόδοση αυτών των μπαταριών κυμαίνεται γύρω από το 90% και διαθέτουν βάθος εκφόρτισης ίσο με 100%.

3.5.4 Ανάλυση Μετατροπέα

Ένας μετατροπέας μπορεί να λειτουργεί ως ανορθωτής/rectifier (AC/DC), ως αντιστροφέας/inverter (DC/AC) ή να μπορεί να εκτελέσει και τις δύο μετατροπές. Ζητούμενο στην παρούσα περίπτωση είναι το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα στοιχεία μας να μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο, να διοχετεύεται στο AC δίκτυο διανομής (AC bus) και τελικά να αξιοποιείται για την εξυπηρέτηση του φορτίου. Ο μετατροπέας που επιλέχθηκε για τις προσομοιώσεις έχει εκτιμώμενο χρόνο ζωής 15 έτη, 95% όταν λειτουργεί ως αντιστροφέας και 90% όταν λειτουργεί ως ανορθωτής. Το αρχικό κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στα 300€/kW, το κόστος αντικατάστασης υπολογίζεται στα 250€/kW, ενώ το κόστος συντήρησης και λειτουργίας στα 50€/έτος.

3.5.5 Περιορισμοί Συστήματος

Το ποσοστό της λειτουργικής εφεδρείας που ορίζεται από τον ΔΕΔΔΗΕ είναι στο 10% το οποίο σημαίνει ότι το σύστημα θα πρέπει να διατηρήσει ενέργεια από την χωρητικότητα του ώστε να υποστηρίξει μία ξαφνική αύξηση του φορτίου κατά 10%.

Η ενέργεια που προέρχεται από τις Α.Π.Ε. τροφοδοτεί το φορτίο. Η περίσσεια ενέργειας της Α.Π.Ε. χρησιμοποιείται για την φόρτιση των συσσωρευτών. Αν οι συσσωρευτές φορτίζονται πλήρως η περισσότερη ενέργεια δεν διατίθεται για χρήση.

Αν η ενέργεια που παράγεται από το σύστημα μας δεν επαρκεί για την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, έχουμε απώλεια φορτίου. Το πρόγραμμα υπολογίζει κάθε έλλειμμα ενέργειας κατά τη διάρκεια του έτους, και διαιρεί με τη συνολική ενέργεια που ζητά το ηλεκτρικό φορτίο. Με τον τρόπο αυτό ορίζεται ο συντελεστής απώλειας φορτίου. Ο χρήστης ορίζει τη μέγιστη τιμή του συντελεστή και το Homer απορρίπτει ως μη τεχνικά εφικτή κάθε υλοποίηση που υπερβαίνει το όριο που έχει τεθεί. Στην εργασία η τιμή του συντελεστή ορίσθηκε 10%.

3.5.6 Στρατηγική Ελέγχου και Διαχείρισης Συστήματος

Ο μηχανισμός ελέγχου ροής ισχύος είναι μια σημαντική παράμετρος εισόδου για το σύστημα ισχύος. Η στρατηγική ελέγχου είναι απλή όταν το μικροδίκτυο περιλαμβάνει στοιχεία φωτοβολταϊκών, ανέμου και μπαταρίας, ωστόσο γίνεται πολύπλοκη όταν η γεννήτρια περιλαμβάνεται σε αυτό, καθώς είναι η γνώση της φόρτισης των μπαταριών και της τροφοδότησης ισχύος είτε από τις μπαταρίες ή από την γεννήτρια.

Κυκλική φόρτιση(Cycle charging): οι μπαταρίες πρέπει να φορτιστούν στην κατάσταση φόρτισης του σημείου ρύθμισης όταν το σύστημα αρχίσει να φορτίζει χωρίς διακοπή έως ότου φτάσει στο σημείο φόρτισης. Βοηθά στη μείωση του αριθμού των κύκλων εκκίνησης της γεννήτριας, των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης της τράπεζας μπαταριών καθώς και του χρόνου σπατάλης της μπαταρίας στην ελάχιστη κατάσταση φόρτισης.

Ως ακόλουθη φόρτιση(Load following): αυτό σημαίνει ότι οι μπαταρίες δεν φορτίζονται από τη συμβατική γεννήτρια, λαμβάνει μέγιστο χρόνο φόρτισης όταν οι ανανεώσιμες πηγές αυξάνονται, δηλαδή όταν η παραγόμενη ισχύς είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση φορτίου.

Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα Υλοποίησης Σεναρίων στο HOMER PRO

4.1 Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης

4.1.1 Σενάριο 1 / Δίκτυο από Συμβατικές Γεννήτριες

Πίνακας 8: Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Σεναρίου 1.

Σύστημα Σεναρίου 1 (Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης)	
H.S.D/MAN 9K60 (kW)	14.476
H.S.D/MAN 9K60 (kW)	14.476
CEGIELSKI 9RTAF58 (kW)	11.000
CEGIELSKI 9RTAF58 (kW)	9.000
GMT A420.12 (kW)	3.500
GMT A420.12 (kW)	3.500
GMT A420.12 (kW)	3.500
GMT - FIAT C4212ESS (kW)	2.500
GMT - FIAT C4212ESS (kW)	2.500
Περίσσεια Ηλεκτρικού Ρεύματος (%)	0,0005
NPC (Εκατομμύρια €)	358,72
COE (€)	0,14

Το αποτέλεσμα ως προς την τιμή στο κόστος ενέργειας των συμβατικών μονάδων που δίνει ο ΔΕΔΔΗΕ στα 0.15 €/kWh, είναι μικρότερο στην περίπτωση που αναζητήσαμε μέσα από την βελτιστοποίηση στο HOMER PRO, κι αυτό γιατί ενεργοποιούμε όλες τις Συμβατικές Μονάδες πέραν της μίας H.S.D/MAN 9K60 των 14.476 kW, σε αντίθεση με αυτό που πραγματοποιείται στο νησί, που κατά την διάρκεια του 2020 λειτουργούσαν μόνο οι 4 μεγαλύτερες Συμβατικές Μονάδες, δηλαδή οι δύο H.S.D/MAN 9K60 των 14.476 kW και οι CEGIELSKI 9RTAF58 των 11.000 kW και 9.000 kW, αντίστοιχα και περιστασιακά λόγω βλάβης μία μικρότερη σε ισχύ Συμβατική Γεννήτρια. Ο πιο σημαντικός ωστόσο λόγος που εν προκειμένω το κόστος

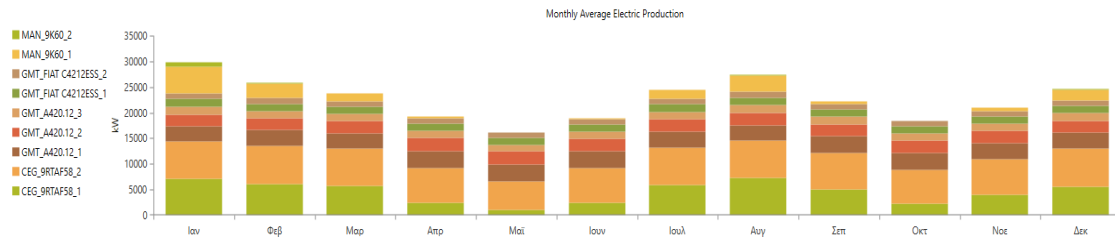
ενέργειας είναι μικρότερο σε αντίθεση με αυτό που μας δίνει ο ΔΕΔΔΗΕ οφείλεται στην πρόβλεψη που κάνει σε αντίθεση με εμάς που εκ των υστέρων γνωρίζουμε με ακρίβεια τα φορτία κατανάλωσης για το έτος 2020. Αυτό κατά συνέπεια σημαίνει ότι στην πραγματική περίπτωση του νησιού για το 2020 η περίσσεια ενέργειας από την ενεργοποίηση των συμβατικών μονάδων είναι αρκετά μεγαλύτερη σε βαθμό που έχει επίδραση στο κόστος ενέργειας κατά 0.07%, από 0.14€/kWh των αποτελεσμάτων σε 0.15 €/kWh που δίνει ο ΔΕΔΔΗΕ.

Production	kWh/yr	%
MAN 9K60(14.476 MW)	13.694.296	6.91
MAN 9K60(14.476 MW)	796.180	0.402
CEGELSKI 9RTAF58(11 MW)	40.089.041	20.2
CEGELSKI 9RTAF58(9 MW)	61.032.305	30.8
GMT A420.12(3.5 MW)	27.554.623	13.9
GMT A420.12(3.5 MW)	20.915.122	10.6
GMT A420.12(3.5 MW) (1)	12.713.585	6.41
GMT FIAT C4212ESS(2.5 MW)	12.148.387	6.13
GMT FIAT C4212ESS(2.5 MW)	9.266.565	4.68
Total	198.210.104	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	198.209.130	100
DC Primary Load	0	0
Total	198.209.130	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	975	0.000500
Unmet Electric Load	1.726	0.000900
Capacity Shortage	8.344	0.00420

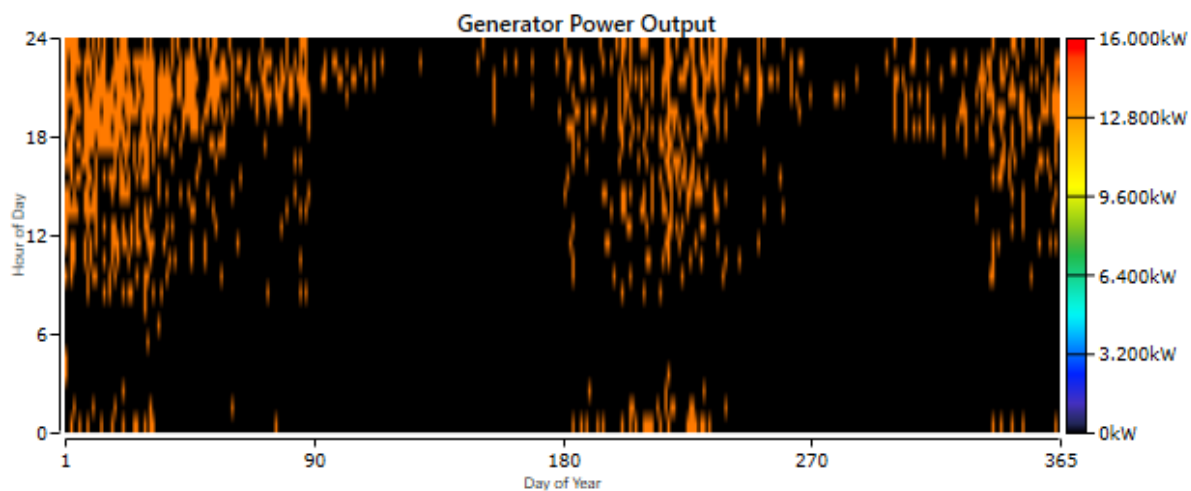
Quantity	Value
Renewable Fraction	0
Max. Renew. Penetration	0



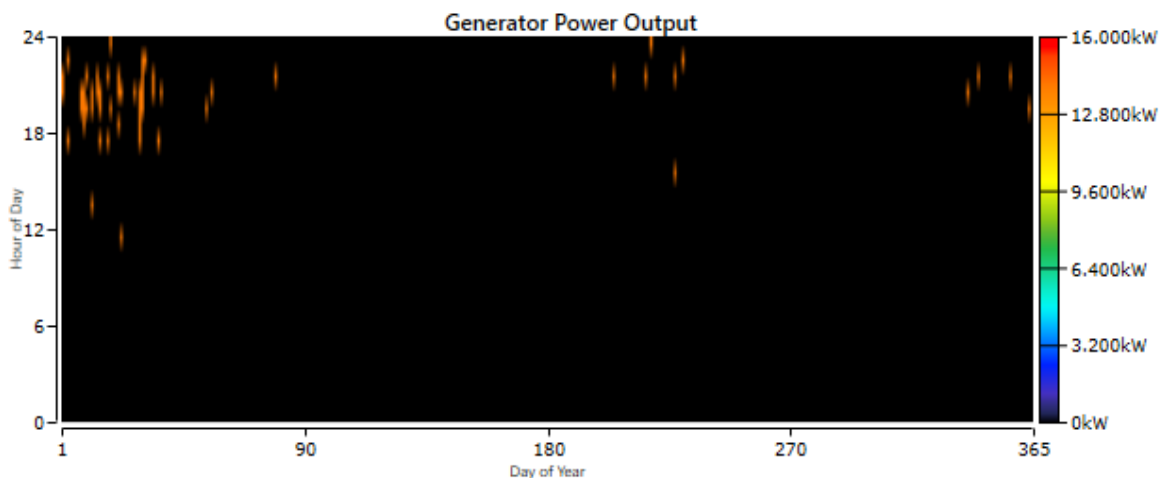
Σχήμα 69: Μηνιαία Παραγωγή Ηλεκτρικού Ρεύματος στο νησί της Χίου για το 2020.

Πίνακας 9: Αναλυτική Ηλεκτρική Παραγωγή και τεχνικά χαρακτηριστικά για βέλτιστη διαμόρφωση του Σεναρίου 1.

Στοιχεία Συστήματος Σεναρίου 1	Παραγωγή (kWh/yr)	Παραγωγή (%)	Μέση Ισχύς Εξόδου (kW)	Ετήσια Κατανάλωση Καυσίμου(kg)	Ώρες Λειτουργίας (hrs/yr)
H.S.D/MAN 9K60 (14.476 kW)	13.694.296	6,91	14.476	2.805.961	946
H.S.D/MAN 9K60 (14.476 kW)	796.180	0,402	14.476	163.137	55
CEGIELSKI 9RTAF58 (11.000 kW)	40.089.041	20,2	10.995	8.234.654	3.646
CEGIELSKI 9RTAF58 (9.000 kW)	61.032.305	30,8	8.892	12.537.889	6.864
GMT A420.12 (3.500 kW)	27.554.623	13,9	3.146	6.355.238	8.758
GMT A420.12 (3.500 kW)	20.915.122	10,6	2.739	4.830.546	7.635
GMT A420.12 (3.500 kW)	12.713.585	6,41	2.448	2.940.042	5.193
GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW)	12.148.387	6,13	1.610	3.171.472	7.547
GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW)	9.266.565	4,68	1.600	2.419.845	5.791
Total	198.210.104	100	-	43.458.785	-



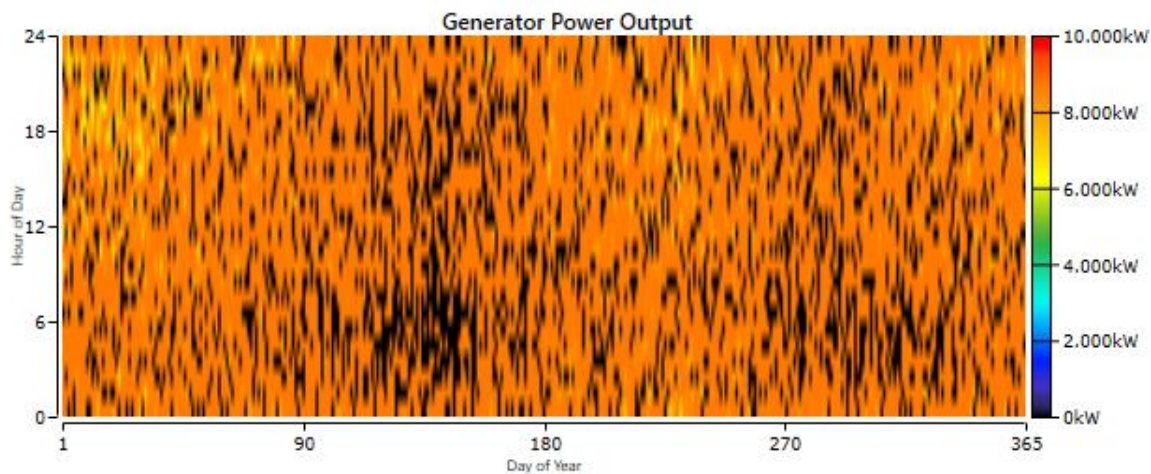
Σχήμα 70: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών MAN 9K60(14.476 kW), Σεναρίου 1.



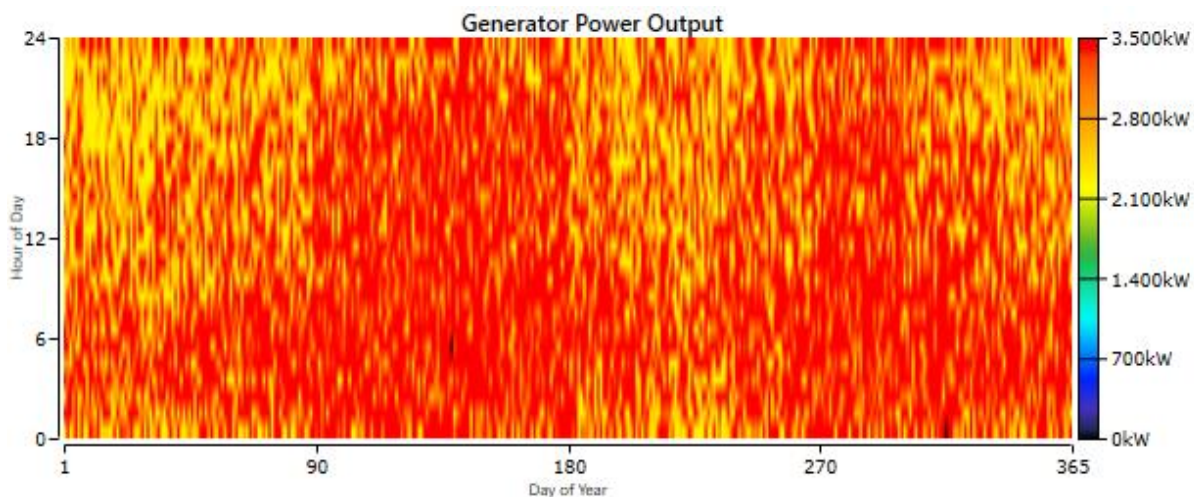
Σχήμα 71: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών MAN 9K60(14.476 kW) , Σεναρίου 1.



Σχήμα 72: Ισχύς Εξόδου της Συμβατικής Γεννήτριας CEGIELSKI 9RTAF58 (11.000 kW) , Σεναρίου 1.



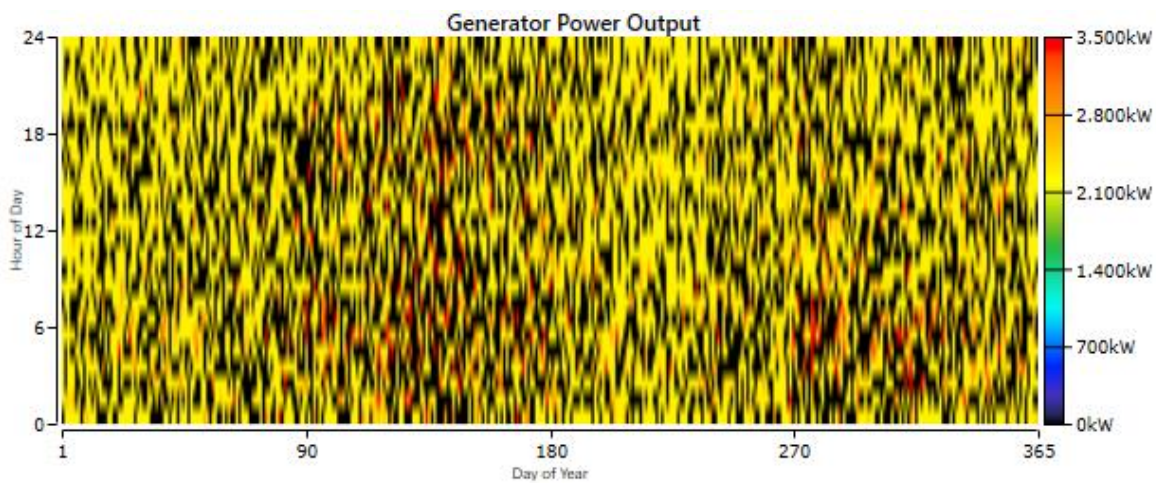
Σχήμα 73: Ισχύς Εξόδου της Συμβατικής Γεννήτριας CEGIELSKI 9RTAF58 (9.000 kW) , Σεναρίου 1.



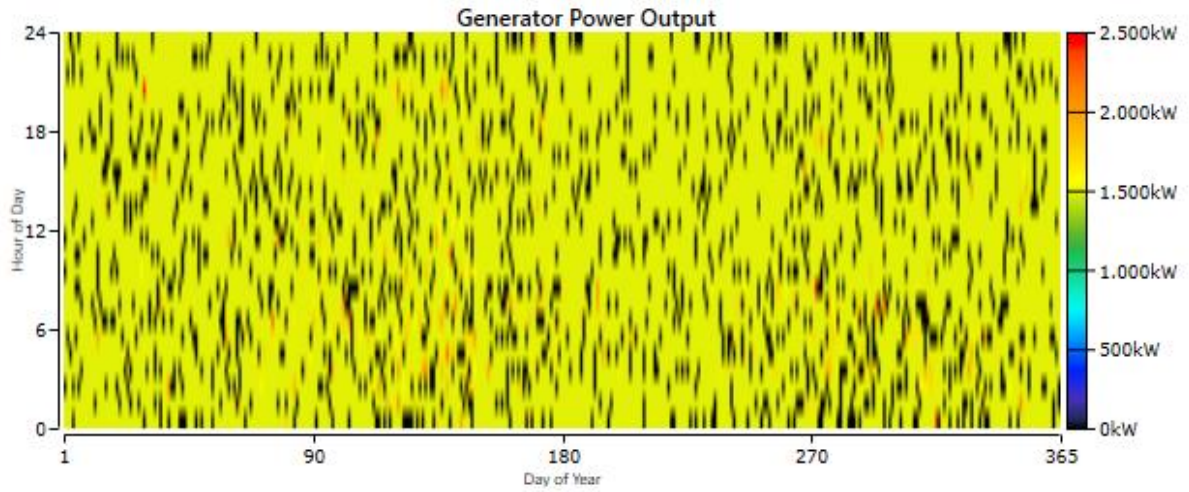
Σχήμα 74: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW) , Σεναρίου 1.



Σχήμα 75: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW) , Σεναρίου 1.



Σχήμα 76: Ισχύς Εξόδου της τρίτης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW) , Σεναρίου 1.



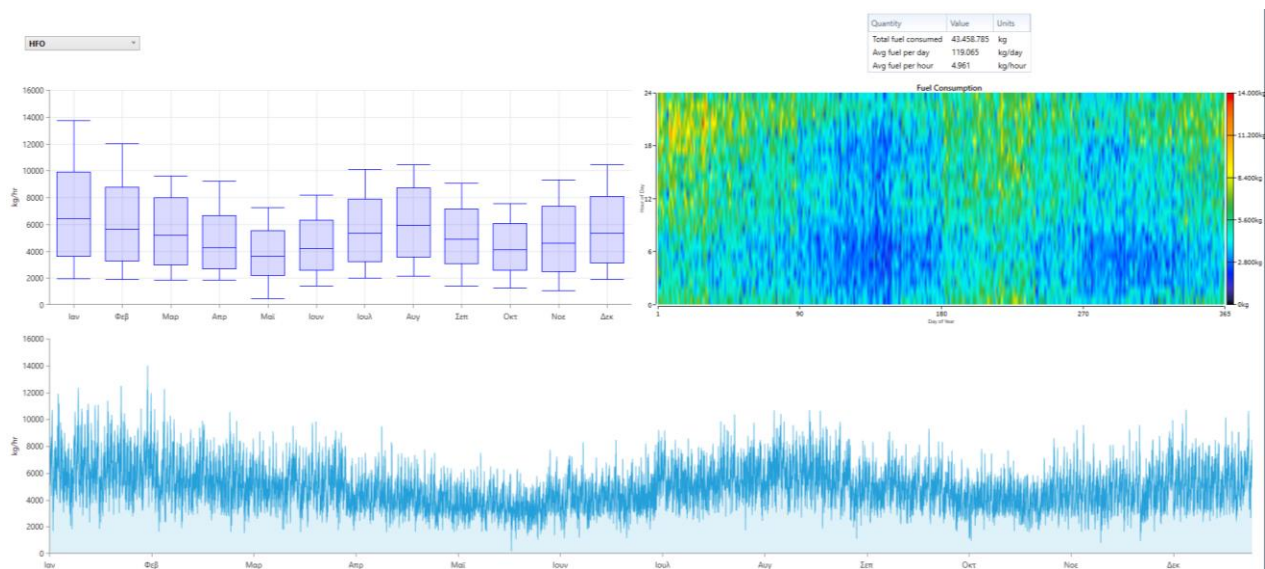
Σχήμα 77: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW), Σεναρίου 1.



Σχήμα 78: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW), Σεναρίου 1.

Πίνακας 10:Εκπομπές Σεναρίου 1.

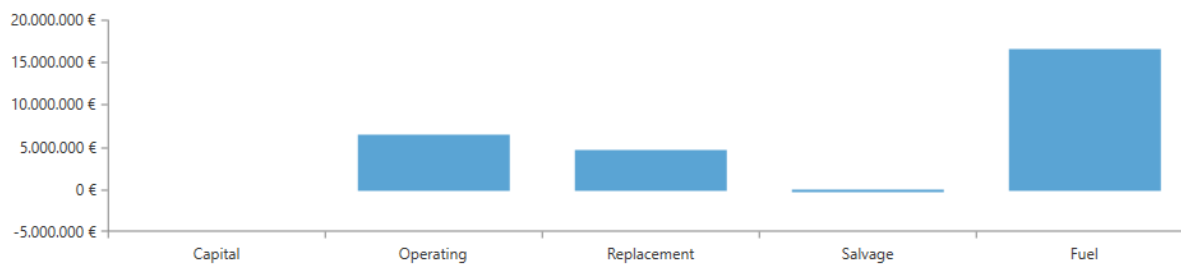
Είδος Εκπομπών	Ποσότητα (kg/yr)
Διοξείδιο του άνθρακα	138.975.633
Μονοξείδιο του άνθρακα	732.084
Άκαυστοι Υδρογονάνθρακες	31.290
Αιωρούμενα σωματίδια	3.756
Διοξείδιο του θείου	339.771
Οξείδια του αζώτου	340.125



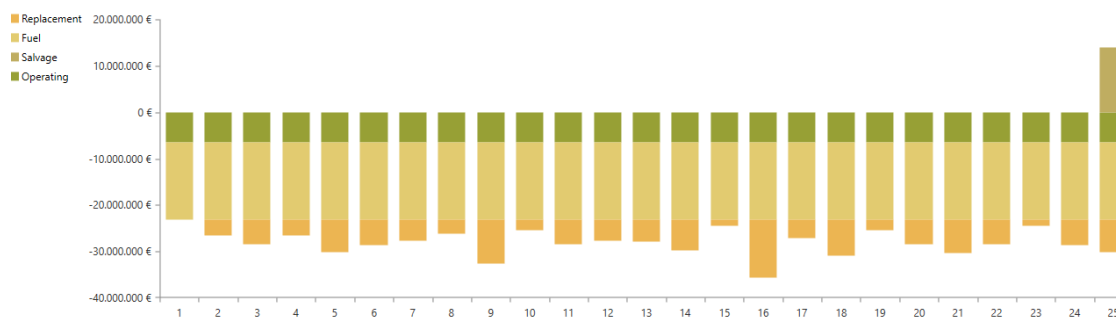
Σχήμα 79: Συνολική Σύνοψη στην Διαχείριση της Κατανάλωσης Καυσίμου για το Σενάριο 1.

Πίνακας 11: Οικονομικά Χαρακτηριστικά ως προς την Καθαρά Παρούσα Αξία για τη Βέλτιστη Ρύθμιση του Σεναρίου 1.

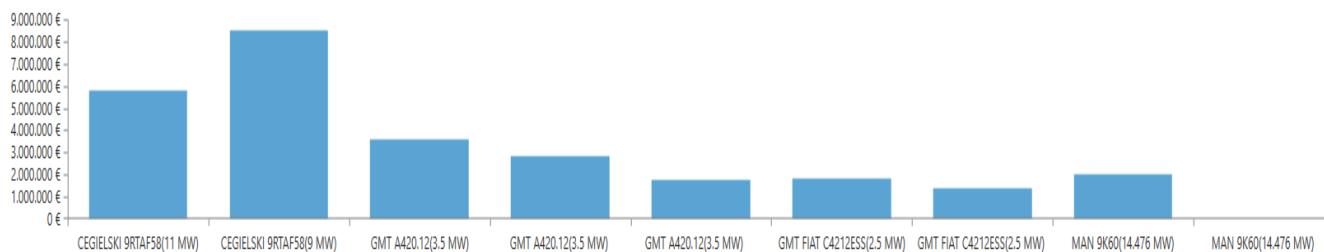
Σύστημα Σενάριο 1	NPC(€)	LCOE (€)	Capital (€)	Replacement (€)	Salvage(€)	O&M(€/yr)	Fuel(€)
Optimal	358.717.604	0,14	0	61.677.388	-3.352.178	85.217.569	215.174.825



Σχήμα 80: Σύνοψη Ετήσιου Κόστους ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 1.



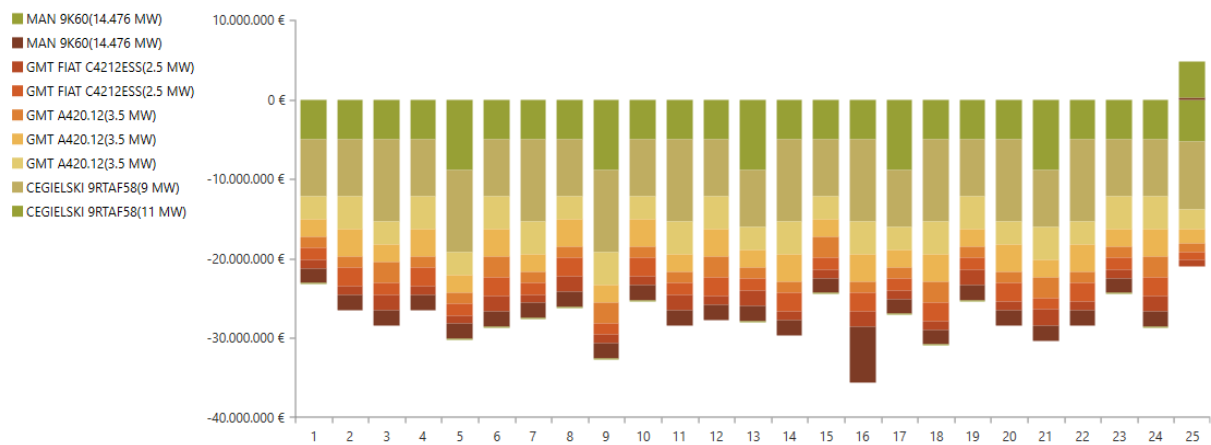
Σχήμα 81: Ταμειακή Ροή ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 1.



Σχήμα 82: Συνολικό Ετήσιο Κόστος ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 1.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
CEGIELSKI 9RTAF58(11 MW)	0,00 €	849.371,05 €	1.861.720,52 €	3.153.872,39 €	-65.874,08 €	5.799.089,88 €
CEGIELSKI 9RTAF58(9 MW)	0,00 €	1.367.924,62 €	2.346.252,48 €	4.802.011,48 €	-32.688,42 €	8.483.500,16 €
GMT A420.12(3.5 MW)	0,00 €	687.354,69 €	459.795,00 €	2.434.056,33 €	-9.155,78 €	3.572.050,24 €
GMT A420.12(3.5 MW)	0,00 €	590.132,54 €	400.837,50 €	1.850.099,17 €	-6.242,58 €	2.834.826,63 €
GMT A420.12(3.5 MW) (1)	0,00 €	386.969,29 €	272.632,50 €	1.126.036,08 €	-7.831,60 €	1.777.806,27 €
GMT FIAT C4212ESS(2.5 MW)	0,00 €	418.666,31 €	207.542,50 €	1.214.673,96 €	-6.837,11 €	1.834.045,67 €
GMT FIAT C4212ESS(2.5 MW)	0,00 €	312.256,68 €	159.252,50 €	926.800,56 €	-5.648,05 €	1.392.661,69 €
MAN 9K60(14.476 MW)	0,00 €	158.340,82 €	835.352,06 €	1.074.683,16 €	-39.746,09 €	2.028.629,95 €
MAN 9K60(14.476 MW)	0,00 €	0,00 €	48.566,98 €	62.481,58 €	-85.281,96 €	25.766,60 €
System	0,00 €	4.771.016,00 €	6.591.952,04 €	16.644.714,73 €	-259.305,66 €	27.748.377,10 €

Σχήμα 83: Αναλυτικό Ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου για το Σενάριο 1.



Σχήμα 84: Ταμειακή Ροή ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 1.

4.1.2 Σενάριο 2 / Δίκτυο από Συμβατικές Γεννήτριες-Φ/Β-Μετατροπέα-Μπαταρία

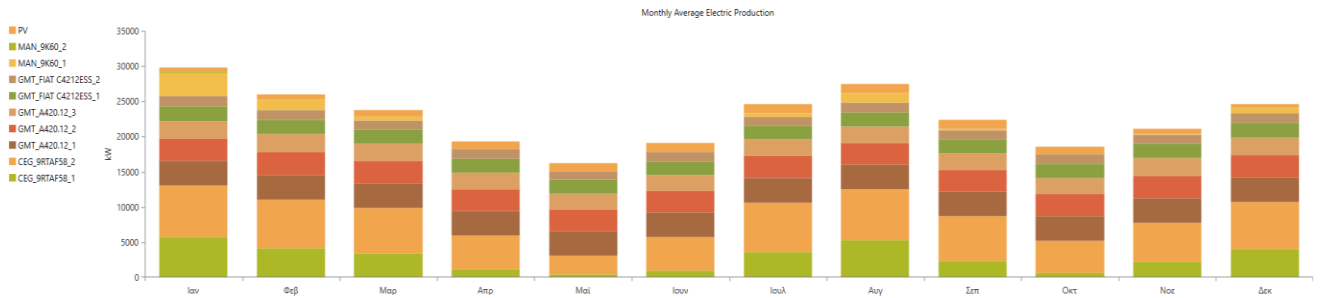
Στο ήδη υπάρχον σύστημα του Σεναρίου 1 γίνεται περαιτέρω προσθήκη Φ/Β μονάδων, μετατροπέα και μπαταρίας. Για το βέλτιστο σενάριο 2 που γίνεται επεξεργασία με το HOMER PRO το NPC είναι 334.300.485 € και το LCOE 0,13 €. Κι οι δύο αυτές τιμές είναι χαμηλότερες από αυτές του Σεναρίου 1. Ακόμα, η συνολική παραγωγή ενέργειας για το σύστημα ισχύος του Σεναρίου 2 είναι 199.249.714 kWh/yr η οποία είναι μεγαλύτερη από αυτή του Σεναρίου 1.

Πίνακας 12: Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Σεναρίου 2.

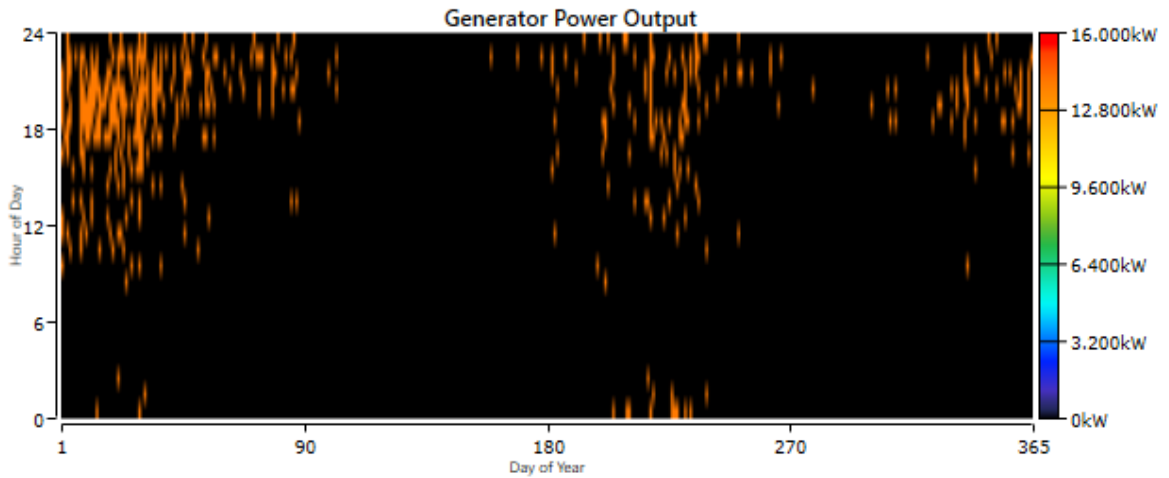
Σύστημα Σεναρίου 2 (Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης)	
H.S.D/MAN 9K60 (kW)	14.476
H.S.D/MAN 9K60 (kW)	14.476
CEGIELSKI 9RTAF58 (kW)	11.000
CEGIELSKI 9RTAF58 (kW)	9.000
GMT A420.12 (kW)	3.500
GMT A420.12 (kW)	3.500
GMT A420.12 (kW)	3.500
GMT - FIAT C4212ESS (kW)	2.500
GMT - FIAT C4212ESS (kW)	2.500
Generic Flat Plate PV (kW)	5.175
Generic 1kWh Li-Ion (kWh)	7.000
Μετατροπέας (kW)	6.000
Περίσσεια Ηλεκτρικού Ρεύματος (%)	0
NPC (Εκατομμύρια €)	334,3
COE (€)	0,130

Πίνακας 13: Αναλυτική Ηλεκτρική Παραγωγή και τεχνικά χαρακτηριστικά για βέλτιστη διαμόρφωση του Σεναρίου 2.

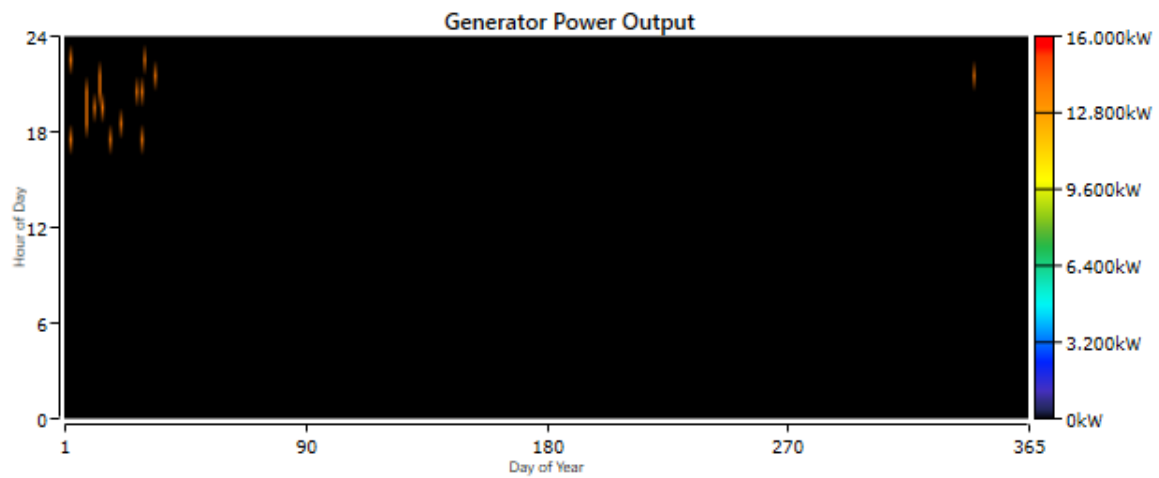
Στοιχεία Συστήματος Σεναρίου 2	Παραγωγή (kWh/yr)	Παραγωγή (%)	Μέση Ισχύς Εξόδου (kW)	Ετήσια Κατανάλωση Καυσίμου(kg)	Ώρες Λειτουργίας (hrs/yr)
H.S.D/MAN 9K60 (14.476 kW)	6.065.444	3,04	14.476	1.242.809	946
H.S.D/MAN 9K60 (14.476 kW)	246.092	0,124	14.476	50.424	55
CEGIELSKI 9RTAF58 (11.000 kW)	2.4926.000	12,5	11.000	5.120.008	3.646
CEGIELSKI 9RTAF58 (9.000 kW)	51.060.463	25,6	8.999	10.488.255	6.864
GMT A420.12 (3.500 kW)	30.611.116	15,4	3.497	6.355.238	8.758
GMT A420.12 (3.500 kW)	27.672.288	13,9	3.486	7.053.620	7.635
GMT A420.12 (3.500 kW)	20.729.994	10,4	3.461	6.376.600	5.193
GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW)	17.648.314	8,86	2.427	4.777.175	7.547
GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW)	11.700.675	5,87	2.342	4.531.476	5.791
Generic Flat Plate PV	8.589.327	4,33	981	-	4.386
Total	199.249.714	100	-	42.648.230	-



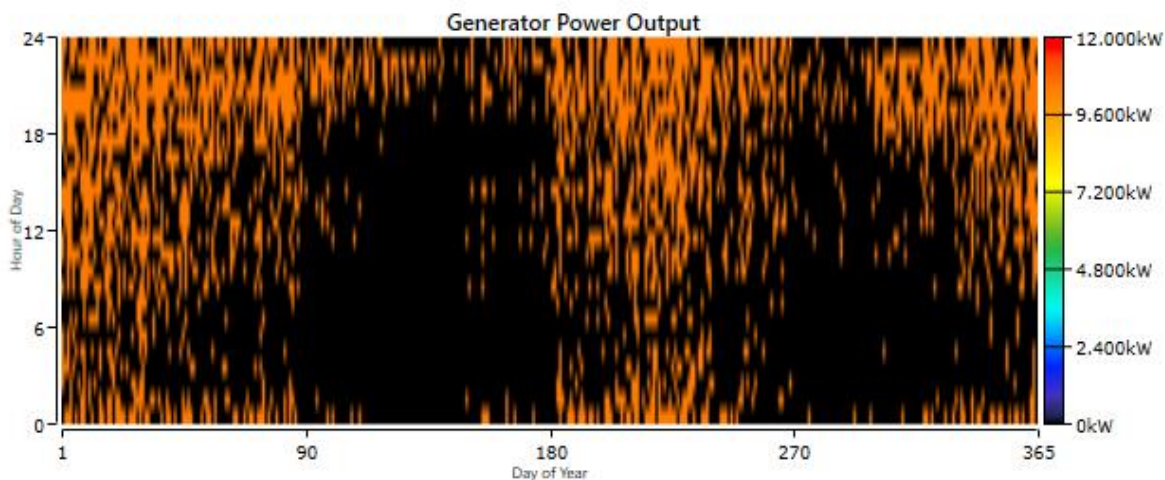
Σχήμα 85: Μηνιαία Παραγωγή Ηλεκτρικού Ρεύματος στο νησί της Χίου για το 2020, Σεναρίου 2.



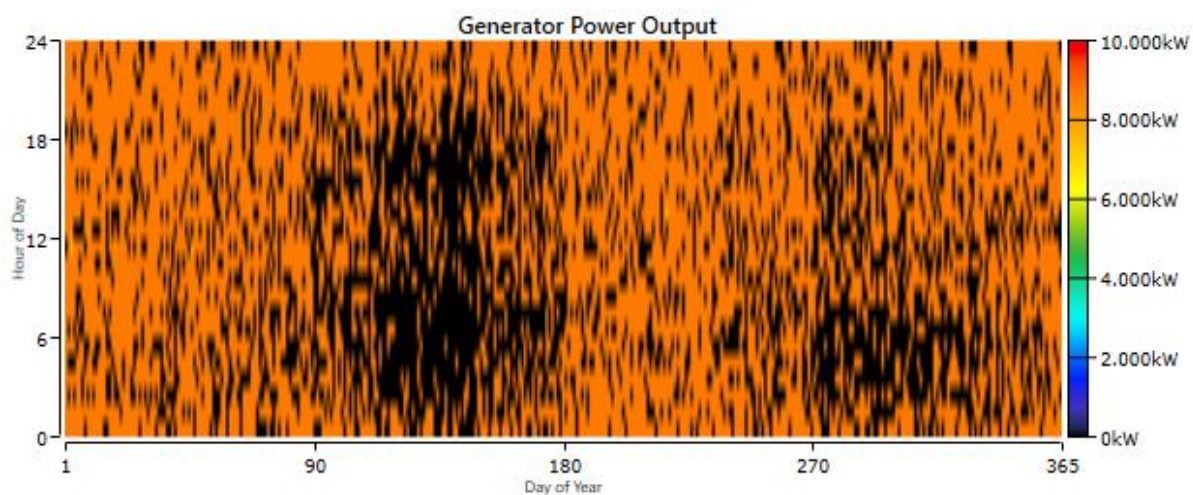
Σχήμα 86: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών MAN 9K60(14.476 kW), Σεναρίου 2.



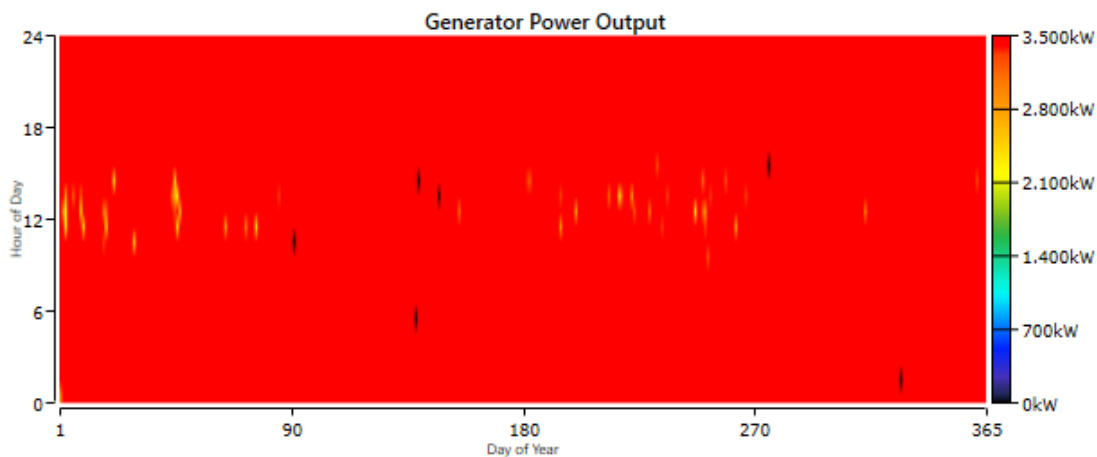
Σχήμα 87: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών MAN 9K60(14.476 kW), Σεναρίου 2.



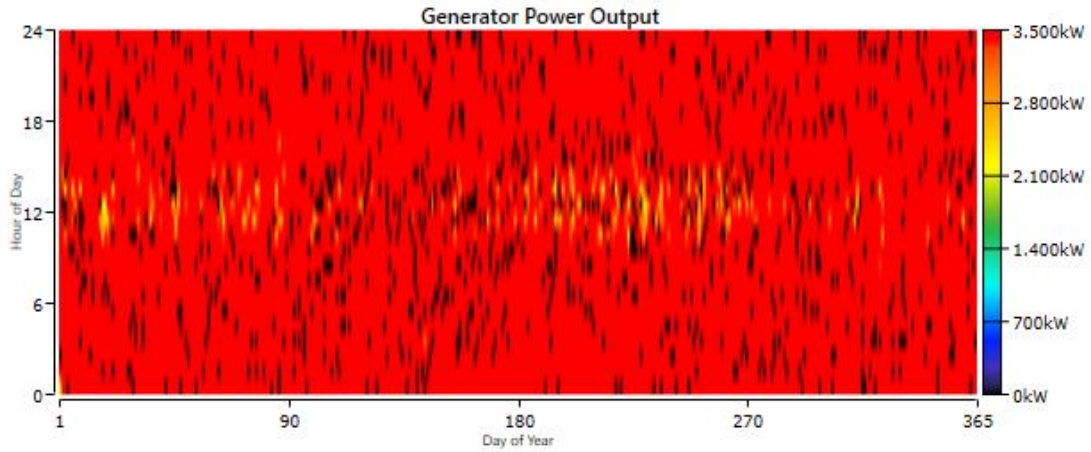
Σχήμα 88: Ισχύς Εξόδου της Συμβατικής Γεννήτριας CEGIELSKI 9RTAF58 (11.000 kW),Σεναρίου 2.



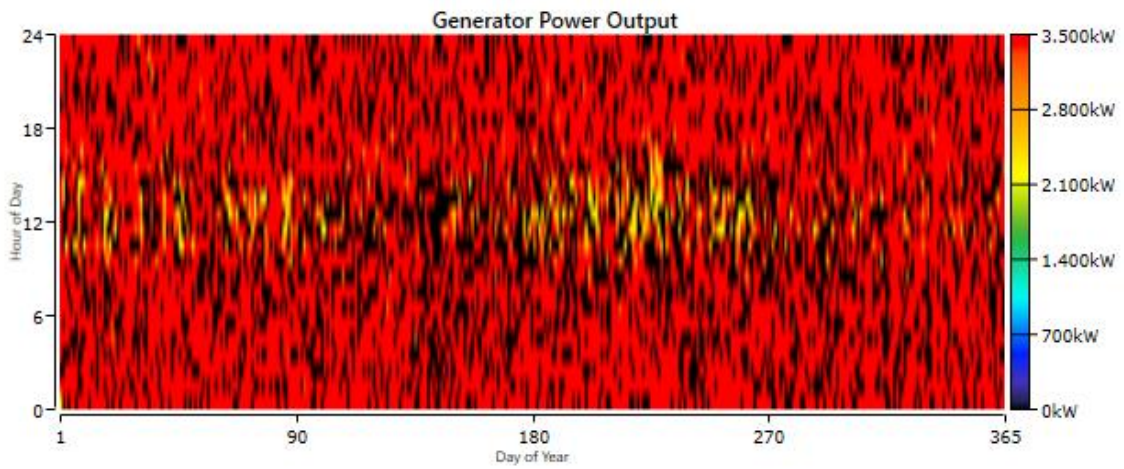
Σχήμα 89: Ισχύς Εξόδου της Συμβατικής Γεννήτριας CEGIELSKI 9RTAF58 (9.000 kW),Σεναρίου 2.



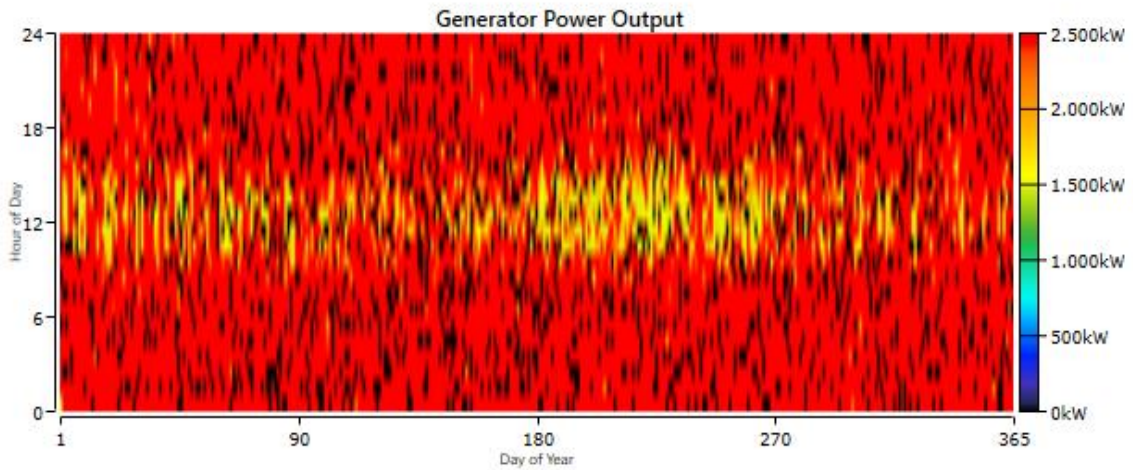
Σχήμα 90: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW),Σεναρίου 2.



Σχήμα 91: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW), Σεναρίου 2.



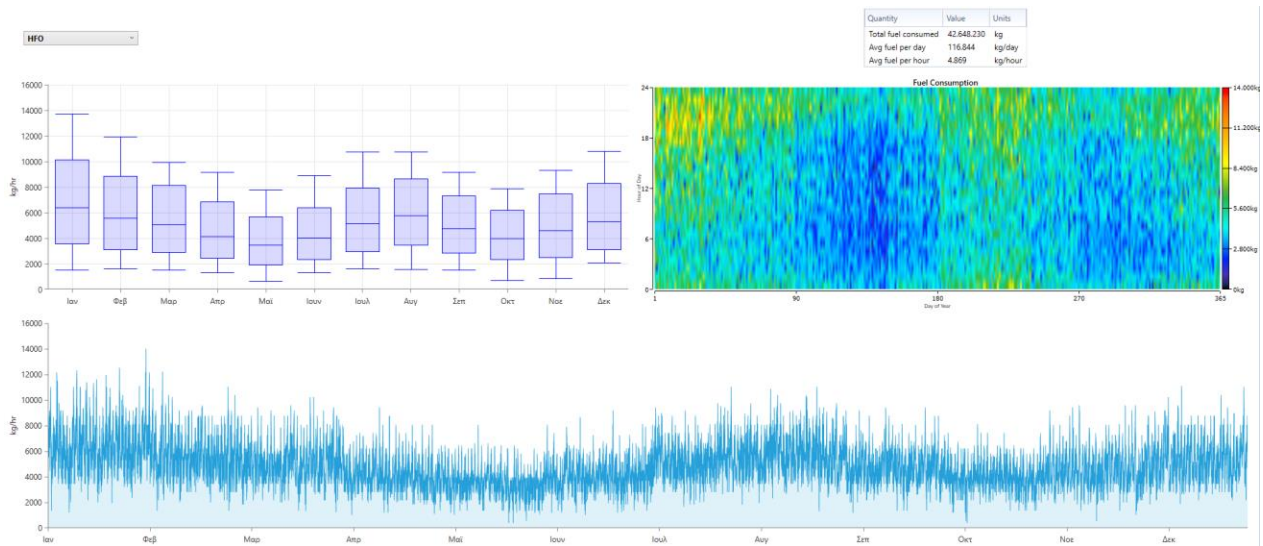
Σχήμα 92: Ισχύς Εξόδου της τρίτης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW), Σεναρίου 2.



Σχήμα 93: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW), Σεναρίου 2.



Σχήμα 94: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW), Σεναρίου 2.



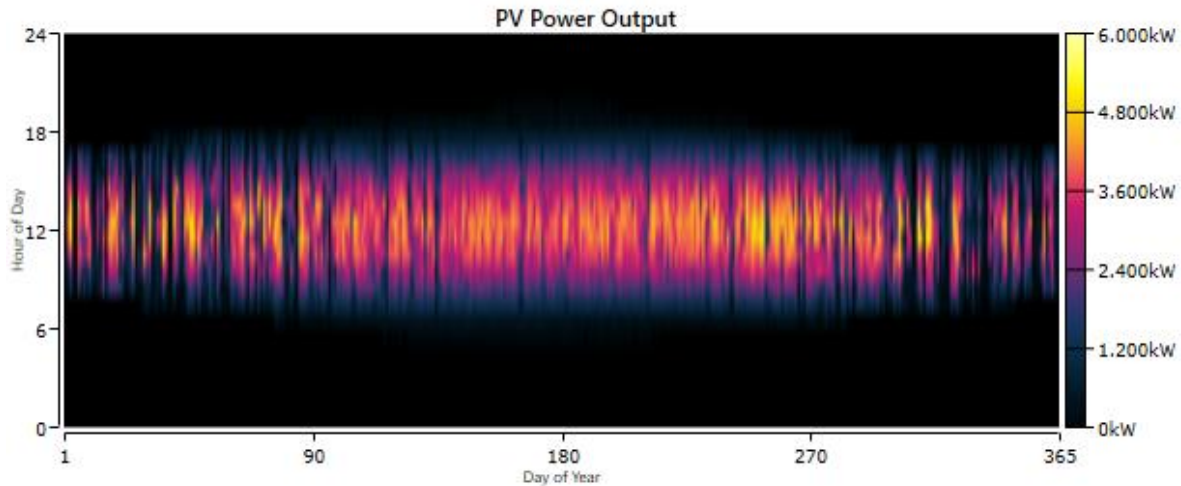
Σχήμα 95: Συνολική Σύνοψη στην Διαχείριση της Κατανάλωσης Καυσίμου για το Σενάριο 2.

Πίνακας 14: Εκπομπές Σεναρίου 2.

Είδος Εκπομπών	Ποσότητα (kg/yr)
Διοξείδιο του άνθρακα	136.387.433
Μονοξείδιο του άνθρακα	715.979
Άκαυστοι Υδρογονάνθρακες	30.707
Αιωρούμενα σωματίδια	3.785
Διοξείδιο του θείου	333.434
Οξείδια του αζώτου	421.025

Πίνακας 15: Αποτελέσματα Φ/Β προσομοίωσης για το Σενάριο 2.

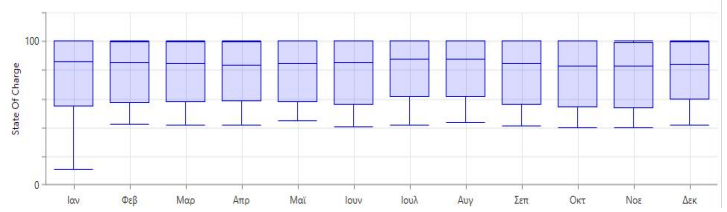
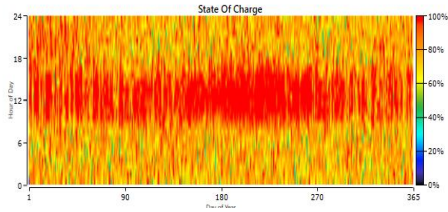
Είδος Υπολογισμού	Τιμή	Μονάδες
Rated Capacity	5.175	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	5.378	kW
Mean Output	981	kW
Mean Output	23.532	kWh/d
Capacity Factor	18,9	%
Total Production	8.589.327	kWh/yr
PV Penetration	4,33	%
Hours of Operation	4.386	hrs/yr
Levelized Cost	0,00723	€/kWh



Σχήμα 96:Ισχύς Εξόδου Φ/Β για το Σενάριο 2.

Πίνακας 16:Αποτελέσματα Απόδοσης Μπαταρίας για το Σενάριο 2.

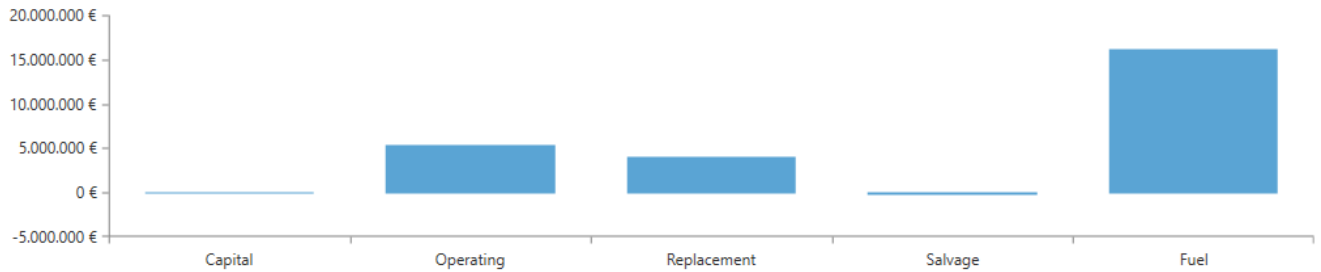
Είδος Υπολογισμού	Τιμή	Μονάδες
Batteries	7.000	quantity
String Size	1	batteries
Strings in Parallel	7.000	strings
Bus Voltage	6,00	V
Autonomy	0,278	hr
Storage Wear Cost	0,0316	e/kWh
Nominal Capacity	7.000	kWh
Usable Nominal Capacity	6.300	kWh
Energy In	2.981.678	kWh/yr
Energy Out	2.684.859	kWh/yr
Storage Depletion	1.421	kWh/yr
Losses	298.241	kWh/yr
Annual Throughput	2.830.089	kWh/yr



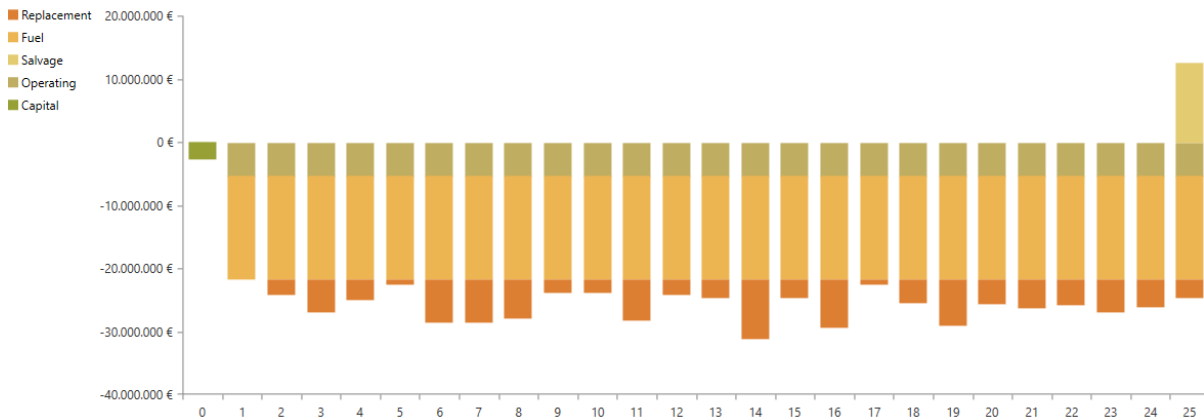
Σχήμα 97: Κατάσταση Φόρτισης Μπαταρίας Σεναρίου 2.

Πίνακας 17: Οικονομικά Χαρακτηριστικά ως προς την Καθαρά Παρούσα Αξία για τη Βέλτιστη Ρύθμιση του Σεναρίου 2.

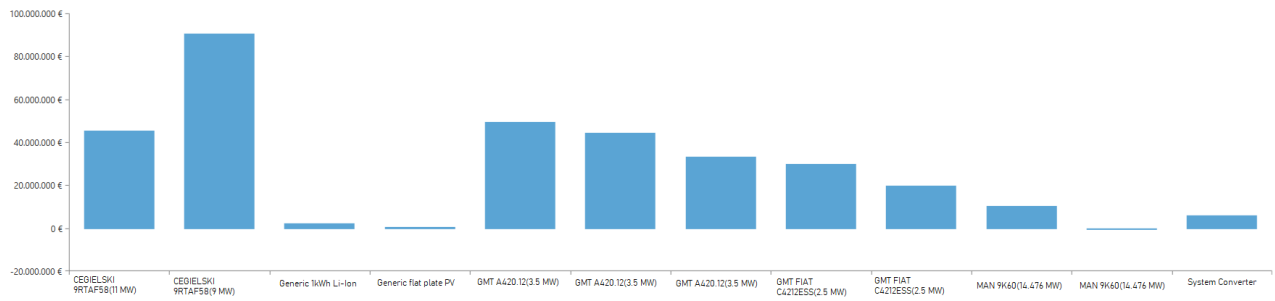
Σύστημα Σενάριο 2	NPC(€)	LCOE (€)	Capital(€)	Replacement(€)	Salvage(€)	O&M(€/yr)	Fuel(€)
Optimal	334.300.485	0,13	2.780.000	53.063.968	-3053.730	70.348.672	211.161.574



Σχήμα 98: Σύνοψη Ετήσιου Κόστους ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 2.



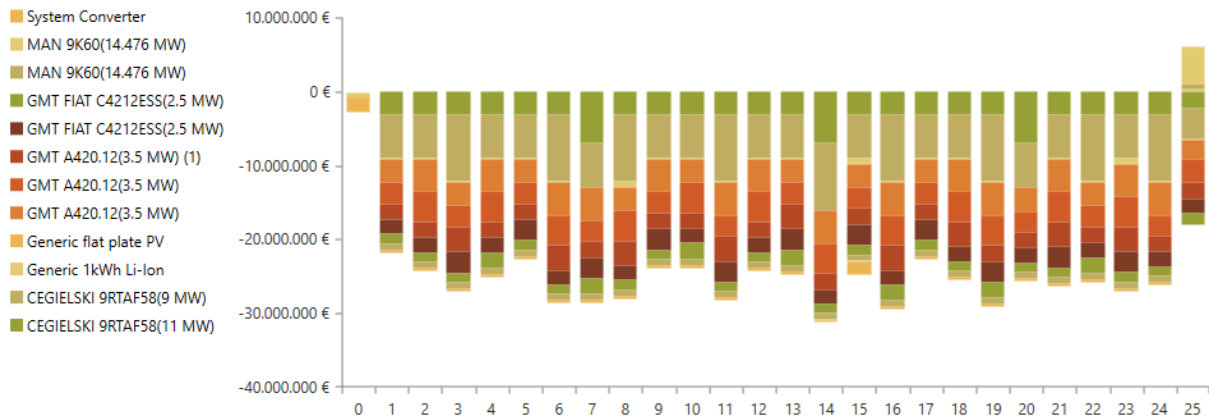
Σχήμα 99: Ταμειακή Ροή ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 2.



Σχήμα 100: Συνολικό Ετήσιο Κόστος ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 2.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
CEGIELSKI 9RTAF58(11 MW)	0,00 €	439.445,61 €	1.157.064,92 €	1.960.963,11 €	-15.933,44 €	3.541.540,20 €
CEGIELSKI 9RTAF58(9 MW)	0,00 €	1.110.371,51 €	1.939.486,68 €	4.017.001,48 €	-31.715,55 €	7.035.144,12 €
Generic 1kWh Li-Ion	75.807,29 €	66.406,79 €	70.000,00 €	0,00 €	-7.364,77 €	204.849,32 €
Generic flat plate PV	0,00 €	0,00 €	62.100,00 €	0,00 €	0,00 €	62.100,00 €
GMT A420.12(3.5 MW)	0,00 €	687.171,56 €	459.585,00 €	2.701.536,52 €	-9.307,12 €	3.838.985,96 €
GMT A420.12(3.5 MW)	0,00 €	626.768,08 €	416.745,00 €	2.442.237,84 €	-17.479,22 €	3.468.271,69 €
GMT A420.12(3.5 MW) (1)	0,00 €	445.925,72 €	314.422,50 €	1.829.650,20 €	-416,17 €	2.589.582,25 €
GMT FIAT C4212ESS(2.5 MW)	0,00 €	409.515,71 €	200.007,50 €	1.735.555,29 €	-14.241,73 €	2.330.836,78 €
GMT FIAT C4212ESS(2.5 MW)	0,00 €	269.896,14 €	137.362,50 €	1.152.019,27 €	-10.944,78 €	1.548.333,13 €
MAN 9K60(14.476 MW)	0,00 €	0,00 €	369.992,08 €	475.996,03 €	-28.323,00 €	817.665,11 €
MAN 9K60(14.476 MW)	0,00 €	0,00 €	15.011,61 €	19.312,49 €	-91.228,23 €	-56.904,13 €
System Converter	139.237,88 €	49.229,16 €	300.000,00 €	0,00 €	-9.265,42 €	479.201,61 €
System	215.045,17 €	4.104.730,29 €	5.441.777,80 €	16.334.272,22 €	-236.219,43 €	25.859.606,04 €

Σχήμα 101: Αναλυτικό Ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου για το Σενάριο 2.



Σχήμα 102: Ταμειακή Ροή ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 2.

4.1.3 Σενάριο 3/ Δίκτυο από Συμβατικές Γεννήτριες-Φ/Β-Μετατροπέα-Μπαταρία-Α/Γ

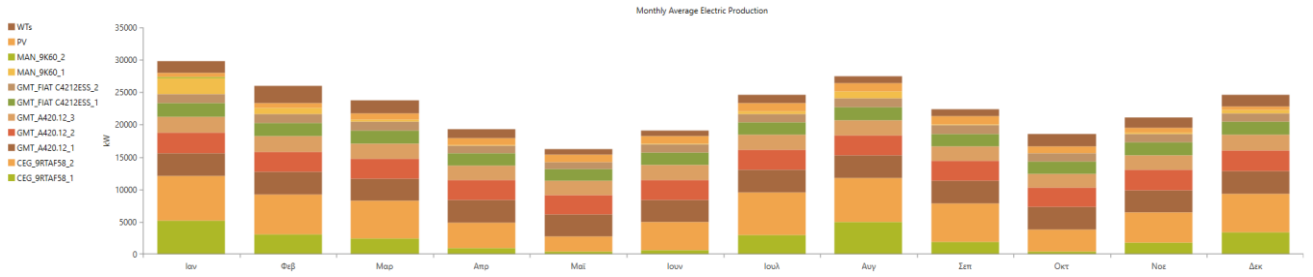
Στο ήδη υπάρχον σύστημα του Σεναρίου 2 γίνεται περαιτέρω προσθήκη Α/Γ . Για το βέλτιστο σενάριο 3 που γίνεται επεξεργασία με το HOMER PRO το NPC είναι 329.808.200 € και το LCOE 0,1287 €. Κι οι δύο αυτές τιμές είναι χαμηλότερες από αυτές του Σεναρίου 1 και 2, αντίστοιχα. Ακόμα, η συνολική παραγωγή ενέργειας για το σύστημα ισχύος του Σεναρίου 3 είναι 199.255.526 kWh/yr, η οποία είναι μεγαλύτερη από αυτή του Σεναρίου 2.

Πίνακας 18: Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Σεναρίου 3.

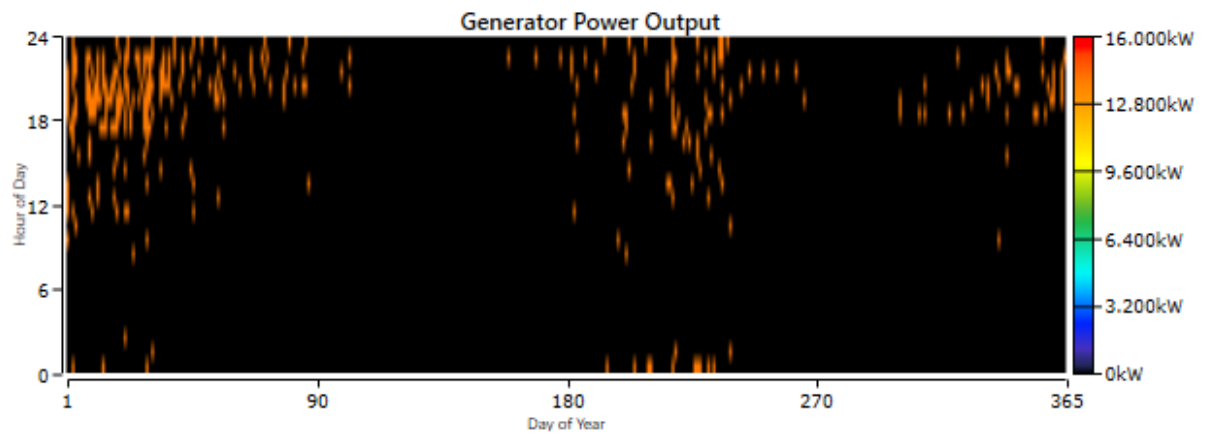
Σύστημα Σεναρίου 3 (Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης)	
H.S.D/MAN 9K60 (kW)	14.476
H.S.D/MAN 9K60 (kW)	14.476
CEGIELSKI 9RTAF58 (kW)	11.000
CEGIELSKI 9RTAF58 (kW)	9.000
GMT A420.12 (kW)	3.500
GMT A420.12 (kW)	3.500
GMT A420.12 (kW)	3.500
GMT - FIAT C4212ESS (kW)	2.500
GMT - FIAT C4212ESS (kW)	2.500
Generic Flat Plate PV (kW)	5.175
Generic 1kWh Li-Ion (kWh)	8.000
Vestas V27-225kw (38 qty.) (kW)	8.550
Μετατροπέας (kW)	6.000
Περίσσεια Ηλεκτρικού Ρεύματος (%)	0,00320
NPC (Εκατομμύρια €)	329,808
COE (€)	0,1287

Πίνακας 19: Αναλυτική Ηλεκτρική Παραγωγή και τεχνικά χαρακτηριστικά για βέλτιστη διαμόρφωση του Σεναρίου 3.

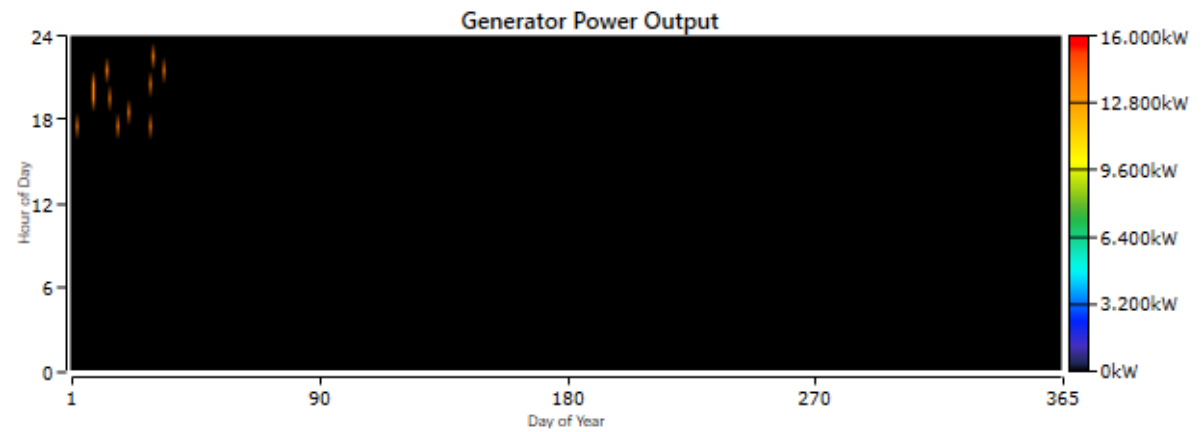
Στοιχεία Συστήματος Σεναρίου 3	Παραγωγή (kWh/yr)	Παραγωγή (%)	Μέση Ισχύς Εξόδου (kW)	Ετήσια Κατανάλωση Καυσίμου(kg)	Ώρες Λειτουργίας (hrs/yr)
H.S.D/MAN 9K60 (14.476 kW)	4.516.512	2,27	14.476	925.433	312
H.S.D/MAN 9K60 (14.476 kW)	159.236	0,0799	14.476	32.627	11
CEGIELSKI 9RTAF58 (11.000 kW)	20.723.926	10,4	11.000	4.256.867	1.884
CEGIELSKI 9RTAF58 (9.000 kW)	45.715.540	22,9	8.997	9.390.377	5.081
GMT A420.12 (3.500 kW)	30.395.419	15,3	3.489	7.004.057	8.713
GMT A420.12 (3.500 kW)	27.090.992	13,6	3.469	6.242.912	7.810
GMT A420.12 (3.500 kW)	20.108.540	10,1	3.439	4.634.195	5.847
GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW)	17.203.147	8,63	2.406	4.418.394	7.149
GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW)	11.355.920	5,70	2.337	2.919.507	4.860
Generic Flat Plate PV	8.589.327	4,31	981	-	4.386
Vestas V27-225kw (38 qty.)	13.396.966	6,72	1519	-	6.909
Total	199.255.526	100	-	39.824.371	-



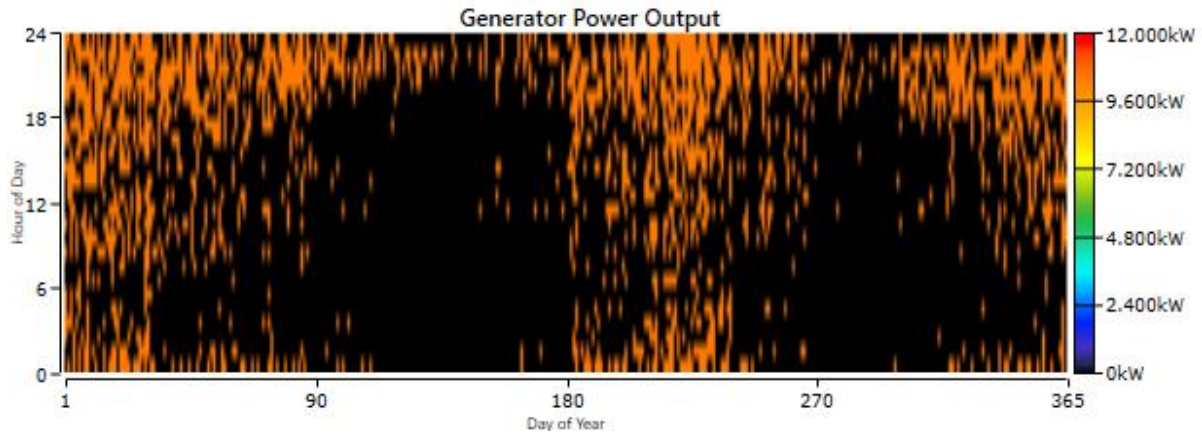
Σχήμα 103: Μηνιαία Παραγωγή Ηλεκτρικού Ρεύματος στο νησί της Χίου για το 2020, Σεναρίου 3.



Σχήμα 104: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών MAN 9K60(14.476 kW), Σεναρίου 3.



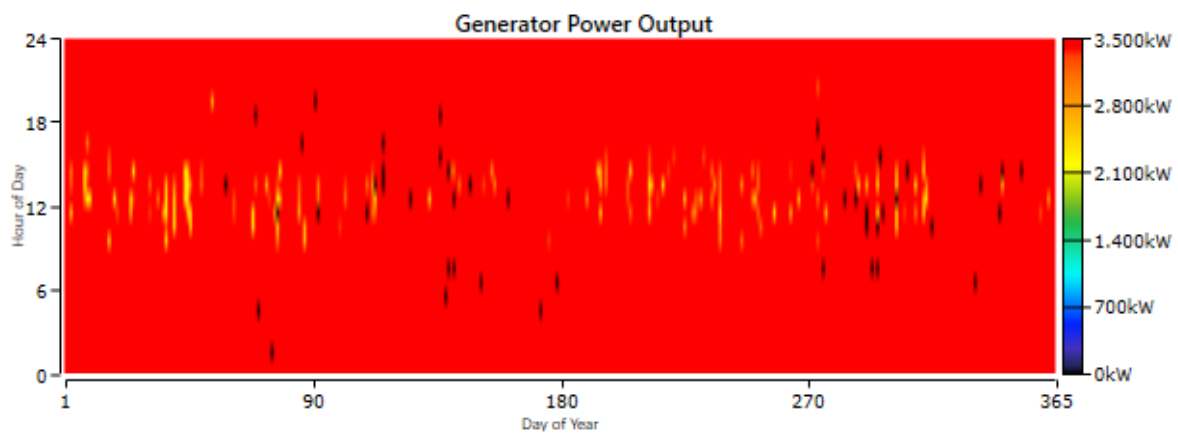
Σχήμα 105: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών MAN 9K60(14.476 kW) , Σεναρίου 3.



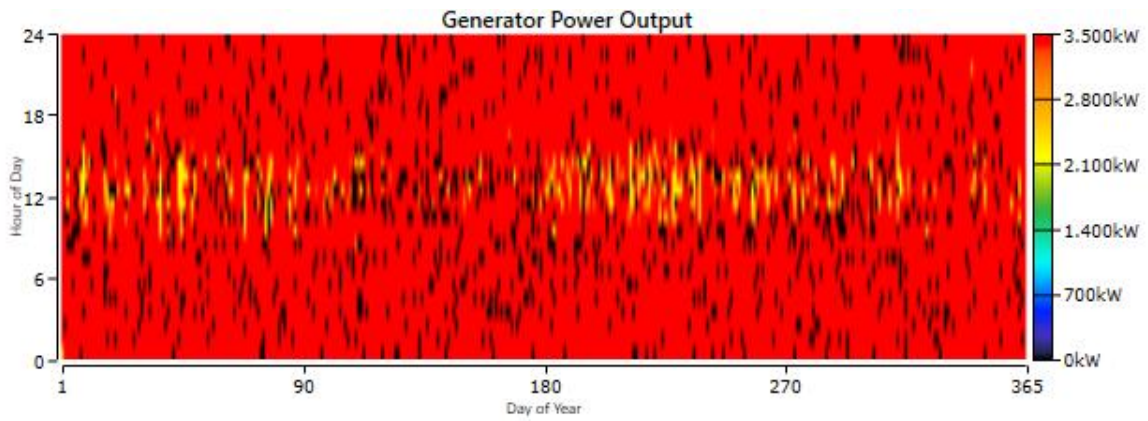
Σχήμα 106: Ισχύς Εξόδου της Συμβατικής Γεννήτριας CEGIELSKI 9RTAF58 (11.000 kW),Σεναρίου 3.



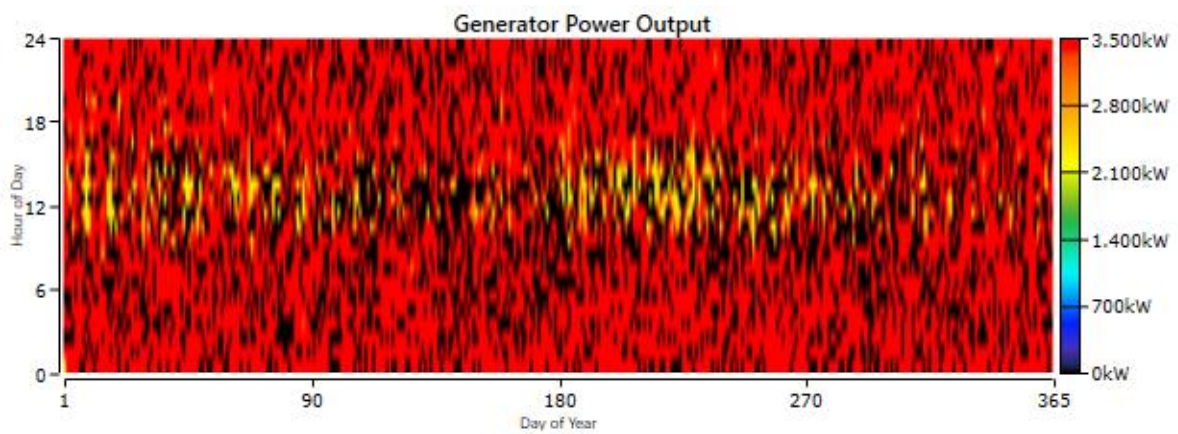
Σχήμα 107: Ισχύς Εξόδου της Συμβατικής Γεννήτριας CEGIELSKI 9RTAF58 (9.000 kW),Σεναρίου 3.



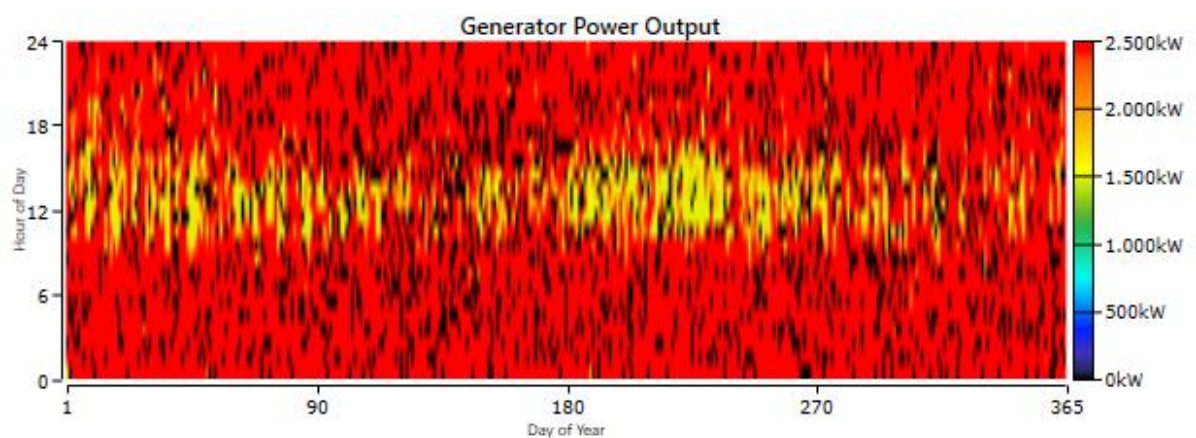
Σχήμα 108: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW),Σεναρίου 3.



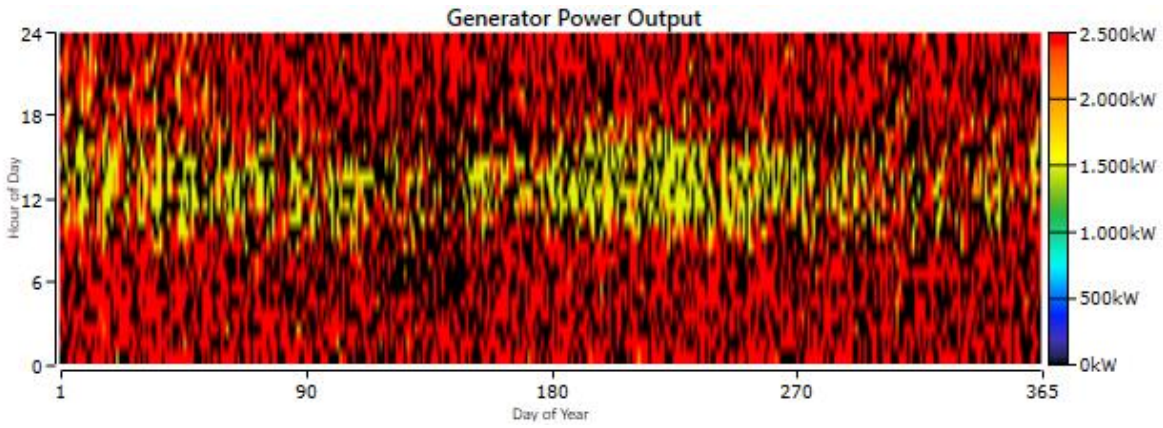
Σχήμα 109: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW), Σεναρίου 3.



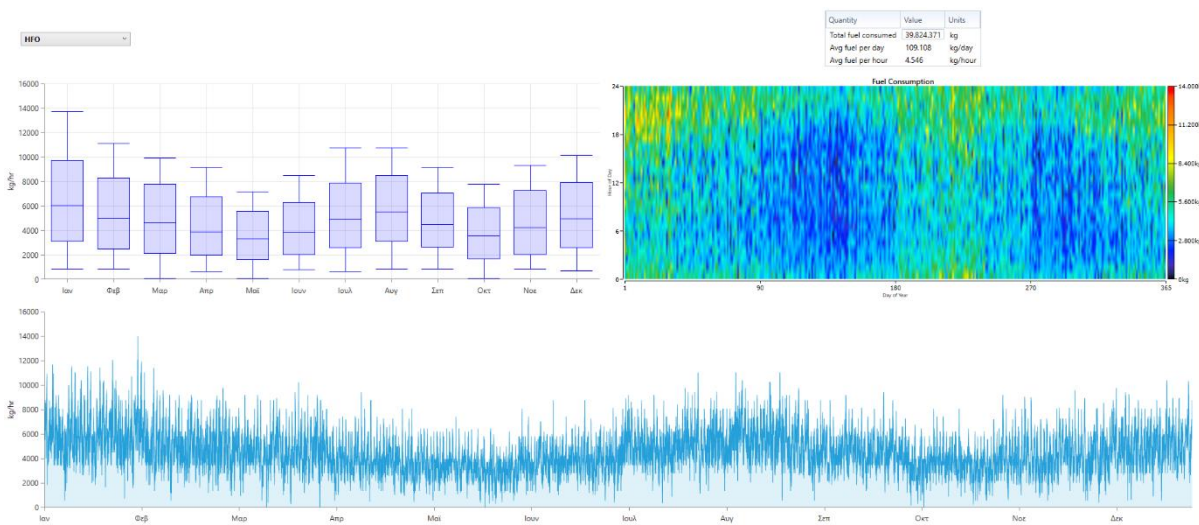
Σχήμα 110: Ισχύς Εξόδου της τρίτης εκ των τριών Συμβατικών Γεννητριών GMT A420.12 (3.500 kW), Σεναρίου 3.



Σχήμα 111: Ισχύς Εξόδου της πρώτης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW), Σεναρίου 3.



Σχήμα 112: Ισχύς Εξόδου της δεύτερης εκ των δύο Συμβατικών Γεννητριών GMT - FIAT C4212ESS (2.500 kW), Σεναρίου 3.



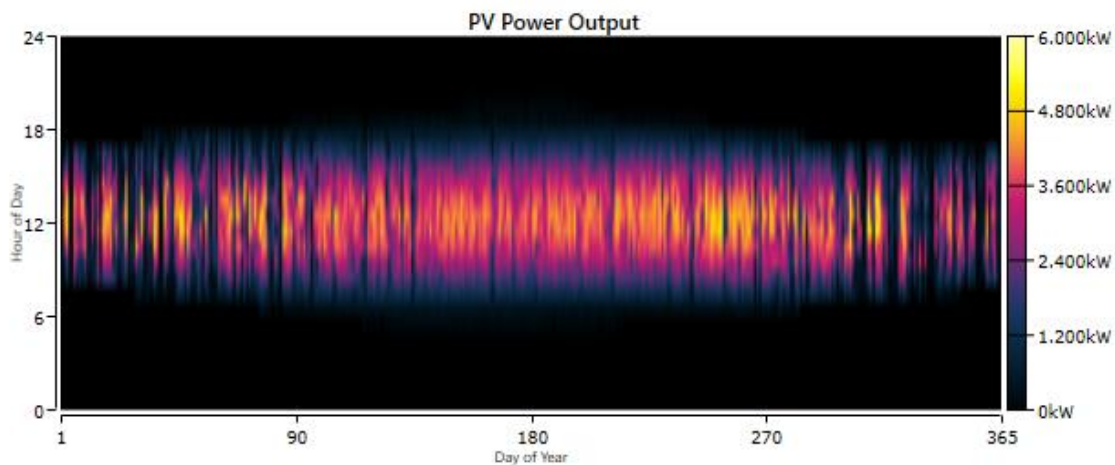
Σχήμα 113: Συνολική Σύνοψη στην Διαχείριση της Κατανάλωσης Καυσίμου για το Σενάριο 3.

Πίνακας 20: Εκπομπές Σεναρίου 3.

Είδος Εκπομπών	Ποσότητα (kg/yr)
Διοξείδιο του άνθρακα	127.357.868
Μονοξείδιο του άνθρακα	667.916
Άκαυστοι Υδρογονάνθρακες	28.674
Αιωρούμενα σωματίδια	3.554
Διοξείδιο του θείου	311.356
Οξείδια του αζώτου	409.257

Πίνακας 21: Αποτελέσματα Φ/Β προσομοίωσης για το Σενάριο 3.

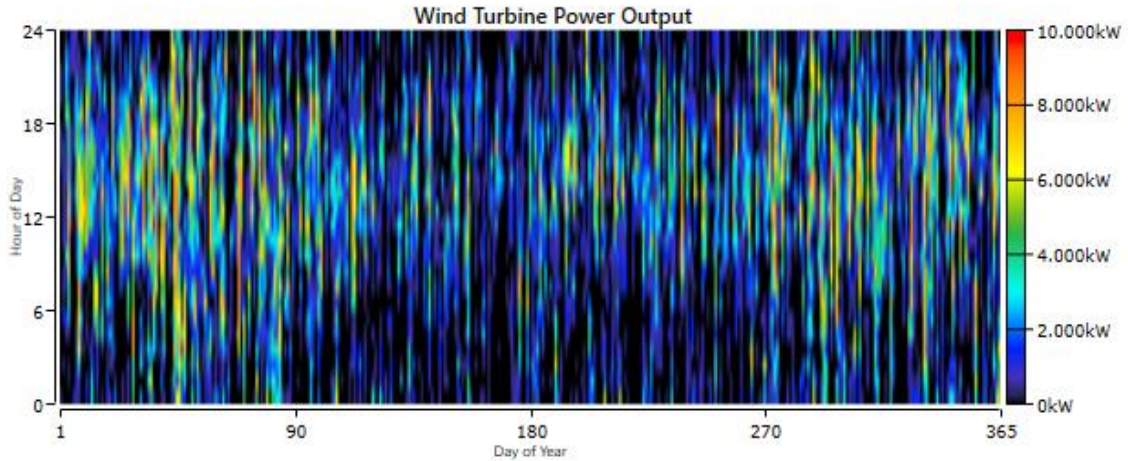
Είδος Υπολογισμού	Τιμή	Μονάδες
Rated Capacity	5.175	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	5.378	kW
Mean Output	981	kW
Mean Output	23.532	kWh/d
Capacity Factor	18,9	%
Total Production	8.589.327	kWh/yr
PV Penetration	4,33	%
Hours of Operation	4.386	hrs/yr
Levelized Cost	0,00723	€/kWh



Σχήμα 114: Ισχύς Εξόδου Φ/Β για το Σενάριο 3.

Πίνακας 22: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Vestas V27-225kw (38 qty.) για το Σενάριο 3.

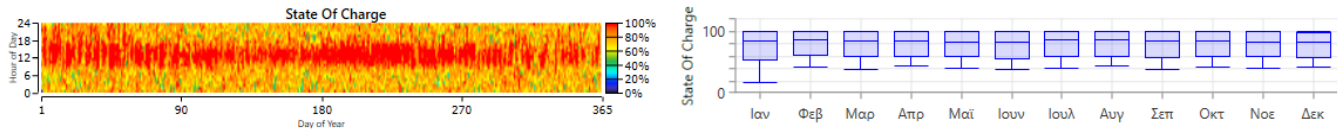
Είδος Υπολογισμού	Τιμή	Μονάδες
Rated Capacity	8.550	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	8.550	kW
Mean Output	1.529	kW
Capacity Factor	17,9	%
Total Production	13.396.966	kWh/yr
Wind Penetration	6,76	%
Hours of Operation	6.909	hrs/yr
Levelized Cost	0,113	€/kWh



Σχήμα 115: Ισχύς Εξόδου Vestas V27-225kw (38 qty.) για το Σενάριο 3.

Πίνακας 23: Αποτελέσματα Απόδοσης Μπαταρίας για το Σενάριο 3.

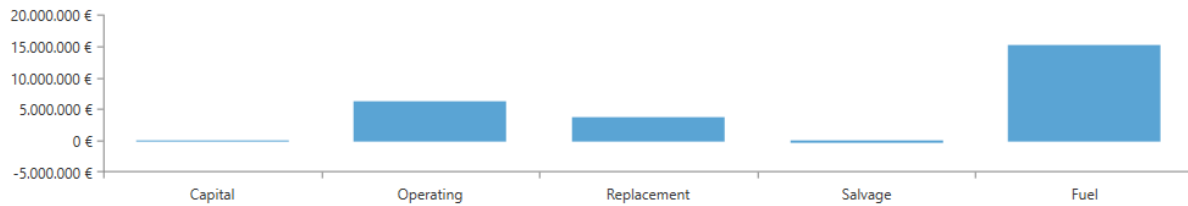
Είδος Υπολογισμού	Τιμή	Μονάδες
Batteries	8.000	quantity
String Size	1	batteries
Strings in Parallel	8.000	strings
Bus Voltage	6,00	V
Autonomy	0,318	hr
Storage Wear Cost	0,0316	e/kWh
Nominal Capacity	8.000	kWh
Usable Nominal Capacity	7.200	kWh
Energy In	3.015.204	kWh/yr
Energy Out	2.715.740	kWh/yr
Storage Depletion	2.168	kWh/yr
Losses	301.632	kWh/yr
Annual Throughput	2.862.641	kWh/yr



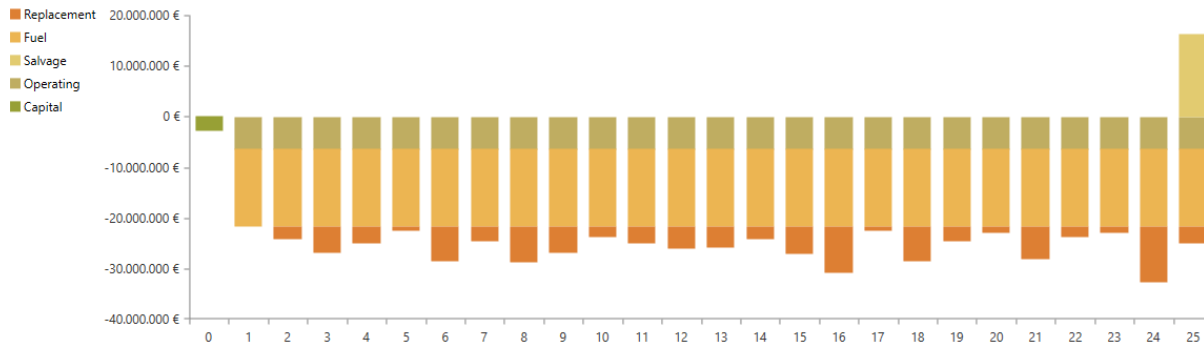
Σχήμα 116: Κατάσταση Φόρτισης Μπαταρίας Σεναρίου 3.

Πίνακας 24: Οικονομικά Χαρακτηριστικά ως προς την Καθαρά Παρούσα Αξία για τη Βέλτιστη Ρύθμιση του Σεναρίου 3.

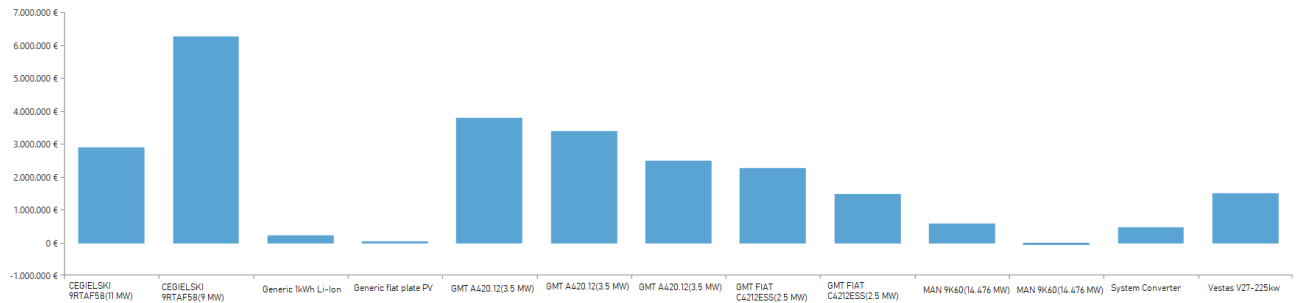
Σύστημα Σενάριο 3	NPC(€)	LCOE (€)	Capital(€)	Replacement (€)	Salvage(€)	O&M(€/yr)	Fuel(€)
Optimal	329.808.151	0,1287	2.920.000	50.271.735	-3.956.231	83.392.676	197.179.970



Σχήμα 117: Σύνοψη Ετήσιου Κόστους ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 3.



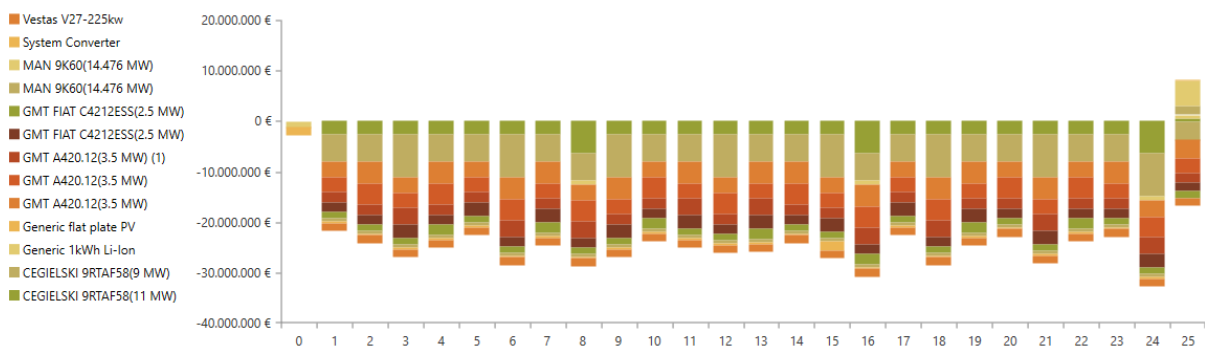
Σχήμα 118: Ταμειακή Ροή ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 3.



Σχήμα 119: Συνολικό Ετήσιο Κόστος ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 3.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
CEGIELSKI 9RTAF58(11 MW)	0,00 €	384.826,78 €	962.008,08 €	1.630.380,16 €	-61.355,64 €	2.915.859,38 €
CEGIELSKI 9RTAF58(9 MW)	0,00 €	981.936,72 €	1.736.787,42 €	3.596.514,47 €	-31.034,54 €	6.284.204,08 €
Generic 1kWh Li-Ion	86.636,90 €	71.699,91 €	80.000,00 €	0,00 €	-11.674,43 €	226.662,38 €
Generic flat plate PV	0,00 €	0,00 €	62.100,00 €	0,00 €	0,00 €	62.100,00 €
GMT A420.12(3.5 MW)	0,00 €	685.288,83 €	457.432,50 €	2.682.553,89 €	-10.858,31 €	3.814.416,92 €
GMT A420.12(3.5 MW)	0,00 €	620.668,67 €	410.025,00 €	2.391.035,11 €	-22.321,95 €	3.399.406,84 €
GMT A420.12(3.5 MW) (1)	0,00 €	439.674,43 €	306.967,50 €	1.774.896,86 €	-5.788,57 €	2.515.750,22 €
GMT FIAT C4212ESS(2.5 MW)	0,00 €	389.193,20 €	196.597,50 €	1.692.244,84 €	-1.378,23 €	2.276.657,31 €
GMT FIAT C4212ESS(2.5 MW)	0,00 €	265.284,02 €	133.650,00 €	1.118.171,35 €	-14.593,04 €	1.502.512,32 €
MAN 9K60(14.476 MW)	0,00 €	0,00 €	275.507,23 €	354.440,96 €	-45.066,43 €	584.881,76 €
MAN 9K60(14.476 MW)	0,00 €	0,00 €	9.713,40 €	12.496,32 €	-92.167,11 €	-69.957,40 €
System Converter	139.237,88 €	49.229,16 €	300.000,00 €	0,00 €	-9.265,42 €	479.201,61 €
Vestas V27-225kw	0,00 €	937,12 €	1.520.000,00 €	0,00 €	-528,13 €	1.520.408,99 €
System	225.874,78 €	3.888.738,84 €	6.450.788,63 €	15.252.733,97 €	-306.031,81 €	25.512.104,41 €

Σχήμα 120: Αναλυτικό Ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου για το Σενάριο 3.



Σχήμα 121: Ταμειακή Ροή ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 3.

4.1.4 Σενάριο 4/ Δίκτυο από Φ/Β-Μετατροπέα-Μπαταρία-Α/Γ (Πρόταση για Υλοποίηση Συστήματος μόνο από ΑΠΕ)

Στο παρόν σενάριο 4 γίνεται μελέτη του σεναρίου ολικής απόσπασης των Συμβατικών Γεννητριών από το Μικροδίκτυο, με εξτρά προσθήκη Α/Γ όπου το Κόστος Κεφαλαίου ορίζεται στα 1.200 €/kW και ταυτόχρονη προσθήκη Φ/Β με 2.000 €/kW, με όλες τις υπόλοιπες τιμές να παραμένουν ίδιες. Για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος πρέπει να αυξηθεί η μπαταρία σε συνολική ενέργεια 454.982 kWh και ο μετατροπέας σε ισχύ 38.840 kW. Για το βέλτιστο σενάριο 4 που γίνεται επεξεργασία με το HOMER PRO το NPC είναι 543.778.300€ και το LCOE 0,2273 €. Κι οι δύο αυτές τιμές είναι μεγαλύτερες από αυτές του Σεναρίου 1,2 και 3, αντίστοιχα. Ακόμα, η συνολική παραγωγή ενέργειας για το σύστημα ισχύος του Σεναρίου 4 είναι 252.991.435 kWh/yr .

Πίνακας 25: Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης Σεναρίου 4.

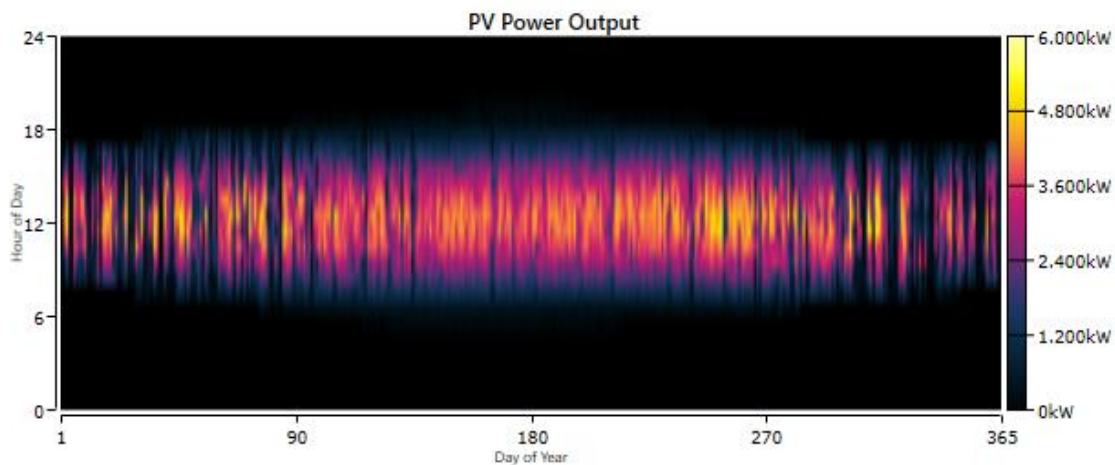
Σύστημα Σεναρίου 4 (Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης)	
Generic Flat Plate PV (kW)	5.175
Generic Flat Plate PV [Added] (kW)	80.979
Vestas V27-225kw (38 qty.) (kW)	8.550
Vestas V27-225kw [Added] (274 qty.) (kW)	61.650
Generic 1kWh Li-Ion (kWh)	454.982
Μετατροπέας (kW)	38.840
Περίσσεια Ηλεκτρικού Ρεύματος (%)	20,9
NPC (Εκατομμύρια €)	543,78
COE (€)	0,2273

Πίνακας 26: Αναλυτική Ηλεκτρική Παραγωγή και τεχνικά χαρακτηριστικά για βέλτιστη διαμόρφωση του Σεναρίου 4.

Στοιχεία Συστήματος Σεναρίου 4	Παραγωγή (kWh/yr)	Παραγωγή (%)	Μέση Ισχύς Εξόδου (kW)	Ώρες Λειτουργίας (hrs/yr)
Generic Flat Plate PV	8.589.327	3,40	981	4.386
Generic Flat Plate PV [Added]	134.405.962	53,1	15.343	4.386
Vestas V27-225kw (38 qty.)	13.396.966	5,30	1.529	6.909
Vestas V27-225kw (274 qty.)	96.599.176	38,2	11.027	6.909
Total	252.991.435	100	-	-

Πίνακας 27: Αποτελέσματα Φ/Β (5.175 kW)προσομοίωσης για το Σενάριο 4.

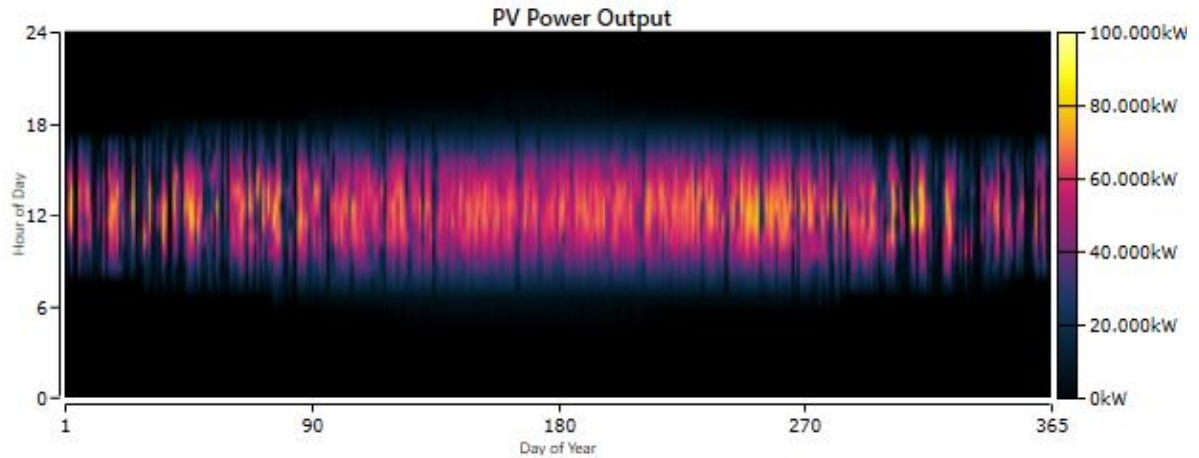
Είδος Υπολογισμού	Τιμή	Μονάδες
Rated Capacity	5.175	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	5.378	kW
Mean Output	981	kW
Mean Output	23.532	kWh/d
Capacity Factor	18,9	%
Total Production	8.589.327	kWh/yr
PV Penetration	4,33	%
Hours of Operation	4.386	hrs/yr
Levelized Cost	0,00723	€/kWh



Σχήμα 122: Ισχύς Εξόδου Φ/Β (5.175 kW) για το Σενάριο 4.

Πίνακας 28: Αποτελέσματα Φ/Β (80.979 kW) προσομοίωσης για το Σενάριο 4.

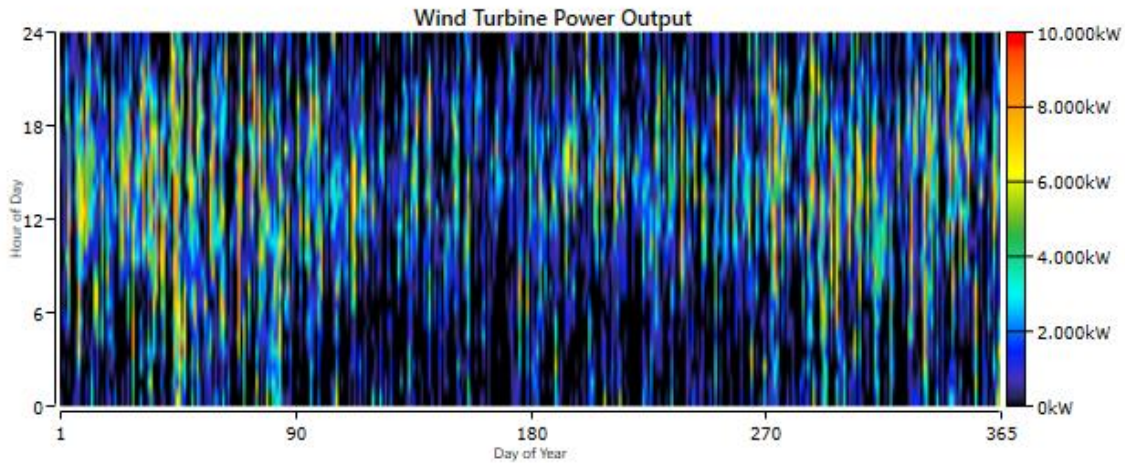
Είδος Υπολογισμού	Τιμή	Μονάδες
Rated Capacity	80.979	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	84.162	kW
Mean Output	15.343	kW
Mean Output	368.236	kWh/d
Capacity Factor	18,9	%
Total Production	134.405.962	kWh/yr
PV Penetration	67,8	%
Hours of Operation	4.386	hrs/yr
Levelized Cost	0,100	€/kWh



Σχήμα 123: Ισχύς Εξόδου Φ/Β (80.979 kW) για το Σενάριο 4.

Πίνακας 29: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Vestas V27-225kw (38 qty.) για το Σενάριο 4.

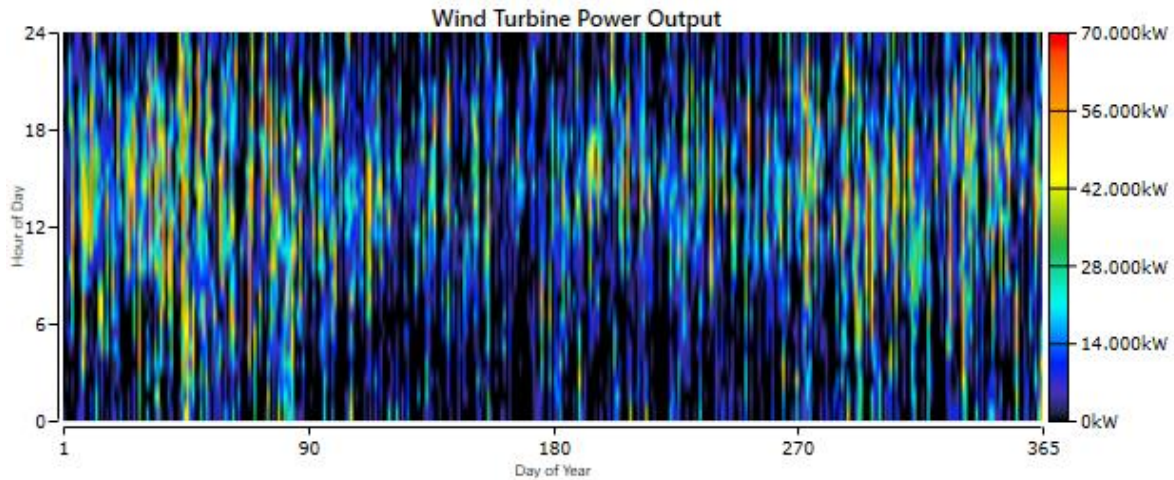
Είδος Υπολογισμού	Τιμή	Μονάδες
Rated Capacity	8.550	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	8.550	kW
Mean Output	1.529	kW
Capacity Factor	17,9	%
Total Production	13.396.966	kWh/yr
Wind Penetration	6,76	%
Hours of Operation	6.909	hrs/yr
Levelized Cost	0,113	€/kWh



Σχήμα 124: Ισχύς Εξόδου Vestas V27-225kw (38 qty.) για το Σενάριο 4.

Πίνακας 30: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Vestas V27-225kw (274 qty.) για το Σενάριο 4.

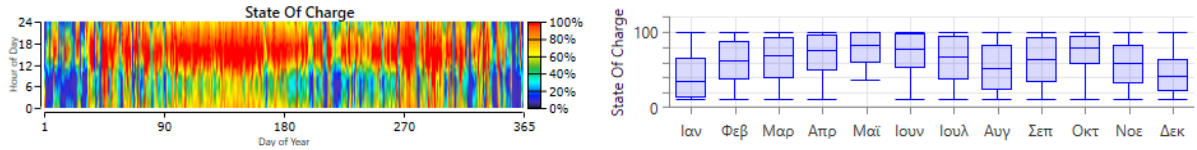
Είδος Υπολογισμού	Τιμή	Μονάδες
Rated Capacity	61.650	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	61.650	kW
Mean Output	11.027	kW
Capacity Factor	17,9	%
Total Production	96.599.179	kWh/yr
Wind Penetration	48,7	%
Hours of Operation	6.909	hrs/yr
Levelized Cost	0,114	€/kWh



Σχήμα 125: Ισχύς Εξόδου Vestas V27-225kw (274 qty.) για το Σενάριο 4.

Πίνακας 31: Αποτελέσματα Απόδοσης Μπαταρίας για το Σενάριο 4.

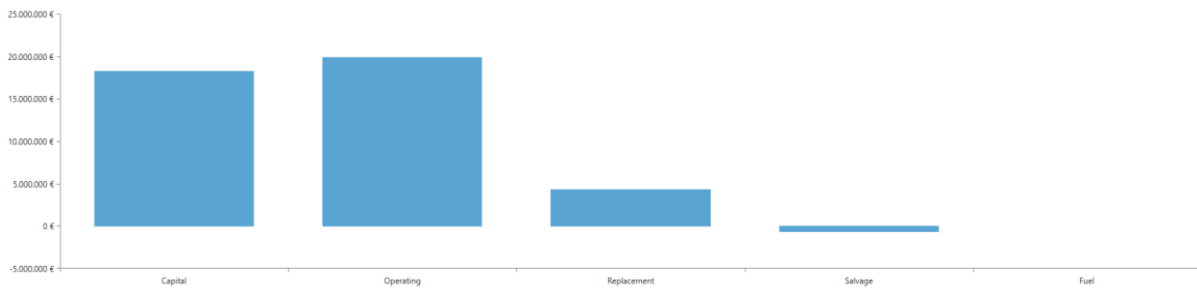
Είδος Υπολογισμού	Τιμή	Μονάδες
Batteries	454.982	quantity
String Size	1,00	batteries
Strings in Parallel	454.982	strings
Bus Voltage	6,00	V
Autonomy	18,1	hr
Storage Wear Cost	0,0316	e/kWh
Nominal Capacity	454.983	kWh
Usable Nominal Capacity	409.485	kWh
Energy In	80.987.264	kWh/yr
Energy Out	73.277.009	kWh/yr
Storage Depletion	409.485	kWh/yr
Losses	8.119.740	kWh/yr
Annual Throughput	77.240.749	kWh/yr



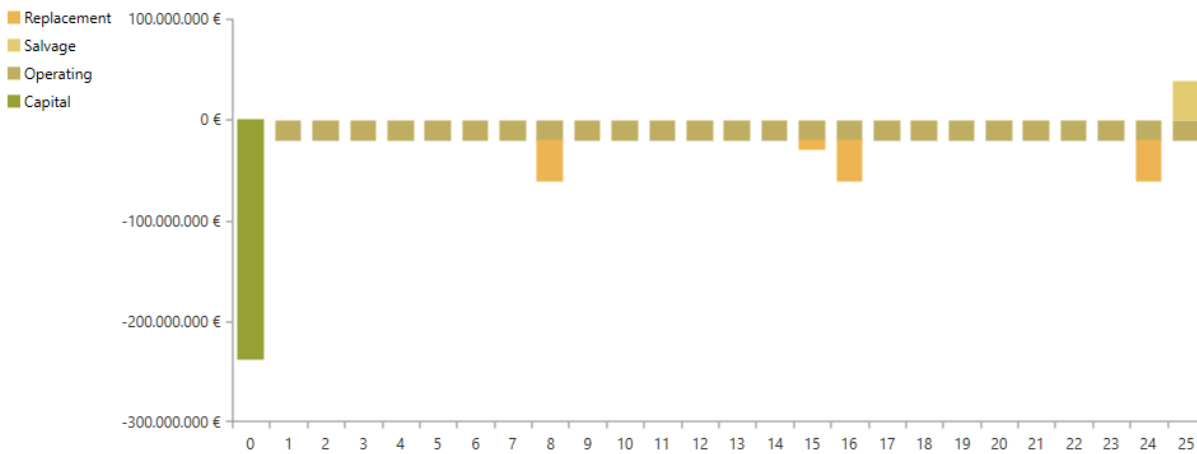
Σχήμα 126: Κατάσταση Φόρτισης Μπαταρίας Σεναρίου 4.

Πίνακας 32: Οικονομικά Χαρακτηριστικά ως προς την Καθαρά Παρούσα Αξία για τη Βέλτιστη Ρύθμιση του Σεναρίου 4.

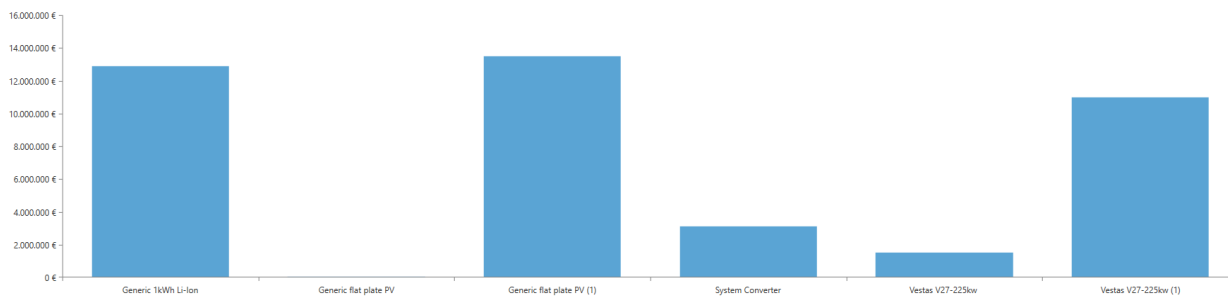
Σύστημα Σενάριο 4	NPC(€)	LCOE (€)	Capital(€)	Replacement (€)	Salvage(€)	O&M(€/yr)	Fuel(€)
Optimal	543.778.273	0,2273	237.635.161	56.934.580	-9.414.735	258.623.267	0



Σχήμα 127: Σύνοψη Ετήσιου Κόστους ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 4.



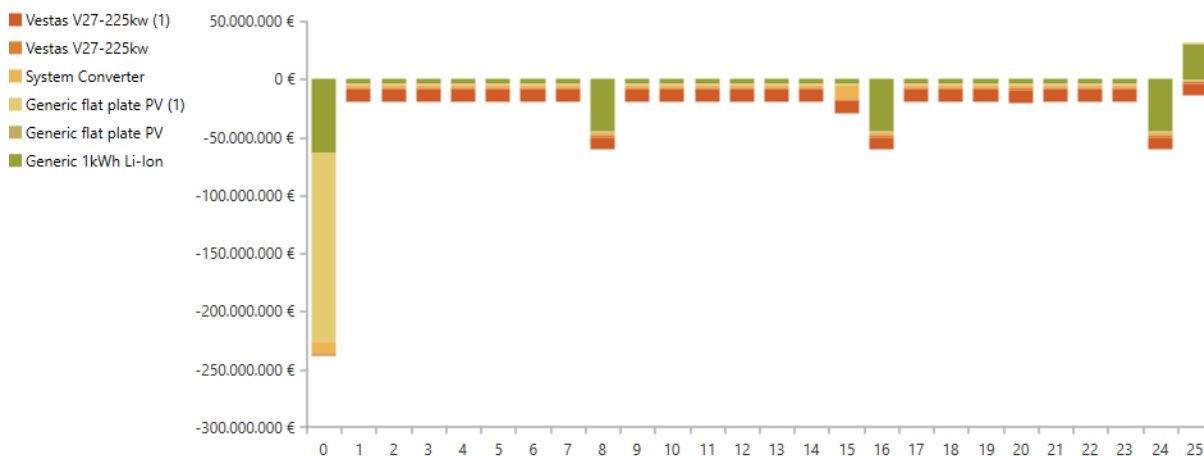
Σχήμα 128: Ταμειακή Ροή ανά τύπο Κόστους για το Σενάριο 4.



Σχήμα 129: Συνολικό Ετήσιο Κόστος ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 4.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
Generic 1kWh Li-Ion	4.927.278,94 €	4.077.771,32 €	4.549.820,00 €	0,00 €	-663.957,20 €	12.890.913,06 €
Generic flat plate PV	0,00 €	0,00 €	62.100,00 €	0,00 €	0,00 €	62.100,00 €
Generic flat plate PV (1)	12.528.083,14 €	0,00 €	971.742,01 €	0,00 €	0,00 €	13.499.825,15 €
System Converter	901.323,89 €	318.673,45 €	1.941.979,91 €	0,00 €	-59.977,56 €	3.101.999,69 €
Vestas V27-225kw	0,00 €	937,12 €	1.520.000,00 €	0,00 €	-528,13 €	1.520.408,99 €
Vestas V27-225kw (1)	25.434,12 €	6.757,15 €	10.960.000,00 €	0,00 €	-3.808,09 €	10.988.383,18 €
System	18.382.120,08 €	4.404.139,04 €	20.005.641,92 €	0,00 €	-728.270,97 €	42.063.630,08 €

Σχήμα 130: Αναλυτικό Ετήσιο κόστος κάθε στοιχείου για το Σενάριο 4.

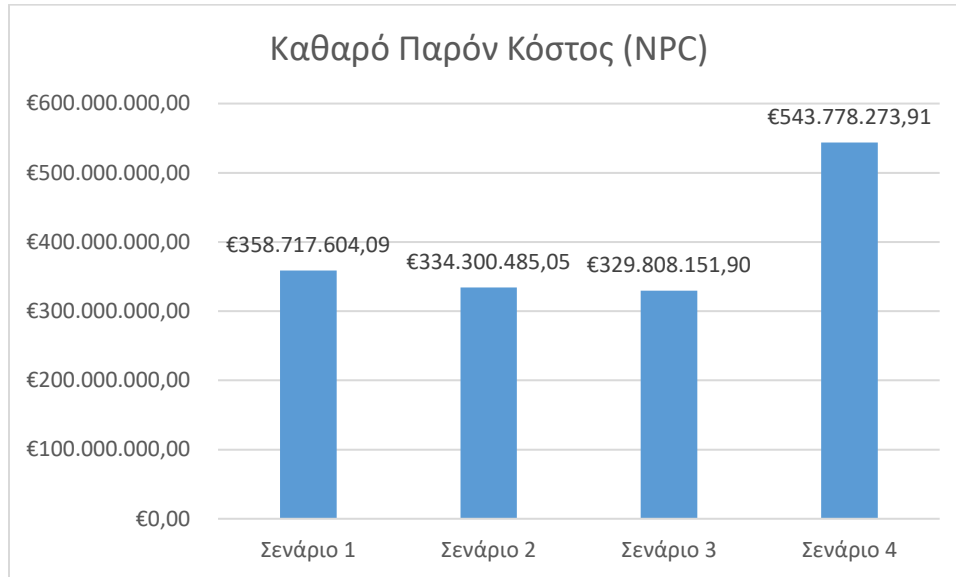


Σχήμα 131: Ταμειακή Ροή ανά τύπο στοιχείου για το Σενάριο 4.

4.2 Σύγκριση Σεναρίων για Διαμόρφωση Οικονομικών Συστημάτων Ισχύος

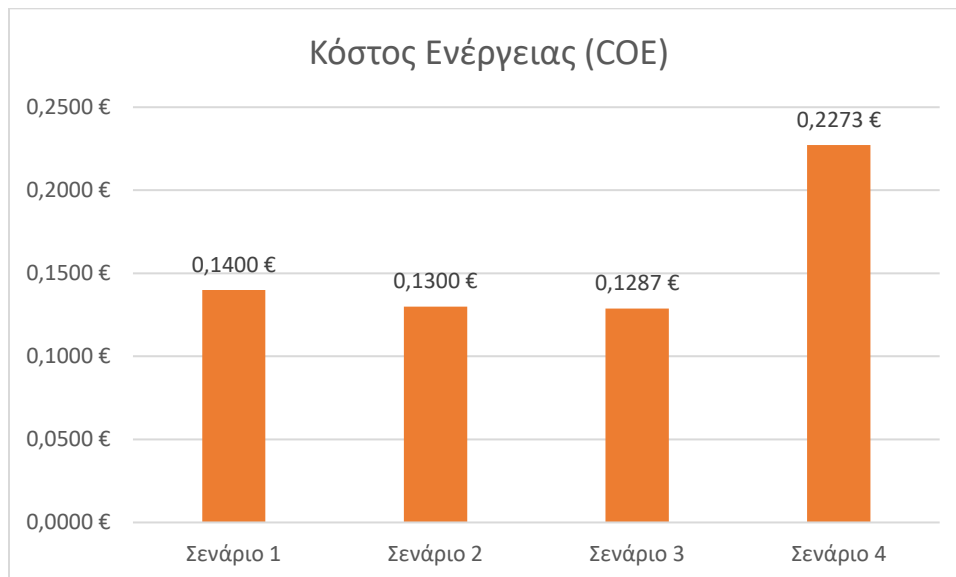
Το καλύτερο ενεργειακό σύστημα επιλέχθηκε με λιγότερο καθαρό παρόν κόστος (NPC), μικρότερο κόστος ενέργειας (COE), υψηλό κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μικρότερη έλλειψη χωρητικότητας, λιγότερη περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας και λιγότερη κατανάλωση καυσίμου. Η μέγιστη ετήσια έλλειψη δυναμικότητας και το ελάχιστο κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η χειρότερη περίπτωση επιλογής στην εισαγωγή περιορισμών (constraints).

Βάσει του Καθαρού Παρόντος Κόστου (NPC):



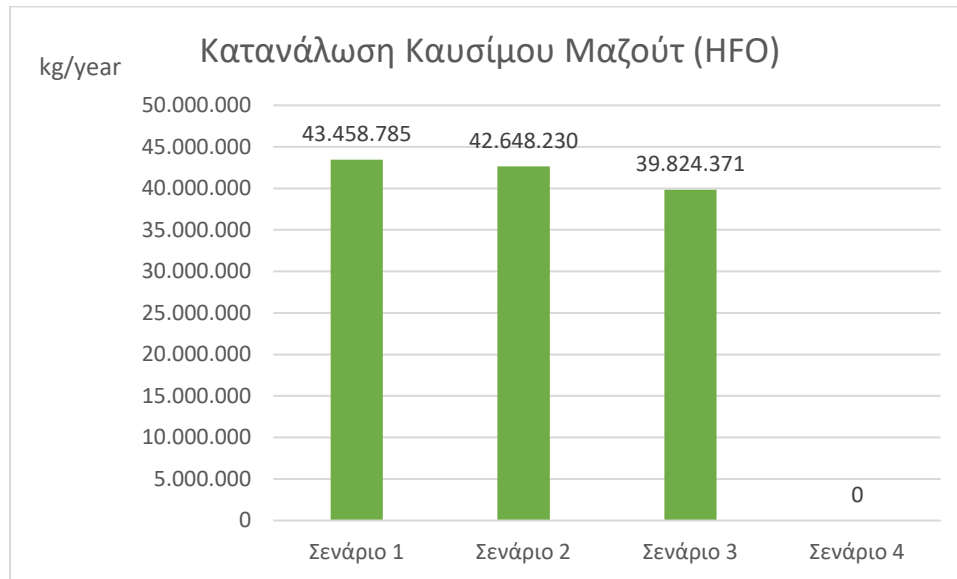
Σχήμα 132: Σύγκριση Σεναρίων βάσει NPC.

Βάσει του Κόστους Ενέργειας (COE):



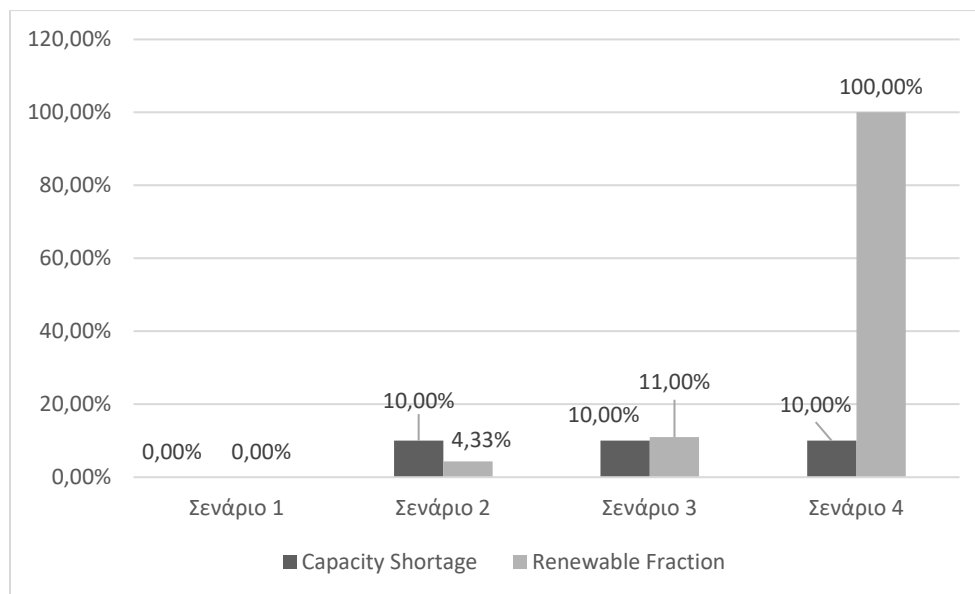
Σχήμα 133 : Σύγκριση Σεναρίων βάσει COE.

Βάσει της Κατανάλωσης Καυσίμου (HFO):



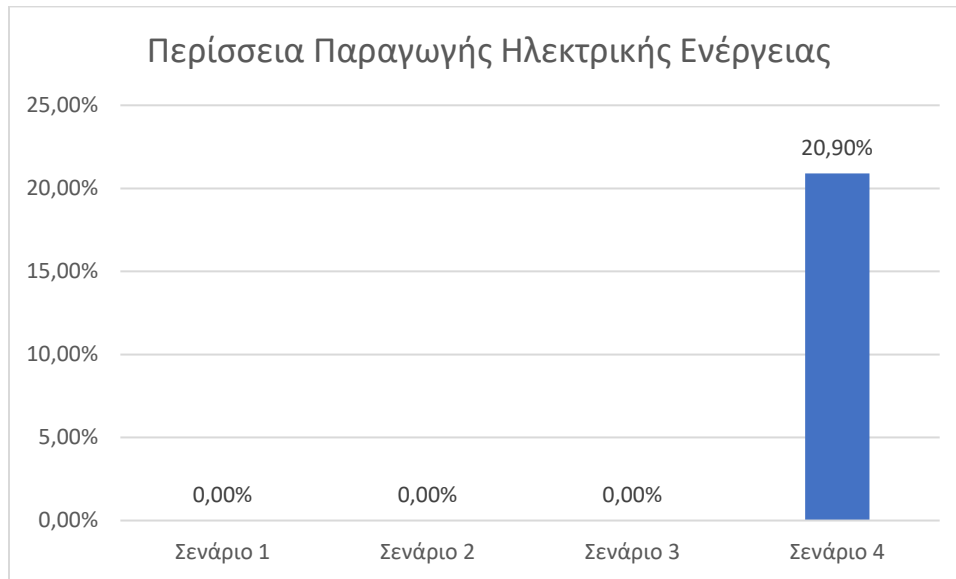
Σχήμα 134: Σύγκριση Σεναρίων βάσει Κατανάλωσης Καυσίμου.

Βάσει του κλάσματος ΑΠΕ και Ελλείματος Ενέργειας:



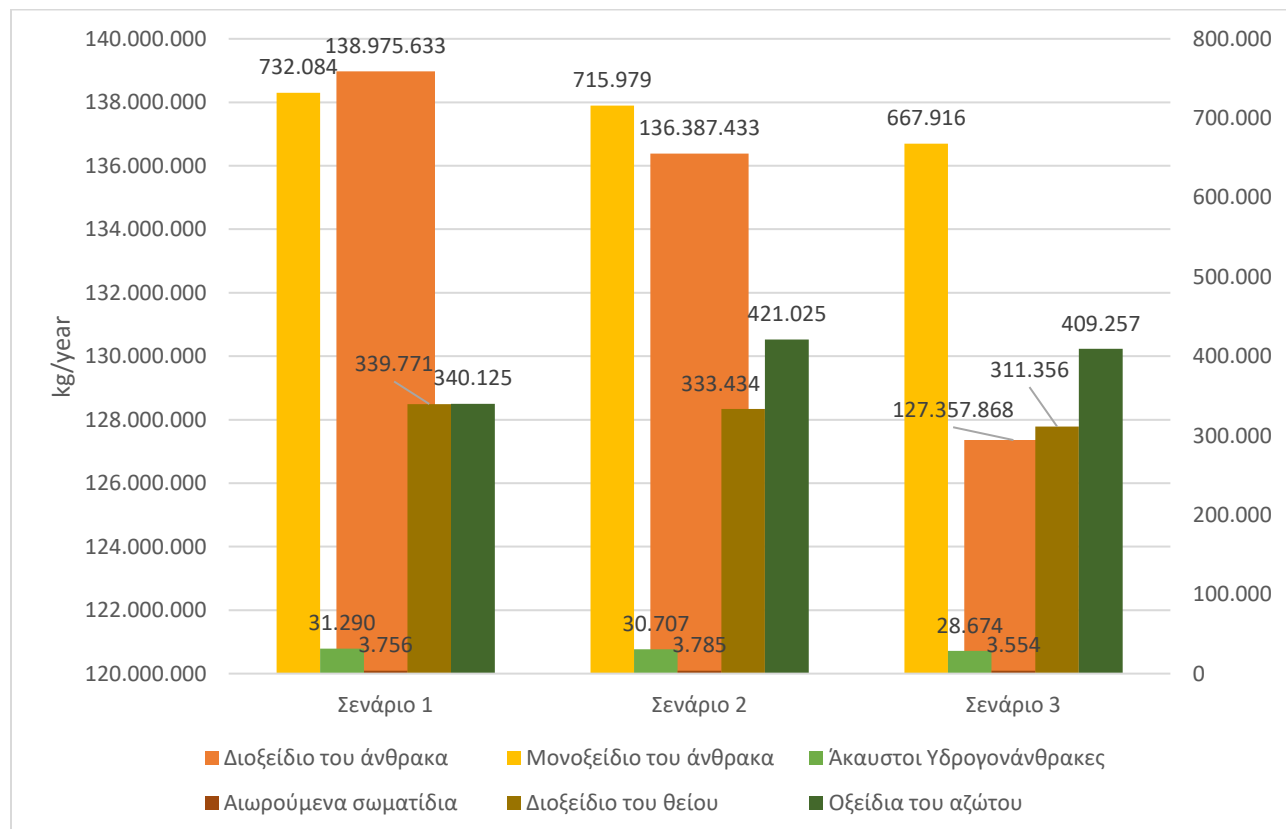
Σχήμα 135: Σύγκριση Σεναρίων βάσει του κλάσματος ΑΠΕ και Ελλείματος Ενέργειας.

Βάσει της Περίσσειας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας:



Σχήμα 136: Σύγκριση Σεναρίων βάσει της Περίσσειας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Βάσει των Εκπομπών Καυσαερίων:



Σχήμα 137: Σύγκριση Σεναρίων βάσει των Εκπομπών Καυσαερίων.

Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα και Προτάσεις για Μελλοντική Εργασία

5.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκε οικονομοτεχνική παραμετρική μελέτη τεσσάρων (4) Σεναρίων, με το εμπορικό λογισμικό HOMER PRO, με σκοπό την εύρεση βέλτιστης λύσης για το ήδη υπάρχον μικροδίκτυο στο νησί της Χίου βάσει δεδομένων που πάρθηκαν από τον ΔΕΔΔΗΕ για το έτος 2020. Το 1^ο Σενάριο αφορά μόνο την χρήση Συμβατικών Μονάδων Μαζούτ για ηλεκτροπαραγωγή, βάσει του οποίου επιβεβαιώθηκαν με το HOMER PRO τα οικονομοτεχνικά αποτελέσματα του ΔΕΔΔΗΕ. Η τιμή του σταθμισμένου κόστους ενέργειας (LCOE) ανέρχεται σε 0,14 €/kWh, η οποία είναι κοντά στην πραγματική τιμή των 0,15€/kWh, που αναφέρει ο ΔΕΔΔΗΕ.

Για το 2^ο Σενάριο στο οποίο προστέθηκαν Φ/Β συνολικής ισχύος 5.175 kW, σύμφωνα με τα δεδομένα του ΔΕΔΔΗΕ, για το έτος 2020, παρατηρήθηκε μείωση του σταθμισμένου κόστους ενέργειας (LCOE) κατά 7,14% και πιο συγκεκριμένα διαμορφώθηκε στα 0,13€/kWh. Ακόμα, παρατηρήθηκε μείωση 1,86% στο διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και στους άκαυστους υδρογονάνθρακες, μείωση σε μονοξείδιο του άνθρακα 2,2%, ενώ αύξηση σε αιωρούμενα σωματίδια 0,77% και 23,78% σε οξείδια του αζώτου. Το καθαρό παρόν κόστος (NPC) μειώθηκε κατά 6,81 % και διαμορφώθηκε στα 358.717.604,09 €, η κατανάλωση μαζούτ (HFO) μειώθηκε 1,86% με ταυτόχρονη αύξηση του κλάσματος ΑΠΕ κατά 4,33%.

Για το 3^ο Σενάριο στο οποίο προστέθηκαν Φ/Β και Α/Γ, συνολικής ισχύος 5.175 kW και 8.550 kW αντίστοιχα, σύμφωνα με τα δεδομένα του ΔΕΔΔΗΕ, για το έτος 2020, παρατηρήθηκε μείωση του σταθμισμένου κόστους ενέργειας (LCOE) κατά 8,07% και πιο συγκεκριμένα διαμορφώθηκε στα 0,1287€/kWh, σε σχέση με το 1^ο Σενάριο. Ακόμα, παρατηρήθηκε μείωση 8,35% στο διοξείδιο του άνθρακα, μείωση 8,36% στο διοξείδιο του θείου και στους άκαυστους υδρογονάνθρακες, μείωση σε μονοξείδιο του άνθρακα 8,76%, μείωση σε αιωρούμενα σωματίδια 5,37% και αύξηση 20,32% σε οξείδια του αζώτου. Το καθαρό παρόν κόστος (NPC) μειώθηκε κατά 8,06 %, η κατανάλωση μαζούτ (HFO) μειώθηκε 8,36% με ταυτόχρονη αύξηση του κλάσματος ΑΠΕ κατά 11%, σε σχέση με το 1^ο Σενάριο.

Για το 4^ο Σενάριο στο οποίο προστέθηκαν Φ/Β και Α/Γ, συνολικής ισχύος 5.175 kW και 8.550 kW αντίστοιχα, σύμφωνα με τα δεδομένα του ΔΕΔΔΗΕ, για το έτος 2020, με ταυτόχρονη βέλτιστη πρόσθετη αύξηση σε Φ/Β και Α/Γ, ώστε να τροφοδοτείται το νησί μόνο με ΑΠΕ, παρατηρήθηκε αύξηση του σταθμισμένου κόστους ενέργειας (LCOE) κατά 38,4% και πιο συγκεκριμένα διαμορφώθηκε στα 0,2273€/kWh, σε σχέση με το 1^ο Σενάριο. Το καθαρό παρόν κόστος (NPC) αυξήθηκε κατά 34%. Το σενάριο αυτό δεν είναι οικονομικά και τεχνικά εφικτό αφού το καθαρό παρόν κόστος και το κόστος ενέργειας είναι πολύ μεγάλα και κατά συνέπεια όχι ανταγωνιστικά, κι αφετέρου η πρόσθετη αύξηση των ΑΠΕ έτσι ώστε να έχουμε 100% διείσδυση τους είναι υπερβολική.

5.2 Μελλοντικά Σχέδια & Προτάσεις

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) αποφάσισε τη χορήγηση άδειας στις αρχές του 2022, για την κατασκευή ενός πλωτού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με καύσιμο LNG στο Μη διασυνδεδεμένο νησί της Χίου, συνολικής ισχύος 72 MW μέχρι 31/12/28 όπου κι αναμένεται περίπου με βάση το τελευταίο πακέτο του ΑΔΜΗΕ να διασυνδεθεί το νησί. Ο παραπάνω σχεδιασμός έχει στόχο αφενός την μείωση κατανάλωσης καυσίμου στις ήδη υπάρχουσες συμβατικές μονάδες, αφετέρου την μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων ακόμα περισσότερο. Εκτιμάται επίσης ότι θα μειωθεί σημαντικά και το κόστος της παραγόμενης ενέργειας. Τέλος, οι νέες μονάδες θα είναι και Hydrogen Ready ώστε να μπορούν λειτουργήσουν μελλοντικά και με μείγμα φυσικού αερίου και υδρογόνου αλλά θα έχουν και ταχύτατη ανταπόκριση στις μεταβολές της ζήτησης και έτσι θα μπορούν να συμβάλλουν στην μεγαλύτερη διείσδυση των ΑΠΕ στο νησί της Χίου και αργότερα στο διασυνδεδεμένο σύστημα.

Στα πλαίσια των παραπάνω εξελίξεων προτείνεται η μελέτη κι ο σχεδιασμός πλωτών σταθμών LNG, Φ/Β και παράκτιων αιολικών πάρκων καθώς και προσαρμογή αυτών για μελλοντική συνεισφορά σε πιθανή διασύνδεση του νησιού με την ηπειρωτική Ελλάδα. Εκτός από το παραπάνω τεχνικό σχεδιασμό θα ήταν δόκιμη κι η αντίστοιχη οικονομική μελέτη για την εύρεση βέλτιστης λύσης με το λογισμικό HOMER PRO.

Παράρτημα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι:
ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΧΙΟΥ
ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020

ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΙΟΥ: ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΩΡΑ ΕΤΟΥΣ 2020 (MW)

Ημερομηνία / Ωρα	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
1/1/20	26.34	24.44	27.38	23.54	21.67	21.48	22.92	23.43	24.58	25.75	30.25	34.31	35.27	32.55	26.89	29.24	30.19	31.37	32.60	32.95	34.03	31.91	30.65	28.24
2/1/20	24.37	21.71	23.04	22.22	22.22	20.82	22.17	24.18	28.40	29.76	24.66	31.68	33.35	34.82	32.96	35.05	35.52	35.61	36.09	36.65	35.06	33.32	30.54	28.15
3/1/20	23.79	22.72	22.39	21.57	20.39	20.66	22.49	27.17	28.58	30.86	31.03	30.42	29.99	29.90	29.26	32.29	35.60	37.45	37.93	37.61	37.40	34.73	32.73	28.42
4/1/20	25.17	21.26	22.51	21.98	20.97	20.95	22.52	25.60	27.43	30.04	28.58	27.95	26.98	27.36	28.58	31.93	34.24	35.77	37.20	36.70	36.10	34.18	31.56	28.59
5/1/20	25.38	22.89	23.61	22.75	21.22	21.09	22.38	24.32	24.97	26.18	28.30	29.34	30.02	29.98	29.09	33.26	35.65	36.47	35.85	35.73	34.87	33.46	30.14	28.03
6/1/20	24.03	21.62	21.97	22.14	21.57	21.22	22.31	24.65	27.15	28.42	32.03	36.33	39.15	37.64	35.53	36.96	36.98	36.65	37.84	37.63	37.09	35.58	32.78	29.30
7/1/20	25.45	22.23	23.90	23.03	22.29	22.51	24.97	29.17	33.93	36.73	39.01	40.90	41.29	40.78	39.30	41.67	42.29	41.95	42.99	42.55	41.23	38.65	34.89	30.92
8/1/20	26.14	22.90	23.11	23.40	22.50	22.91	25.83	30.74	35.31	37.73	38.83	38.97	39.70	40.38	39.31	41.33	42.12	41.69	42.05	41.64	40.92	38.73	35.02	30.60
9/1/20	26.16	22.97	24.33	23.69	22.88	23.47	26.90	31.56	35.59	38.84	38.92	36.89	36.21	35.31	34.91	37.69	39.84	41.49	42.86	42.92	42.07	39.46	35.46	31.03
10/1/20	26.58	23.27	24.65	23.77	22.74	23.28	26.90	31.19	33.34	32.93	31.20	30.23	30.11	30.24	30.16	32.97	36.71	38.66	41.03	40.83	39.70	37.35	34.40	30.48
11/1/20	26.39	23.62	24.40	23.74	22.66	22.52	24.58	27.34	29.31	29.51	28.48	27.86	27.60	27.92	27.67	31.81	35.22	37.62	39.98	39.70	38.36	35.94	32.95	29.74
12/1/20	26.06	23.25	24.14	23.01	21.71	21.35	22.57	24.15	24.97	25.23	25.57	26.45	26.97	27.42	26.79	29.90	32.34	34.26	35.86	36.18	35.94	34.41	31.56	27.69
13/1/20	23.65	21.31	22.57	21.64	20.48	20.92	24.06	29.10	29.54	28.46	28.02	27.41	27.20	27.47	27.41	31.14	34.05	36.67	37.60	37.75	37.87	36.02	32.59	28.43
14/1/20	23.97	20.91	22.29	21.50	21.04	21.57	24.85	28.70	29.74	29.22	28.21	27.23	27.40	27.77	28.10	30.68	33.99	35.99	38.80	39.18	38.89	36.78	33.35	29.01
15/1/20	24.83	21.44	22.88	22.24	21.09	21.35	24.65	28.98	31.04	30.24	29.24	27.68	27.18	27.62	27.94	32.00	34.50	36.16	37.93	37.93	37.54	35.54	32.42	28.14
16/1/20	23.89	21.11	22.43	21.68	20.78	21.39	24.40	28.14	29.46	29.16	28.39	27.52	27.41	27.31	27.81	31.80	34.01	36.49	38.33	38.48	38.57	36.05	32.06	28.31
17/1/20	24.28	21.27	22.70	21.99	21.20	21.62	25.09	29.20	31.34	31.60	31.27	31.78	32.26	33.10	33.20	35.29	38.04	38.33	40.07	39.84	38.36	35.90	32.25	28.67
18/1/20	24.82	22.51	23.30	22.68	21.67	21.69	23.58	25.77	29.04	31.40	31.36	31.29	31.60	31.95	31.63	35.33	37.15	37.22	39.12	38.76	37.66	34.80	31.66	28.02
19/1/20	25.06	22.47	23.39	22.57	21.49	21.27	22.72	24.43	25.80	26.65	32.70	34.89	35.70	35.11	34.27	36.89	37.69	36.75	37.44	37.57	37.38	35.72	32.34	32.03
20/1/20	24.39	21.78	23.24	22.56	21.58	22.39	25.60	30.57	32.74	33.74	33.21	32.44	32.76	35.34	36.70	40.80	40.89	39.50	40.85	41.01	40.65	38.27	34.08	31.87
21/1/20	25.37	22.31	23.80	23.20	22.31	22.83	26.11	31.46	34.05	36.58	37.87	37.88	38.65	38.29	36.80	39.94	41.11	41.80	43.22	43.05	42.19	39.59	35.51	33.17
22/1/20	25.16	22.32	23.79	23.15	22.20	22.94	26.37	32.18	33.08	34.16	34.07	33.42	33.77	34.68	34.69	38.08	39.71	40.65	41.93	41.95	41.22	38.60	34.73	31.92
23/1/20	26.02	23.04	24.28	23.62	22.68	23.26	26.22	31.24	32.06	33.01	32.78	32.05	32.21	32.33	31.86	35.14	38.45	40.05	41.51	41.27	40.22	37.51	34.05	31.32
24/1/20	25.71	22.68	24.33	23.69	22.71	23.58	27.39	34.49	32.44	32.16	31.04	29.93	29.90	30.40	30.58	33.49	37.33	40.64	41.72	41.78	40.82	37.93	34.60	30.72
25/1/20	26.99	23.95	24.70	23.98	23.01	23.36	25.16	27.76	29.68	30.31	29.43	28.35	28.08	28.31	28.20	31.98	36.91	37.72	39.60	38.97	37.64	35.00	32.04	30.06
26/1/20	25.22	22.31	23.56	22.54	21.46	21.29	22.33	24.41	26.13	28.54	30.87	32.74	33.34	32.84	30.61	31.90	32.67	33.42	34.81	34.76	34.62	32.94	30.18	26.44
27/1/20	22.54	19.85	20.42	20.78	19.76	20.07	22.41	26.08	27.88	27.35	25.78	24.53	26.35	30.15	29.81	31.68	32.96	33.48	35.01	36.04	36.01	33.38	29.75	26.05
28/1/20	22.34	19.52	20.39	20.27	19.34	19.82	22.98	26.31	27.18	26.93	26.47	26.40	26.13	26.06	25.39	27.15	29.78	31.89	35.30	35.86	35.79	33.82	30.48	26.32
29/1/20	22.55	19.92	21.30	20.67	19.73	20.09	22.47	26.44	27.28	26.45	25.71	25.10	25.91	27.02	26.89	27.50	36.92	31.38	33.97	34.47	34.45	32.51	29.34	26.67
30/1/20	21.71	18.99	19.36	19.75	18.83	19.25	21.93	25.28	26.71	27.21	27.22	27.64	26.83	26.22	24.10	26.11	29.37	31.19	34.53	35.49	35.33	33.19	30.03	26.67
31/1/20	22.63	19.95	20.45	20.87	19.98	20.67	23.70	28.01	28.35	27.47	26.25	25.29	25.13	24.86	25.00	27.86	30.15	32.93	36.17	36.50	35.76	33.69	30.79	27.34
1/2/20	23.57	20.79	22.05	21.11	19.99	20.28	21.87	23.99	25.04	24.74	23.95	23.95	23.80	23.76	23.50	26.19	28.48	31.13	34.38	34.95	34.14	32.14	29.39	28.13
2/2/20	23.46	20.71	21.76	20.74	19.79	19.49	20.67	21.81	22.30	22.36	22.86	23.53	23.54	23.11	21.60	23.83	25.45	28.09	31.23	32.36	32.25	30.74	28.03	24.17
3/2/20	20.68	18.96	20.16	19.36	18.39	18.75	21.86	23.11	23.57	23.36	23.24	23.18	23.35	25.98	25.61	27.34	28.10	28.35	31.79	33.10	32.95	31.02	27.87	24.40
4/2/20	20.66	18.66	19.82	19.32	18.54	18.95	21.52	24.42	24.85	24.36	23.63	22.82	23.16	24.14	23.71	25.51	26.40	29.26	32.46	33.16	32.91	30.94	27.69	24.23
5/2/20	20.97	18.58	19.65	19.18	18.34	18.62	21.27	24.88	26.56	27.34	27.80	29.32	30.63	31.36	30.16	30.78	31.06	31.05	34.72	35.52	35.53	33.12	29.45	25.81
6/2/20	22.13	19.64	21.15	20.75	19.75	20.03	23.04	27.31	28.62	27.30	26.43	26.74	28.52	26.05	26.83	31.25	34.42	35.77	38.56	39.22	38.73	36.02	32.09	28.03
7/2/20	24.03	21.09	22.69	22.07	21.00	21.71	25.55	30.04	33.28	33.71	32.45	31.03	30.21	29.95	29.60	31.79	38.78	36.44	39.91	39.71	38.62	35.95	32.86	29.65
8/2/20	25.65	22.67	22.55	22.74	21.76	21.86	24.22	26.82	30.17	32.97	33.28	32.02	31.98	32.06	31.55	34.46	36.23	36.72	40.40	40.93	40.01	37.71	34.47	30.81
9/2/20	27.32	24.34	25.44	24.74	23.41	23.39	24.94	26.94	27.68	28.32	29.54	30.38	30.85	31.30	29.49	31.41	33.36	36.66	38.73	38.77	38.81	37.27	34.37	30.47
10/2/20	25.78	23.11	24.35	23.93	23.16	23.79	26.74	30.71	33.79	35.07	33.48	32.74	32.04	32.23	32.05	34.65	36.72	36.64	39.25	39.62	39.42	37.26	33.32	29.04
11/2/20	24.93	21.62	23.00	22.47	21.42	21.75	24.51	29.03	28.77	27.92	26.68	25.94	25.35	25.43	24.95	28.26	30.17	32.55	36.03	36.07	35.79	33.79	30.12	26.38
12/2/20	22.57	20.05	20.42	20.82	19.51	19.98	20.75	23.71	27.23	26.76	24.84	23.79	23.89	24.33	24.27	26.61	27.16	27.91	32.10	32.99	33.28	31.77	28.59	25.22
13/2/20	21.78	19.05	19.49	19.61	18.51	18.89	21.43	24.26	25.32	24.99	23.67	22.68	22.64	22.31	22.04	24.57	26.10	27.84	32.25	34.18	34.24	32.60	30.41	27.68
14/2/20	23.84	19.58	21.29	20.26	19.24	19.77	22.26	23.64	28.46	29.47	27.55	26.37	26.69	26.64	26.98	30.92	31.78	32.11	35.18	35.13	34.46	32.88	31.74	26.39
15/2/20	24.82	21.64	22.46	21.27	19.75	20.60	20.31	24.63	28.16	30.24	32.62	34.89	34.90	35.13	34.51	36.91	36.24	34.18	36.62	36.83	36.90	33.50	32.25	26.69
16/2/20	23.59	22.26	22.13	20.74	19.51	19.89	20.99	22.74	24.11	23.92	24.96	26.79	26.98	25.42	23.69	26.32								

ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΙΟΥ: ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΩΡΑ ΕΤΟΥΣ 2020 (MW)

Ημερομηνία / Ωρα	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
23/2/20	24.07	22.33	22.68	21.41	20.18	20.06	21.14	23.14	24.95	24.05	24.87	25.84	25.93	25.09	23.70	26.31	27.31	29.21	32.42	33.82	34.14	32.98	30.48	26.59
24/2/20	23.01	20.27	21.85	20.92	20.01	20.54	22.74	25.81	26.74	27.40	25.89	25.27	25.47	24.54	25.49	27.12	28.52	29.36	33.35	36.01	36.19	34.17	30.87	26.91
25/2/20	22.80	20.47	20.26	20.75	19.76	20.25	22.91	26.30	25.47	24.82	23.44	21.61	21.53	22.04	23.17	24.56	25.64	27.00	30.63	34.17	34.24	32.45	29.75	26.01
26/2/20	22.44	19.64	21.17	20.06	18.96	19.40	21.00	23.58	22.95	22.90	21.28	19.80	21.44	23.91	24.98	25.99	26.41	26.26	29.59	31.09	31.67	29.88	26.67	24.15
27/2/20	19.72	17.37	18.46	17.62	16.53	16.94	19.07	20.02	20.13	20.63	21.77	22.93	24.20	25.95	23.99	24.03	25.16	23.94	27.30	29.78	30.71	28.73	26.03	23.22
28/2/20	19.99	17.81	19.32	18.57	18.02	18.75	21.14	23.97	22.89	22.88	22.12	20.79	22.03	23.25	24.22	25.86	25.79	25.59	29.78	32.17	32.01	30.50	28.25	28.58
29/2/20	21.66	19.57	20.59	19.45	18.59	19.01	20.27	22.94	24.70	25.62	26.10	26.32	27.82	27.65	26.95	30.33	31.69	31.98	34.29	35.97	35.29	33.17	30.24	29.22
1/3/20	23.73	20.96	22.54	21.24	20.28	20.01	21.21	22.73	22.87	22.17	22.20	22.65	23.08	22.78	21.20	23.02	23.99	25.58	31.65	33.03	33.28	32.23	29.66	26.74
2/3/20	23.21	20.53	21.49	20.49	19.32	19.12	19.66	21.26	22.49	22.96	22.82	20.98	19.71	17.66	15.60	18.23	20.46	22.88	26.88	30.12	30.73	29.18	26.21	22.98
3/3/20	19.82	17.55	18.97	18.26	17.20	17.79	19.51	22.21	22.04	21.76	20.93	20.15	20.55	20.85	20.91	23.74	26.31	26.15	29.35	31.25	31.11	29.43	27.26	23.99
4/3/20	20.17	17.91	19.47	18.40	17.50	18.05	20.00	23.01	24.47	24.69	24.93	24.13	24.03	23.51	24.25	26.50	26.54	27.27	30.03	31.38	31.55	29.98	27.59	24.31
5/3/20	21.24	18.23	19.40	18.52	17.75	18.21	20.57	24.22	26.56	28.51	36.09	31.28	30.47	29.47	29.50	29.92	28.95	28.10	31.85	34.70	34.83	32.69	29.84	25.63
6/3/20	22.04	19.16	20.50	19.54	18.61	19.36	22.03	23.90	23.38	23.37	23.02	23.43	23.54	23.05	22.06	24.01	24.97	25.37	29.33	32.06	32.47	31.10	28.51	24.97
7/3/20	21.72	18.85	19.95	18.87	17.74	17.94	18.97	20.81	21.67	23.38	23.22	23.87	24.59	25.60	24.84	26.69	28.37	27.51	30.36	32.25	31.34	29.83	27.21	24.71
8/3/20	21.67	18.60	19.71	18.69	17.25	17.21	17.76	19.55	19.43	19.30	20.27	21.10	21.32	21.50	19.18	20.56	21.41	22.71	25.78	28.41	28.64	27.39	25.16	22.14
9/3/20	18.61	17.01	18.35	17.53	16.81	17.22	18.56	21.69	21.74	21.89	22.78	23.77	25.36	24.96	24.63	26.03	26.21	26.61	29.88	32.22	32.57	30.87	27.26	23.52
10/3/20	20.14	18.09	19.31	18.35	17.69	18.25	20.03	23.63	25.91	27.05	26.27	23.72	22.31	22.10	22.11	24.43	23.38	24.33	28.19	31.25	31.83	30.60	27.76	24.71
11/3/20	21.24	18.98	19.63	18.69	18.00	18.66	19.60	21.65	22.61	24.22	25.56	26.79	25.95	25.31	23.39	25.05	25.41	25.72	29.35	32.56	32.49	30.76	28.09	24.39
12/3/20	20.77	18.54	19.59	18.79	17.98	18.46	19.10	21.06	21.17	21.74	21.33	20.85	21.08	21.11	19.80	21.76	21.92	22.77	26.48	30.30	30.46	28.98	26.26	22.91
13/3/20	19.76	17.17	17.28	17.40	16.52	16.91	18.23	19.70	20.09	20.50	20.26	19.84	19.64	19.86	18.98	20.22	20.14	21.26	24.88	27.91	27.93	26.59	24.07	21.48
14/3/20	18.96	17.25	18.24	17.40	16.82	19.34	17.34	18.16	18.09	18.04	18.06	18.27	18.59	18.72	17.80	19.15	19.27	20.28	23.84	27.11	27.29	25.56	23.04	20.56
15/3/20	18.11	16.56	17.40	16.51	15.70	15.62	15.50	16.48	16.33	17.41	17.91	19.22	19.76	19.69	18.18	19.56	21.23	22.06	24.84	27.30	27.45	25.70	23.22	20.62
16/3/20	18.46	16.62	17.78	17.03	16.39	16.86	18.07	20.89	24.11	26.69	28.57	29.50	29.40	29.59	28.03	29.78	29.77	29.38	32.24	35.12	34.88	32.56	29.40	25.84
17/3/20	22.81	19.72	19.68	20.30	19.54	19.85	21.18	22.81	23.90	24.78	25.51	26.14	26.46	26.04	24.36	26.02	26.44	26.98	31.51	34.30	34.08	32.03	28.59	25.36
18/3/20	21.91	19.25	20.52	19.53	18.65	19.19	19.72	21.33	24.34	25.66	26.07	23.62	24.35	24.00	23.02	24.53	25.12	26.51	30.58	34.50	34.25	32.15	28.76	24.99
19/3/20	21.72	19.60	20.65	19.53	18.67	19.15	19.60	22.33	24.20	25.01	26.07	25.93	26.13	25.96	24.03	25.95	26.17	27.64	31.05	34.27	34.29	32.19	30.19	25.16
20/3/20	21.94	19.73	20.74	19.68	18.64	19.15	19.59	21.58	22.30	22.45	22.79	22.98	23.29	23.49	22.40	24.43	24.52	25.07	29.79	33.30	33.04	30.98	27.29	24.12
21/3/20	21.14	18.93	19.85	18.75	17.97	18.12	18.09	19.58	19.14	19.55	19.78	19.72	20.26	20.38	19.43	20.03	21.36	21.67	26.58	31.01	31.29	29.44	26.49	23.23
22/3/20	20.57	18.39	19.39	18.24	17.30	17.15	16.70	17.18	18.83	20.84	22.22	24.24	25.12	25.67	23.94	26.16	26.23	25.21	27.86	29.80	30.17	28.59	25.86	22.62
23/3/20	20.05	17.81	18.63	17.60	16.57	16.67	16.98	19.29	21.34	22.91	23.73	23.33	24.88	26.89	26.69	28.27	28.27	27.20	29.62	31.74	31.31	29.11	25.69	26.93
24/3/20	19.57	17.60	18.74	17.75	16.81	17.03	17.72	19.39	20.43	21.93	22.13	21.83	23.09	22.18	20.50	22.26	21.78	22.41	26.75	29.67	29.85	27.86	24.68	21.80
25/3/20	19.64	17.37	18.37	17.30	16.18	15.78	15.82	16.38	16.60	17.62	19.06	20.32	21.97	22.82	20.88	22.31	22.11	22.95	27.02	30.12	29.95	27.84	24.87	22.28
26/3/20	19.44	17.40	18.51	17.55	16.61	16.68	17.33	19.86	22.22	23.84	25.42	26.74	26.96	26.92	25.21	27.01	27.31	26.69	29.61	31.86	31.70	29.00	25.64	22.33
27/3/20	19.61	17.73	18.87	17.85	16.95	17.08	17.50	19.83	21.02	22.23	22.71	24.42	25.91	25.93	26.03	28.04	28.27	27.74	29.81	32.12	31.73	29.37	26.12	26.33
28/3/20	20.35	18.16	19.26	18.40	17.22	16.75	17.03	18.91	19.82	21.08	22.23	21.87	22.15	22.39	21.34	23.27	23.59	23.49	27.32	30.74	30.84	28.81	25.97	26.96
29/3/20	20.40	18.81	19.22	18.29	17.86	17.12	16.86	16.65	18.86	20.92	21.68	22.65	25.75	28.05	28.20	27.23	24.51	22.38	23.98	28.07	31.51	30.60	27.68	24.16
30/3/20	20.88	19.46	19.18	18.26	17.25	17.19	18.33	19.86	21.78	21.89	21.12	20.74	20.58	20.51	19.22	19.89	19.17	19.03	21.04	26.07	30.23	29.43	26.17	22.99
31/3/20	20.22	17.76	18.47	17.46	16.53	16.59	17.44	18.97	20.25	20.90	21.17	21.43	21.05	20.54	19.05	19.20	18.59	18.31	20.90	24.59	28.93	28.08	25.26	22.24
1/4/20	19.27	17.19	18.21	17.35	16.45	16.44	17.36	18.60	20.36	21.90	22.67	22.18	22.34	22.28	21.49	21.72	20.47	19.91	21.59	26.43	30.69	29.68	26.43	25.15
2/4/20	20.10	17.64	18.35	17.41	16.76	16.95	17.99	19.83	21.57	22.69	24.19	25.63	25.77	24.87	22.45	23.57	22.56	23.69	27.32	30.46	33.61	31.52	27.87	24.28
3/4/20	21.05	18.64	19.44	18.46	17.59	17.64	18.75	20.45	21.39	21.55	21.55	22.89	23.75	24.43	23.54	23.73	23.87	24.87	26.58	29.72	32.35	30.90	27.39	24.26
4/4/20	21.24	18.55	18.22	18.07	16.99	16.98	17.54	18.97	20.21	21.66	23.17	25.04	26.68	26.42	24.12	26.55	26.84	25.80	27.28	29.96	31.36	29.30	25.86	22.94
5/4/20	20.28	17.77	18.52	17.20	16.15	15.96	16.23	17.19	18.12	21.07	24.64	26.74	26.06	22.81	22.22	23.03	22.60	22.28	24.25	26.48	29.09	27.58	25.00	22.14
6/4/20	19.36	16.74	17.68	16.66	15.59	15.99	16.81	18.91	20.56	23.23	27.57	27.83	27.23	25.77	22.86	22.22	23.86	22.95	25.73	29.65	31.53	29.75	26.70	23.27
7/4/20	20.49	18.23	18.97	17.75	16.66	17.11	17.86	19.73	21.63	21.82	22.59	22.90	23.29	23.80	23.58	25.62	25.02	23.47	25.54	29.22	31.71	30.12	27.03	25.71
8/4/20	20.92	18.15	19.07	18.15	16.92	17.11	18.39	19.89	21.14	22.28	22.97	23.91	23.35	22.71	20.85	21.83	21.40	20.72	22.79	26.95	31.01	29.79	26.87	23.70
9/4/20	21.04	18.51	18.64	17.74	16.84	17.08	18.42	19.96	20.78	21.21	21.29	21.63	21.64	21.43	19.83	19.57	2							

ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΙΟΥ: ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΩΡΑ ΕΤΟΥΣ (MW)

Ημερομηνία / Ωρα	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
16/4/20	17.47	15.82	16.05	15.34	15.04	15.52	16.24	18.03	18.89	19.19	19.75	19.65	19.60	19.27	18.28	17.65	17.51	17.98	20.17	23.50	26.73	26.57	23.95	21.12
17/4/20	18.24	16.32	16.27	15.43	15.03	15.29	15.27	15.86	15.82	16.19	16.25	16.14	15.98	15.62	15.16	15.25	15.37	15.94	18.24	20.61	24.91	24.88	22.81	20.59
18/4/20	18.12	16.51	15.64	15.12	14.80	15.31	15.53	16.61	17.04	17.63	17.83	17.92	18.41	18.50	17.26	17.33	17.44	18.08	20.23	23.61	27.28	26.89	24.55	22.44
19/4/20	19.99	17.48	16.42	15.05	14.32	14.26	13.87	14.33	15.00	16.85	18.12	18.75	18.56	16.84	14.07	13.28	12.61	13.17	14.93	17.62	20.97	21.15	19.32	17.72
20/4/20	16.21	14.16	14.20	13.61	13.29	13.26	12.78	13.44	13.77	14.77	15.19	15.33	15.67	17.07	15.46	14.12	14.81	15.60	17.59	19.35	22.98	21.91	19.45	18.41
21/4/20	16.44	13.93	14.10	13.61	13.26	13.54	13.63	15.22	15.58	18.28	18.80	18.21	18.80	18.72	18.30	17.15	18.47	15.92	17.43	18.38	24.15	23.13	20.50	19.43
22/4/20	16.66	14.36	14.60	14.22	13.87	14.18	14.06	15.95	16.91	20.08	22.11	22.73	22.74	21.84	21.85	17.59	17.21	16.63	18.64	20.16	26.16	25.39	22.79	21.53
23/4/20	17.99	16.04	15.73	15.00	14.70	15.12	15.34	16.94	18.60	19.94	20.68	21.31	21.15	19.81	18.13	17.33	17.08	18.70	20.34	22.96	26.55	25.58	22.78	20.40
24/4/20	17.92	16.00	15.83	15.17	14.82	15.12	15.59	17.03	17.72	18.26	17.71	17.91	18.11	17.85	16.43	16.23	15.89	16.15	18.36	20.89	24.86	24.60	22.25	19.75
25/4/20	17.47	15.65	15.29	14.67	14.31	14.56	14.53	15.52	15.52	16.05	16.36	16.49	16.83	17.17	16.04	15.45	15.11	15.50	17.36	19.74	23.96	24.13	21.64	19.48
26/4/20	17.11	15.35	15.09	14.48	13.91	13.83	13.35	14.01	14.52	15.45	16.48	16.68	17.14	16.81	15.40	13.98	14.37	15.60	17.40	18.99	22.35	23.50	21.23	18.66
27/4/20	16.45	14.75	13.96	13.62	13.52	14.03	14.71	15.46	16.68	17.19	17.39	17.22	17.46	17.45	16.32	15.70	15.05	15.40	17.44	19.72	23.66	23.75	21.24	18.75
28/4/20	16.93	15.02	14.41	13.97	13.75	14.17	14.69	15.51	16.18	16.56	16.90	16.97	17.54	17.35	15.95	15.38	14.93	19.35	17.62	19.13	22.17	22.81	20.28	18.12
29/4/20	16.04	14.45	14.12	13.94	13.65	13.96	14.11	15.20	16.12	16.41	16.83	18.71	17.88	18.32	16.49	16.61	16.08	16.83	18.15	20.36	24.00	23.26	20.24	18.01
30/4/20	15.91	14.41	14.08	13.59	13.41	13.80	13.95	15.65	16.94	17.83	18.23	18.27	18.63	17.97	16.58	15.02	14.43	15.07	16.75	18.62	21.45	22.50	20.14	17.86
1/5/20	15.82	14.47	13.80	13.43	12.87	12.96	12.44	13.34	13.78	14.46	15.08	15.16	15.71	15.55	13.15	11.88	12.30	13.47	15.74	17.49	20.55	20.85	18.98	17.44
2/5/20	19.68	14.22	13.44	13.14	12.97	13.24	13.10	13.63	15.10	16.24	16.43	16.48	16.53	16.67	15.08	14.88	14.80	16.28	18.89	21.67	21.51	19.50	17.59	
3/5/20	15.74	14.43	13.56	13.02	12.85	13.00	12.45	13.47	14.42	15.60	16.93	17.80	17.49	16.14	13.69	12.32	12.44	13.90	15.77	17.41	20.69	21.36	19.36	17.48
4/5/20	15.61	14.03	13.36	12.93	12.76	13.48	13.41	15.51	17.73	17.81	18.35	18.82	19.09	18.49	17.58	16.50	15.80	16.14	17.47	19.58	22.53	23.15	20.78	18.57
5/5/20	16.39	14.51	13.87	13.52	13.27	13.78	14.09	15.57	16.53	17.09	17.55	16.88	17.39	16.93	15.54	14.36	14.01	14.92	16.91	18.60	21.90	22.33	20.09	18.01
6/5/20	16.09	14.39	13.63	13.27	13.15	13.67	13.46	14.74	15.80	16.28	15.98	15.99	16.45	16.12	14.86	13.81	13.56	14.80	16.92	18.46	22.00	22.50	20.17	17.82
7/5/20	15.65	14.17	13.66	13.39	13.06	13.34	13.50	15.04	16.50	17.84	19.17	20.25	21.00	19.62	18.62	16.63	17.29	18.62	19.78	20.14	23.52	23.61	21.23	18.46
8/5/20	16.19	14.69	13.93	13.73	13.26	13.66	14.18	15.04	16.57	16.30	16.51	16.25	16.56	16.00	14.86	14.04	13.73	14.84	16.99	18.81	21.90	22.46	20.13	17.92
9/5/20	15.85	14.42	13.48	13.12	12.88	13.15	12.96	14.13	14.80	15.13	15.22	15.64	16.08	15.82	14.74	13.75	13.70	14.93	16.92	18.48	21.39	22.16	19.82	18.05
10/5/20	15.92	14.25	13.35	12.78	12.46	12.38	12.67	13.27	13.89	14.38	15.15	15.60	15.30	14.83	13.01	12.24	12.22	13.71	15.61	17.37	20.07	20.88	19.03	17.18
11/5/20	15.27	13.81	13.02	12.80	12.55	12.92	12.81	14.50	15.85	16.33	16.44	16.48	16.71	16.61	15.20	14.08	13.96	14.97	16.87	19.05	21.83	22.11	19.71	18.73
12/5/20	15.30	13.79	13.51	13.31	13.06	13.09	12.96	13.91	16.26	16.67	16.80	17.49	17.69	17.36	16.15	15.16	14.88	16.00	17.86	19.56	21.76	22.00	19.53	18.72
13/5/20	15.01	13.89	13.49	13.08	12.84	12.74	13.35	15.12	15.68	17.27	17.21	17.14	17.23	17.12	15.95	15.07	14.08	15.26	16.33	18.67	18.97	21.98	20.86	17.45
14/5/20	16.11	13.86	13.20	12.97	12.70	12.86	12.99	14.56	15.40	16.89	17.21	17.25	17.65	17.62	16.27	15.89	14.53	14.92	16.88	19.40	21.55	21.91	20.58	18.69
15/5/20	15.69	14.07	13.45	13.09	12.89	13.16	13.23	14.72	16.28	17.23	17.58	18.01	18.55	18.52	17.07	16.26	15.97	17.10	18.93	20.10	22.26	22.50	20.37	18.10
16/5/20	16.11	14.82	14.18	13.77	13.49	13.50	13.17	14.52	16.20	17.42	17.93	18.33	18.73	18.42	17.73	16.92	16.74	17.82	19.40	20.28	22.09	22.56	20.62	19.14
17/5/20	17.31	15.80	14.65	14.17	13.82	13.59	12.89	13.58	14.55	15.26	16.96	18.08	18.55	17.66	16.42	15.34	15.97	16.81	18.40	19.39	21.34	22.23	20.67	19.11
18/5/20	16.79	15.38	14.89	14.30	13.88	14.03	13.87	15.44	17.23	18.57	19.48	20.06	20.30	20.44	19.70	18.26	18.19	18.96	20.31	21.34	23.37	24.20	22.09	20.01
19/5/20	17.40	16.01	15.21	14.79	14.47	14.49	14.36	15.88	18.04	18.77	19.46	19.84	20.36	20.56	19.70	18.69	18.76	19.12	20.99	21.40	23.34	23.78	21.89	19.58
20/5/20	17.19	15.77	14.81	14.27	13.97	14.03	14.23	15.60	17.86	19.08	19.97	20.80	21.09	20.70	19.94	18.89	18.86	17.85	20.00	20.89	22.36	23.00	21.01	18.94
21/5/20	16.73	15.54	14.41	13.90	13.71	14.13	14.48	16.25	17.54	18.39	19.01	18.88	19.42	19.41	17.93	16.26	16.33	17.55	18.75	19.85	21.66	22.31	20.60	19.98
22/5/20	16.59	15.02	14.53	13.99	12.76	12.63	12.46	13.98	15.17	16.12	15.98	17.08	17.31	17.28	15.16	12.91	12.76	13.69	15.81	17.89	20.38	21.18	19.25	17.50
23/5/20	15.65	14.06	13.41	12.75	12.61	12.93	13.10	14.24	15.16	15.44	16.02	16.34	17.85	17.20	15.38	13.66	13.22	14.07	15.96	17.12	19.79	21.10	19.36	17.19
24/5/20	15.46	14.08	13.34	12.92	12.67	12.32	12.13	12.99	13.12	13.53	14.37	15.58	16.07	15.52	13.39	12.27	12.36	13.68	15.49	17.27	19.53	20.86	19.31	17.46
25/5/20	15.46	13.78	13.05	12.74	12.21	12.64	12.98	15.03	16.15	16.66	17.22	17.15	17.68	17.58	15.99	14.83	13.84	14.90	17.22	19.28	21.04	21.83	19.54	17.28
26/5/20	15.05	13.67	13.36	13.05	12.79	12.87	13.24	15.07	16.87	16.68	18.29	18.80	18.07	18.50	18.51	16.59	16.02	15.68	17.73	19.18	21.58	21.65	19.65	17.66
27/5/20	14.74	13.40	12.43	11.66	11.48	12.05	12.60	15.08	17.23	19.19	20.39	21.31	21.27	20.31	17.16	16.66	14.84	14.67	16.42	18.52	20.85	21.17	18.94	16.45
28/5/20	13.75	12.06	11.59	11.33	11.67	12.28	12.76	14.37	15.14	15.48	16.06	15.87	16.25	16.59	16.13	15.08	14.03	15.21	16.89	18.41	20.94	22.39	20.27	18.07
29/5/20	15.54	13.99	13.30	13.00	13.07	13.16	13.62	15.21	16.43	16.43	16.59	16.72	17.19	17.70	16.21	14.74	14.27	15.23	17.09	18.38	20.61	21.95	20.09	17.94
30/5/20	16.02	14.31	13.58	13.17	13.08	13.03	13.19	14.57	15.39	16.95	18.12	18.52	20.20	20.24	17.68	15.42	15.05	15.92	17.59	18.98	21.25	22.27	20.25	18.26
31/5/20	16.19	14.23	13.29	12.90	12.77	12.48	12.04	12.40	13.16	14.22	16.18	17.69	17.94	17.87	15.39	13.29	13.07	13.83	16.09	17.67	20.18	21.36	19.43	17.10
1/6/20	14.88	13.27	12.84	12.63	12.49	12.70	13.58	15.43	17.03	17.75	18.99	18.95	19.66	20.09	19.47	16.61	15.53</							

ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΙΟΥ: ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΩΡΑ ΕΤΟΥΣ 2020 (MW)

Ημερομηνία / Ωρα	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
8/6/20	16.47	16.06	14.15	13.86	13.55	13.50	13.58	15.15	17.82	17.38	17.73	18.12	18.40	18.53	17.46	15.64	15.72	17.05	18.82	19.97	23.04	23.19	21.35	20.17
9/6/20	16.65	16.29	14.62	14.27	13.87	13.86	14.39	17.14	18.08	19.48	19.81	19.60	19.69	20.08	19.18	17.48	16.66	17.73	20.67	21.05	22.46	23.69	21.87	20.40
10/6/20	16.88	15.57	14.89	14.57	14.44	14.18	14.83	16.64	18.10	18.75	18.86	20.00	25.84	19.54	18.66	17.09	17.11	17.69	19.45	20.43	22.02	23.53	21.58	19.26
11/6/20	17.34	15.69	14.96	14.58	14.46	13.97	14.47	16.70	17.87	18.61	18.97	20.12	20.43	20.18	19.44	18.31	17.01	18.08	19.94	20.94	22.37	23.64	21.80	19.41
12/6/20	17.33	15.79	14.90	14.75	14.77	14.40	15.27	16.56	18.38	19.58	20.11	20.19	20.18	19.97	18.55	17.06	16.86	17.76	19.87	20.82	22.08	23.06	21.15	19.09
13/6/20	16.89	15.79	15.18	14.76	14.61	14.00	14.48	16.12	18.01	19.53	20.14	21.03	20.69	19.26	18.60	16.94	16.96	17.03	19.03	20.19	21.74	23.09	21.57	19.50
14/6/20	17.67	16.30	15.21	14.41	14.30	13.82	13.67	14.41	15.31	15.99	17.01	18.39	17.73	17.46	16.80	15.20	15.07	16.46	18.26	19.52	20.76	22.84	21.57	19.60
15/6/20	17.19	15.69	14.98	14.54	14.82	14.48	14.84	17.20	19.26	20.20	20.42	20.57	20.87	21.19	20.54	18.74	18.36	19.63	20.76	21.44	22.67	23.95	22.16	19.91
16/6/20	17.75	16.50	15.69	15.17	14.54	14.37	15.24	17.37	19.33	20.23	20.87	21.20	21.39	21.67	20.35	18.20	18.00	19.05	20.98	22.65	23.44	24.20	22.52	20.03
17/6/20	17.72	16.47	15.98	15.16	14.71	14.50	15.41	17.49	19.17	19.62	20.23	21.12	25.11	23.11	21.03	18.70	18.29	19.14	20.82	21.77	23.33	24.64	23.07	20.49
18/6/20	18.11	16.69	16.01	15.92	15.37	15.43	15.84	17.63	19.69	20.70	21.57	22.55	22.26	21.51	20.00	18.63	17.99	18.95	21.17	22.59	23.45	24.81	23.05	20.74
19/6/20	18.32	16.82	16.12	15.54	15.18	15.19	15.55	17.63	19.57	20.73	21.20	22.05	22.45	22.64	21.24	19.69	18.58	19.56	21.98	23.11	24.28	24.87	23.35	21.05
20/6/20	18.96	17.74	16.65	16.02	15.65	15.46	15.85	17.06	18.60	19.61	20.94	21.42	22.05	22.04	21.57	20.76	20.88	20.90	21.47	22.13	22.95	24.53	22.23	21.79
21/6/20	19.85	18.40	17.22	16.66	16.42	15.84	15.45	16.52	18.38	17.75	20.20	20.42	20.49	18.92	17.59	16.61	16.00	18.05	18.92	20.42	22.85	23.91	22.23	21.89
22/6/20	19.40	17.74	17.24	16.32	15.90	15.59	15.88	17.46	19.72	20.73	21.02	21.55	22.28	22.89	21.70	20.12	19.53	20.49	22.05	22.87	24.59	25.71	23.88	21.67
23/6/20	19.34	17.92	17.27	16.58	16.03	15.66	16.18	17.82	20.31	22.41	21.39	21.34	22.36	22.56	21.34	18.90	18.42	19.38	21.04	22.48	23.48	24.46	22.95	20.94
24/6/20	18.57	16.67	16.01	15.79	15.66	15.49	16.00	17.94	20.53	22.33	22.33	23.31	24.54	24.11	22.36	20.02	18.58	19.21	20.31	21.50	23.01	25.12	23.38	22.36
25/6/20	18.60	16.65	15.86	15.50	15.31	15.11	15.95	18.13	19.71	20.40	20.21	20.63	20.94	20.80	19.56	18.22	18.20	19.70	21.81	22.95	23.56	24.84	22.98	20.81
26/6/20	18.04	16.33	15.39	15.20	15.02	14.60	14.90	16.86	18.46	19.57	20.56	20.90	21.19	21.57	20.42	19.11	19.45	20.68	23.11	24.38	24.49	25.06	23.65	21.34
27/6/20	19.63	18.23	17.23	16.43	15.98	16.13	15.92	17.12	18.60	19.92	20.88	21.28	21.42	21.58	20.64	19.53	19.64	20.77	22.25	23.38	23.73	25.31	24.03	22.61
28/6/20	20.93	19.32	18.12	17.28	16.78	16.00	15.62	16.06	16.95	17.50	18.67	19.36	19.46	19.09	17.85	17.27	17.64	19.30	20.78	22.44	23.43	25.58	24.53	23.31
29/6/20	21.24	19.26	18.08	17.25	16.84	16.46	16.30	18.18	20.13	21.07	22.18	22.49	23.26	23.50	22.72	21.47	20.72	21.44	22.89	23.79	24.65	25.91	25.16	23.39
30/6/20	21.86	20.07	19.06	17.97	17.22	16.92	17.20	19.50	21.23	23.00	23.34	23.99	24.64	25.24	24.92	23.68	23.41	24.40	26.53	26.48	26.91	28.08	27.70	26.12
1/7/20	23.86	22.12	20.54	19.55	18.82	18.33	18.75	20.51	22.60	24.17	25.00	25.43	26.37	28.05	14.67	27.51	27.58	27.98	28.54	28.59	28.53	30.56	30.73	29.63
2/7/20	27.43	24.99	23.29	22.29	21.70	21.01	20.65	22.04	24.67	27.18	28.27	29.05	30.37	31.60	31.81	30.94	30.33	30.66	31.91	31.82	31.28	31.98	31.96	30.83
3/7/20	28.78	26.68	25.16	24.11	22.82	21.68	21.06	22.73	24.89	27.36	28.64	29.09	29.41	31.61	31.81	31.24	30.79	30.61	31.63	31.16	30.54	31.12	30.67	29.53
4/7/20	26.66	24.35	23.06	22.14	21.05	20.23	19.91	21.22	23.19	25.16	26.49	27.54	28.72	29.88	29.87	29.60	30.41	29.66	29.55	29.52	29.32	30.77	30.13	28.78
5/7/20	27.12	25.48	24.24	23.36	22.43	21.41	20.21	20.42	20.95	21.53	22.66	23.61	24.51	24.81	25.31	25.42	26.14	27.03	27.95	27.32	28.55	31.33	31.92	31.58
6/7/20	29.43	26.44	24.98	24.06	22.86	22.22	21.62	23.26	24.92	28.06	28.99	29.57	30.85	31.98	32.65	32.10	31.33	31.37	31.10	30.69	30.42	32.82	32.85	32.36
7/7/20	27.30	25.40	23.50	23.20	21.90	19.50	21.30	25.00	27.20	28.80	29.00	30.10	31.00	32.10	29.70	29.20	29.00	30.50	30.10	29.80	30.80	31.00	29.80	28.50
8/7/20	25.20	23.40	22.50	21.50	21.50	20.10	19.80	22.70	25.10	27.00	26.70	26.50	26.70	28.30	24.30	23.30	23.20	24.40	24.70	25.00	26.20	26.70	24.60	23.20
9/7/20	20.50	19.10	18.50	18.10	17.90	16.90	19.50	20.20	21.70	22.90	23.30	24.20	24.50	24.80	23.10	22.60	22.50	26.20	26.50	26.40	27.00	28.00	25.70	23.50
10/7/20	21.00	19.70	18.60	18.40	17.60	17.00	18.60	19.90	22.40	22.20	23.20	23.90	24.80	24.80	23.00	22.80	24.60	25.40	27.30	27.50	28.00	28.30	26.40	23.90
11/7/20	21.70	21.00	19.70	18.80	18.70	17.80	19.00	20.40	22.50	23.70	23.70	24.30	25.00	25.50	24.00	24.30	24.70	24.90	26.50	26.60	27.40	28.80	27.00	25.20
12/7/20	23.70	21.70	20.60	20.00	19.60	18.10	18.50	19.40	19.90	19.80	20.60	21.20	21.10	19.90	19.50	20.40	22.40	24.10	24.40	24.10	25.50	26.10	25.50	24.20
13/7/20	21.60	20.10	19.20	18.90	19.00	17.70	19.20	21.10	23.20	24.00	24.00	25.00	26.30	25.60	24.40	24.30	24.60	25.90	24.40	25.50	26.30	27.40	23.90	22.50
14/7/20	20.30	18.90	18.20	17.90	18.10	16.50	18.60	20.20	22.10	26.70	22.40	23.20	25.00	24.50	21.70	21.00	21.50	22.80	24.60	24.80	26.70	26.40	24.40	22.40
15/7/20	20.00	18.90	17.70	16.90	17.10	16.30	18.10	20.00	21.70	21.90	22.20	22.90	23.40	22.80	21.00	19.70	20.10	20.70	22.50	23.50	25.70	25.30	23.50	22.10
16/7/20	19.40	18.10	17.30	17.20	16.60	15.90	18.00	21.70	21.50	22.60	23.10	23.20	23.60	23.90	21.30	20.90	21.60	22.70	24.80	25.10	26.90	25.90	23.70	22.80
17/7/20	20.40	18.60	17.90	17.40	17.40	16.90	18.40	19.90	22.20	22.60	22.30	23.70	24.20	23.90	22.60	21.70	22.40	22.70	25.50	25.70	27.50	26.60	24.90	23.30
18/7/20	20.40	19.00	18.90	17.90	18.00	17.30	18.30	21.50	22.60	22.70	23.40	23.90	24.70	24.40	22.80	21.80	23.00	23.60	25.10	25.50	27.80	26.90	24.90	23.70
19/7/20	21.20	20.00	18.80	18.30	18.30	17.20	17.60	18.60	19.20	20.70	20.80	21.90	22.20	21.70	20.40	20.90	21.00	23.40	23.00	23.80	24.00	26.40	25.50	23.70
20/7/20	20.80	19.00	18.70	18.30	17.80	17.00	19.20	20.80	24.10	24.80	25.40	26.60	27.00	26.90	25.20	24.20	24.50	25.90	26.70	26.80	28.40	28.40	26.00	25.10
21/7/20	23.30	21.10	20.30	19.90	19.30	17.90	19.60	22.30	23.70	25.80	25.90	26.20	26.80	26.90	25.70	25.10	25.70	26.70	27.70	27.10	27.60	27.10	25.80	23.70
22/7/20	23.00	19.80	19.40	19.20	18.50	17.50	18.40	18.50	18.70	19.20	19.60	19.80	20.50	20.00	19.30	20.20	21.10	22.20	23.70	23.80	26.40	26.00	25.40	24.50
23/7/20	22.10	21.00	20.50	19.50	19.30	18.90	19.20	22.70	24.30	26.10	27.10	28.20	30.20	29.10	28.90	29.00	29.40	30.80	30.50	30.30	31.00	30.50	29.20	28.50
24/7/20	26.10	24.60	22.30	21.30	21.30	19.90	18.40	23.80	25.90	27.30	27.40	27.70	28.80	29.40	29.00	28.								

ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΙΟΥ: ΦΩΤΙΟ ΑΝΑ ΩΡΑ ΕΤΟΥΣ 2020 (ΜW)

Ημερομηνία / Ωρα	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
31/7/20	30.80	29.61	27.45	25.85	24.63	24.22	23.39	24.54	26.33	28.51	29.17	29.53	30.88	32.42	33.18	33.42	33.66	34.11	35.37	34.91	34.20	34.34	33.85	32.80
1/8/20	31.75	29.55	27.73	26.54	25.09	24.59	23.25	24.14	25.96	28.07	29.96	30.75	32.71	35.26	36.93	37.05	37.15	37.27	36.78	35.58	36.24	37.01	36.66	35.68
2/8/20	34.07	32.06	29.80	28.34	27.00	25.76	24.69	24.76	24.66	24.73	25.20	26.13	26.53	27.42	27.26	27.89	28.63	29.30	29.38	28.99	29.61	31.01	31.08	30.45
3/8/20	28.92	26.91	25.25	24.02	23.56	23.24	22.12	23.39	25.57	27.11	28.32	29.35	29.69	30.54	30.77	30.47	30.42	30.49	30.57	30.27	30.40	31.42	30.42	29.27
4/8/20	27.91	25.81	24.27	23.17	22.46	22.01	21.25	23.12	25.27	27.34	27.98	28.13	28.38	29.37	29.17	27.99	28.18	28.47	30.42	30.86	31.52	31.52	30.01	29.07
5/8/20	26.71	24.49	23.88	22.32	21.87	21.45	20.83	22.94	25.17	27.40	28.25	28.23	29.20	30.56	30.02	29.13	28.67	28.86	29.51	29.64	30.66	31.71	30.41	28.85
6/8/20	27.84	24.62	23.02	22.21	21.75	21.50	20.90	23.93	25.21	26.74	28.49	30.02	30.66	33.25	32.22	31.20	30.53	30.56	31.66	31.29	32.15	32.31	30.65	28.52
7/8/20	26.17	23.97	22.68	21.69	21.06	20.68	20.16	22.36	25.11	29.25	29.56	28.93	29.77	30.85	30.42	29.76	28.91	28.88	30.45	31.02	32.17	31.02	29.25	27.89
8/8/20	25.71	23.88	22.63	21.41	20.93	20.88	20.27	21.67	23.81	25.82	27.40	28.10	28.86	29.97	29.80	28.98	28.24	27.91	28.42	29.24	30.68	31.14	29.78	28.18
9/8/20	26.52	24.97	23.66	22.32	21.60	21.40	20.33	21.10	21.99	22.78	24.16	25.41	26.36	28.04	27.03	26.00	25.25	25.91	26.81	27.13	28.29	30.05	28.86	27.29
10/8/20	25.57	23.86	22.25	21.54	21.02	20.73	20.01	21.59	23.89	25.76	26.85	27.61	28.73	29.92	29.49	28.23	28.23	28.63	29.56	29.87	31.61	32.15	30.07	28.15
11/8/20	25.85	23.85	22.72	21.47	21.03	20.97	20.14	22.25	25.00	26.13	26.99	27.50	28.71	29.87	29.57	28.90	28.91	29.35	31.18	31.46	32.21	31.86	30.36	28.59
12/8/20	26.79	24.97	22.88	21.99	21.31	21.17	21.37	22.38	24.10	25.73	26.74	27.64	28.33	29.47	29.72	29.15	29.51	30.49	30.99	31.10	32.87	33.23	31.55	29.70
13/8/20	28.02	26.23	24.85	23.53	22.77	22.72	21.82	23.31	25.43	27.10	28.45	28.95	29.90	31.40	31.63	31.21	31.54	32.29	33.68	33.50	34.57	34.17	32.42	30.61
14/8/20	28.88	26.82	25.04	24.02	23.44	22.68	22.33	23.27	24.92	26.13	27.10	27.70	28.81	31.88	29.93	29.83	30.29	31.01	31.97	32.08	33.20	32.54	30.65	28.61
15/8/20	26.44	24.18	22.71	22.03	21.13	21.08	20.03	21.17	21.90	21.47	22.40	23.83	24.62	24.74	23.50	23.73	25.27	26.79	28.30	28.51	30.29	30.99	29.80	28.92
16/8/20	27.50	25.61	24.19	23.36	22.13	21.63	20.18	20.13	21.08	21.81	22.70	23.09	23.82	24.27	24.29	23.81	24.61	26.31	27.77	28.21	29.77	30.85	29.50	27.97
17/8/20	25.95	23.79	22.37	21.68	20.89	20.72	19.92	21.49	23.10	24.61	25.30	25.35	26.45	27.17	27.21	26.15	25.76	26.97	28.03	28.76	30.62	30.15	28.10	26.24
18/8/20	24.27	22.27	20.73	20.14	19.45	19.58	19.10	21.02	22.74	24.22	25.25	25.52	26.22	26.31	25.36	24.58	24.78	26.28	28.19	29.51	31.39	30.36	28.38	26.37
19/8/20	24.03	22.08	20.89	20.06	19.51	19.67	19.19	20.89	22.95	24.64	26.09	26.60	27.46	27.84	27.14	26.23	25.48	26.48	27.68	28.59	30.41	30.20	28.35	26.49
20/8/20	24.29	22.06	21.22	20.29	19.86	19.66	19.51	21.22	23.50	25.73	26.90	26.76	27.27	28.28	27.40	26.27	25.80	26.75	28.51	29.29	30.16	29.52	27.59	26.06
21/8/20	24.32	22.44	21.39	20.51	20.18	20.19	19.80	21.18	23.57	25.30	25.98	26.30	26.80	27.42	27.08	25.97	26.18	26.56	28.87	29.76	31.14	30.81	27.93	26.59
22/8/20	24.73	22.58	21.38	20.74	20.19	20.31	19.60	20.73	22.39	23.90	24.96	25.86	26.82	27.66	27.10	26.85	26.90	27.91	28.83	29.44	30.95	30.68	29.09	27.67
23/8/20	26.40	24.87	23.61	22.65	21.63	21.36	20.73	20.79	21.22	21.70	22.22	23.02	23.87	23.99	23.65	23.93	24.74	25.68	26.49	27.01	29.19	29.90	28.72	27.71
24/8/20	25.96	23.86	22.74	21.43	20.74	20.64	20.36	21.29	23.74	25.56	26.11	26.64	27.74	28.96	29.00	28.42	28.35	29.14	30.16	30.05	32.08	31.54	29.72	28.24
25/8/20	26.59	24.58	23.18	22.45	21.76	21.31	20.63	21.98	24.29	26.28	26.66	27.58	28.64	29.65	28.86	28.11	28.03	28.55	29.63	30.00	31.42	30.87	29.13	28.31
26/8/20	25.25	23.04	22.00	21.37	20.80	20.80	20.43	21.90	23.50	25.14	25.93	26.49	27.26	28.04	28.48	27.68	27.50	28.54	28.82	28.86	31.51	30.97	29.66	28.17
27/8/20	26.57	24.56	24.07	22.95	21.33	21.12	20.70	22.19	23.38	25.67	26.33	26.88	28.01	28.80	29.00	28.49	28.29	28.66	29.87	29.82	31.95	30.23	29.33	27.63
28/8/20	25.82	23.42	22.49	21.53	20.60	20.56	19.92	19.84	23.54	24.08	25.61	25.96	28.06	29.09	29.24	28.90	28.37	29.08	30.14	31.11	32.85	31.00	29.30	28.87
29/8/20	26.16	24.26	23.75	21.77	21.12	20.90	20.33	20.80	21.80	23.94	24.73	25.62	26.85	28.00	28.24	27.58	27.28	27.51	28.09	28.27	28.76	29.45	28.92	26.36
30/8/20	24.77	22.67	21.25	20.63	19.94	19.72	19.01	19.31	19.94	21.26	22.24	23.61	24.78	25.00	24.75	24.33	24.62	25.53	25.92	26.29	28.70	28.16	27.28	25.87
31/8/20	23.54	21.68	21.07	20.37	19.81	19.62	19.34	20.32	23.07	25.75	27.37	28.39	30.38	32.46	32.86	32.30	32.03	31.84	32.68	32.98	35.46	35.02	33.77	31.58
1/9/20	29.08	26.35	24.99	23.67	22.31	21.99	21.06	22.06	24.35	26.42	27.55	28.08	28.88	30.05	29.65	29.00	28.47	29.09	29.94	30.77	31.30	29.95	27.73	25.56
2/9/20	23.83	21.99	20.90	20.08	19.41	19.38	19.10	20.59	23.46	26.34	27.50	28.28	29.39	30.35	30.64	29.56	28.78	28.72	28.83	28.65	31.27	30.18	28.34	26.41
3/9/20	24.45	22.26	20.97	20.36	19.92	19.77	19.51	20.76	23.20	25.70	26.73	27.84	29.39	30.31	29.88	29.24	28.65	29.00	29.67	29.68	31.82	29.85	28.26	26.18
4/9/20	24.10	22.03	20.80	20.13	19.77	19.71	19.48	20.70	23.32	26.31	27.46	28.27	29.33	30.22	30.18	29.22	28.47	28.77	29.92	30.02	31.39	29.06	26.89	25.10
5/9/20	22.98	21.28	20.43	19.74	19.34	19.45	19.00	19.72	20.74	21.63	22.11	22.31	23.27	23.50	22.94	21.57	22.07	23.03	23.84	25.21	26.48	25.57	23.82	22.07
6/9/20	20.75	19.39	18.38	18.02	17.78	17.72	17.16	17.72	18.33	18.67	19.32	20.21	20.40	19.83	19.14	18.76	19.14	20.51	21.85	24.14	25.68	25.10	24.41	22.67
7/9/20	20.88	19.46	18.99	18.57	18.08	18.23	18.26	19.68	21.96	23.39	23.61	23.87	24.49	25.17	25.09	24.07	24.06	25.38	26.28	26.60	28.58	27.28	25.28	23.83
8/9/20	22.84	21.14	19.96	19.16	18.51	18.47	18.65	19.92	21.83	22.62	23.52	23.74	24.38	24.53	24.11	23.46	23.51	24.86	26.96	27.82	29.49	27.14	25.09	23.23
9/9/20	21.67	20.35	19.44	18.76	18.32	18.43	18.97	20.00	21.96	22.60	22.98	23.25	23.77	23.83	23.67	22.93	24.10	25.17	25.55	26.77	30.12	27.06	24.84	23.66
10/9/20	21.38	19.39	18.75	18.35	17.96	18.29	18.50	20.03	22.16	23.69	24.24	24.51	25.58	31.33	30.66	24.98	24.71	25.49	27.09	27.81	29.60	28.39	26.31	24.78
11/9/20	22.61	21.38	20.16	19.34	18.81	18.76	18.88	20.12	22.35	23.60	24.24	24.62	26.14	26.51	26.28	25.25	25.50	26.44	28.23	29.65	30.97	28.93	27.27	25.25
12/9/20	23.49	21.44	20.35	20.09	19.45	19.62	19.02	19.96	21.74	23.40	24.23	24.22	25.22	25.95	25.29	24.73	24.55	25.44	26.00	26.84	28.66	27.13	25.70	24.70
13/9/20	23.27	21.87	20.52	19.97	19.23	18.72	18.33	18.43	19.38	19.97	20.77	21.64	22.06	22.32	21.66	21.67	22.08	23.40	24.07	25.24	26.62	25.88	24.71	22.84
14/9/20	21.16	19.65	19.78	18.44	17.80	17.69	18.11	19.41	21.72	22.78	22.62	23.34	24.31	25.70	25.50	24.57	24.47	25.01	26.58	27.49	29.63	28.05	25.87	23.66
15/9/20	21.32	20.09	19.18	18.54	18.15	18.24	18.82	20.23	22.31	23.93	24.52	24.95	26.03	26.80	26.25	24.98								

ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΙΟΥ: ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΩΡΑ ΕΤΟΥΣ 2020 (MW)																								
Ημερομηνία / Ωρα	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
22/9/20	18.32	16.81	16.25	15.92	15.82	17.80	17.00	18.33	20.24	21.44	21.47	21.13	21.52	21.74	20.51	19.54	19.49	20.85	23.00	25.61	26.80	24.21	21.75	19.56
23/9/20	17.94	16.63	15.93	15.57	15.38	16.06	17.01	18.37	20.40	21.49	21.18	21.22	21.63	21.15	20.18	19.06	18.77	19.93	21.63	24.42	25.86	24.07	21.46	19.49
24/9/20	17.81	16.23	16.00	15.68	15.39	15.67	16.90	18.26	20.61	21.17	21.64	22.32	22.77	22.70	21.83	21.00	20.29	21.79	22.77	25.06	26.55	24.52	21.98	20.77
25/9/20	17.38	15.81	15.43	15.39	15.08	15.46	16.30	17.91	19.40	19.94	20.31	20.70	21.10	21.46	20.19	19.76	19.85	21.43	23.19	25.29	26.40	24.03	21.70	19.48
26/9/20	17.64	16.87	15.51	15.64	15.57	16.17	16.61	16.95	18.70	19.13	21.78	21.93	23.13	22.21	21.00	19.98	19.10	20.70	21.56	23.23	24.40	23.84	21.47	19.48
27/9/20	17.72	16.63	16.09	15.81	15.41	15.58	15.77	15.73	15.84	16.20	17.37	18.83	19.36	19.16	17.36	16.63	16.34	18.18	19.79	22.22	23.77	22.73	20.94	18.84
28/9/20	17.03	15.74	15.09	14.95	14.83	15.51	15.90	17.52	20.38	21.71	21.56	21.76	22.34	22.51	23.01	21.56	21.03	21.60	23.09	24.79	26.23	24.60	22.11	19.66
29/9/20	17.96	15.86	15.90	15.57	15.44	15.77	16.93	18.58	20.52	23.00	23.04	23.26	23.29	22.46	20.66	19.40	19.41	20.78	23.29	26.14	26.24	23.97	21.41	19.37
30/9/20	17.67	16.48	15.81	14.63	15.12	15.49	16.94	17.22	19.60	19.96	20.64	20.25	19.94	20.23	19.05	17.86	17.64	18.85	21.01	23.92	25.03	23.18	20.61	18.60
1/10/20	16.88	15.41	14.98	14.80	14.76	15.33	16.83	18.16	19.48	20.44	20.85	21.53	21.05	21.32	19.40	17.43	17.12	18.63	21.29	24.84	24.92	22.98	20.69	18.43
2/10/20	16.45	15.46	14.67	14.47	14.37	15.35	16.75	17.87	19.44	20.19	20.05	20.27	20.10	19.93	19.21	18.12	17.86	19.86	21.91	25.17	24.86	22.94	20.75	18.87
3/10/20	17.09	15.56	15.13	14.76	14.65	14.83	15.56	16.36	17.86	19.05	19.88	20.13	20.54	20.58	19.58	18.46	18.38	19.60	21.34	24.83	24.34	22.64	20.57	18.92
4/10/20	17.26	16.09	15.39	15.30	15.03	15.22	15.43	15.46	16.55	17.57	18.42	18.99	19.27	18.61	17.33	16.37	16.70	18.51	20.16	22.47	23.81	22.67	20.59	18.51
5/10/20	16.91	15.82	15.18	14.83	15.04	15.27	16.80	18.35	19.87	20.34	21.33	21.83	22.58	22.50	21.02	19.94	19.75	20.78	22.31	24.80	25.54	23.66	21.87	19.65
6/10/20	17.65	16.29	15.85	15.45	15.21	15.75	17.14	18.08	20.06	21.61	21.88	22.31	22.83	23.05	21.78	20.06	20.20	22.04	24.20	27.10	26.83	24.38	21.91	19.82
7/10/20	17.70	16.17	16.11	15.67	15.50	15.80	17.28	19.82	20.82	21.61	22.12	22.98	23.40	23.85	22.78	20.70	20.83	22.31	23.79	26.69	26.95	24.68	22.24	20.25
8/10/20	18.08	17.10	16.35	16.16	15.85	16.45	17.67	19.85	22.15	23.76	25.20	25.45	26.08	25.61	22.97	19.49	18.01	19.70	22.20	25.42	25.13	23.23	20.92	18.22
9/10/20	16.29	15.30	15.16	14.84	14.32	14.67	16.37	17.98	19.18	19.51	19.94	19.44	19.79	20.29	20.77	18.06	17.28	18.95	21.59	24.50	24.31	22.62	20.52	18.72
10/10/20	16.58	15.27	14.68	14.18	13.97	14.50	15.63	16.16	17.75	18.25	18.50	18.82	18.59	19.09	18.19	17.10	16.82	18.50	21.42	24.01	23.67	21.74	20.24	18.33
11/10/20	16.49	15.32	14.73	14.47	14.12	14.28	15.07	15.00	16.09	16.49	17.54	17.56	18.06	17.29	15.79	15.08	15.58	17.35	20.03	22.81	22.58	21.23	19.51	17.78
12/10/20	16.03	14.64	13.99	13.84	13.73	14.33	15.81	17.31	18.80	19.31	18.56	18.68	19.67	20.00	19.51	18.56	18.61	18.94	21.49	24.12	24.06	22.27	18.99	17.49
13/10/20	16.09	14.33	13.85	13.64	13.72	14.01	15.56	17.47	19.45	21.36	22.47	22.53	22.34	23.02	19.36	17.60	16.13	17.17	20.99	24.32	24.51	22.60	19.78	17.62
14/10/20	15.84	14.41	13.97	13.57	13.57	14.36	16.36	17.80	18.52	18.95	18.40	18.22	19.11	18.95	18.42	17.74	17.39	18.38	21.72	23.76	23.74	22.33	19.70	17.73
15/10/20	16.09	14.82	14.25	13.85	13.85	14.09	15.89	17.48	18.35	19.06	19.08	19.13	19.72	19.14	17.99	16.54	16.76	18.74	21.21	24.73	24.30	22.34	20.12	17.87
16/10/20	16.06	14.60	14.18	13.77	13.71	14.29	16.09	17.61	18.18	18.80	18.74	18.82	19.39	18.69	17.77	16.87	17.04	18.69	22.12	24.25	23.83	21.92	19.43	18.11
17/10/20	15.92	15.55	14.52	13.66	13.83	13.99	14.91	15.47	17.00	19.77	22.64	22.46	22.73	22.64	22.66	20.81	20.47	20.15	22.93	25.15	24.39	22.78	21.02	19.32
18/10/20	17.21	15.97	14.81	13.99	13.99	14.12	14.99	15.69	16.53	17.81	18.73	19.67	19.54	18.34	17.09	16.07	16.02	17.84	20.59	22.66	22.65	21.25	19.46	17.55
19/10/20	15.93	14.72	13.81	13.51	13.56	13.96	15.97	17.66	18.49	18.90	18.20	18.47	19.23	19.83	19.20	16.58	16.58	18.68	21.86	24.54	24.42	22.45	19.80	17.80
20/10/20	16.00	14.79	13.82	13.53	13.65	14.24	16.07	17.84	19.41	19.50	19.97	19.42	19.16	19.16	17.84	17.54	17.89	19.25	22.26	24.75	24.79	23.12	20.22	17.97
21/10/20	15.94	14.35	13.81	13.47	13.46	14.27	16.00	17.88	19.33	19.55	20.03	19.23	19.39	20.79	18.87	17.87	17.72	18.74	21.29	23.98	23.98	22.56	19.95	17.73
22/10/20	15.94	14.79	13.90	13.62	13.44	14.24	15.89	17.49	18.74	18.67	18.31	18.30	19.00	18.74	17.94	16.87	17.11	18.84	22.08	24.08	24.03	22.44	20.22	18.09
23/10/20	16.16	14.85	14.26	13.83	13.50	14.39	16.09	17.50	18.49	18.97	19.09	18.65	18.51	18.49	17.67	17.08	17.27	19.18	22.29	24.43	24.09	22.12	19.91	17.79
24/10/20	16.14	15.08	14.30	13.99	13.84	14.22	15.18	16.41	17.80	19.13	19.29	19.31	19.46	19.42	18.58	17.50	17.83	19.48	22.47	24.23	23.47	21.77	20.01	18.09
25/10/20	16.41	15.24	13.94	13.74	13.59	14.05	14.35	15.40	16.79	17.41	17.85	18.91	19.37	19.09	18.41	16.59	18.10	20.59	22.39	22.48	21.98	20.61	18.72	16.82
26/10/20	15.52	14.50	13.89	13.69	13.53	14.43	16.08	17.34	18.02	18.05	17.97	18.28	19.02	19.09	18.41	18.38	19.10	21.48	23.64	23.62	23.05	21.41	19.40	17.46
27/10/20	15.71	14.66	13.88	13.66	13.50	14.29	15.61	17.09	17.88	18.37	17.75	18.22	18.94	19.41	18.99	18.16	18.70	21.49	23.70	23.72	23.17	21.54	19.21	17.53
28/10/20	16.02	14.75	13.83	13.42	13.39	14.00	14.01	15.07	16.44	18.30	20.27	21.85	21.93	22.31	19.17	17.44	18.43	21.23	23.14	23.63	23.16	21.01	19.49	17.31
29/10/20	15.34	14.72	13.69	13.35	13.45	14.32	15.94	17.89	18.96	18.69	18.44	18.98	19.75	20.88	20.81	18.74	19.09	22.11	24.57	24.82	24.26	22.60	20.22	18.09
30/10/20	16.04	14.50	13.85	13.61	13.88	14.63	15.97	17.96	18.04	19.37	19.96	20.09	20.61	20.80	18.63	18.87	19.00	21.84	24.47	24.46	23.90	22.41	19.87	19.77
31/10/20	16.67	14.60	13.90	13.77	13.64	14.57	14.95	15.69	16.59	17.09	17.41	17.71	18.07	18.62	18.08	18.02	19.47	22.31	24.61	24.86	23.85	22.17	20.39	18.58
1/11/20	16.58	15.34	14.40	13.67	13.63	14.01	14.05	14.92	16.71	19.30	20.11	21.52	21.53	20.51	18.02	17.27	18.85	21.80	24.17	24.55	24.26	22.75	20.73	18.47
2/11/20	16.24	14.73	14.34	14.27	14.35	14.80	15.63	16.93	17.45	17.90	17.77	18.82	19.57	19.46	18.27	18.59	20.27	23.18	25.56	26.00	26.01	24.39	21.89	19.22
3/11/20	16.77	15.22	14.86	14.61	14.48	15.10	15.89	17.61	18.68	19.27	20.93	20.72	20.81	21.30	21.35	21.80	21.91	24.19	26.41	26.99	26.93	25.60	22.45	19.52
4/11/20	16.96	15.18	14.66	14.47	14.47	15.20	16.81	18.24	19.16	18.70	18.16	18.51	18.72	19.38	18.94	19.29	19.95	22.75	24.93	25.65	25.11	23.80	21.16	18.50
5/11/20	16.46	15.02	14.72	14.48	14.46	15.18	16.61	18.68	19.02	19.43	19.20	19.71	19.84	20.39	19.43	20.20	21.72	24.30	26.20	27.10	26.67	25.06	22.68	19.62
6/11/20	16.90	15.04	14.82	14.58	14.43	15.34	16.62	18.78	19.70	19.29	18.63	18.77	19.84	19.91	20.00	20.39	21.45	23.93	25.70	25.85	25.60	24.25	22.52	19.90
7/11/20	17.90	15.68	15.33	14.87	14.37	14.89	15.56	16.66	17.54	18.26	18.88	19.10	20.04	20.08	1									

ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΙΟΥ: ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΩΡΑ ΕΤΟΥΣ 2020 (MW)

Ημερομηνία / Ωρα	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
14/11/20	17.12	15.54	14.67	14.57	14.83	14.99	15.75	16.51	17.98	20.21	19.75	19.63	23.40	23.79	20.68	21.47	22.89	25.61	27.91	27.77	27.10	25.78	23.53	20.92
15/11/20	18.93	16.31	15.47	14.77	14.44	14.86	15.48	15.98	16.85	17.58	18.57	19.17	19.33	19.32	18.13	19.27	21.06	24.51	25.99	26.57	26.66	25.74	22.63	19.97
16/11/20	18.16	15.68	15.58	15.15	14.87	15.44	17.03	18.64	19.95	19.88	19.71	19.35	19.96	20.68	20.51	20.94	22.96	25.81	28.04	28.74	28.48	26.80	23.76	20.96
17/11/20	18.52	16.34	16.49	15.83	15.43	16.00	17.24	18.91	20.24	20.42	20.18	20.23	21.33	22.24	21.30	22.47	24.06	27.13	29.00	29.32	29.17	27.59	24.64	23.06
18/11/20	18.83	16.64	16.39	15.95	15.56	16.33	17.41	19.20	21.25	22.69	23.64	24.29	26.29	27.33	26.46	27.28	27.99	29.48	30.37	31.07	30.87	28.83	25.37	21.89
19/11/20	18.61	16.51	16.80	16.35	15.84	16.34	17.75	20.25	23.32	25.87	27.79	29.24	30.48	30.98	29.98	31.01	31.12	31.82	32.62	32.42	31.57	29.56	25.98	22.74
20/11/20	19.41	17.21	17.74	17.31	16.65	17.08	18.66	21.44	23.67	24.50	24.51	24.97	23.90	23.21	22.35	23.88	27.06	29.61	30.55	31.11	30.74	29.10	26.08	22.55
21/11/20	19.56	17.44	16.52	17.23	16.51	16.74	17.10	19.77	20.54	20.75	20.72	21.31	21.98	22.52	22.25	24.20	26.42	28.92	30.62	30.50	29.83	28.55	25.96	22.95
22/11/20	19.68	17.61	18.06	17.19	16.39	16.47	17.15	18.07	18.49	19.81	20.81	21.42	22.16	22.24	20.91	23.41	25.13	28.05	29.47	29.46	29.65	28.38	25.44	22.31
23/11/20	19.22	17.08	17.84	17.00	16.33	16.78	18.36	20.33	21.44	21.30	21.55	21.43	22.12	22.85	22.15	24.20	27.08	29.79	31.25	31.09	31.04	29.37	26.23	22.87
24/11/20	19.64	17.67	18.27	17.52	16.79	17.14	19.10	20.78	22.28	23.13	23.51	23.55	25.28	25.23	24.79	26.73	28.45	30.92	32.04	32.27	32.06	29.76	26.88	24.13
25/11/20	19.59	17.66	18.44	17.75	16.88	17.39	18.90	21.76	23.62	23.94	11.88	23.69	24.60	24.60	23.98	26.67	28.58	30.94	32.22	32.20	31.55	29.48	26.55	25.39
26/11/20	21.11	18.84	19.24	18.04	17.17	21.73	18.70	22.74	22.77	23.30	23.21	23.52	24.53	24.60	23.41	27.61	29.10	29.68	31.33	31.17	30.96	29.58	26.41	25.09
27/11/20	21.69	17.70	17.27	17.71	17.02	17.44	19.11	19.44	22.60	22.20	21.99	21.83	22.26	22.70	22.42	25.94	28.46	28.60	31.52	31.94	31.77	31.59	27.91	25.53
28/11/20	22.17	18.22	19.07	17.96	17.42	17.68	19.14	21.09	21.43	21.33	21.41	21.38	21.74	22.42	22.52	25.37	26.67	28.52	32.04	31.95	31.39	31.05	27.03	25.66
29/11/20	22.30	18.20	17.32	17.77	16.86	16.98	17.69	18.32	19.67	21.12	21.91	24.15	25.03	27.74	25.31	26.99	27.59	27.77	29.75	29.62	29.65	28.38	26.92	21.96
30/11/20	18.83	16.81	17.54	16.73	16.03	16.34	18.09	20.27	23.45	25.66	26.46	26.35	26.90	27.11	25.94	27.10	29.10	30.71	31.72	31.81	31.55	29.37	26.05	22.58
1/12/20	19.48	17.50	18.69	17.51	16.73	17.38	18.99	21.45	24.96	26.52	27.25	28.34	29.86	30.46	29.57	31.79	32.04	33.16	33.64	33.44	33.22	31.20	27.78	24.52
2/12/20	20.84	18.30	19.62	18.67	17.73	18.23	20.31	22.54	25.26	25.65	25.05	24.00	24.85	24.98	24.37	27.64	29.95	32.11	33.71	33.96	33.40	31.76	28.53	24.89
3/12/20	21.42	18.90	19.71	18.85	18.18	18.43	21.40	24.29	25.38	25.12	24.54	24.15	25.16	25.42	25.30	27.31	30.15	32.75	34.30	34.40	34.21	32.27	28.69	25.23
4/12/20	21.91	18.67	19.71	18.72	17.73	18.38	20.41	23.10	26.47	30.44	32.81	32.53	33.41	32.72	30.96	31.86	32.61	33.31	33.71	33.75	33.09	30.87	27.15	23.89
5/12/20	21.10	19.09	18.81	18.70	17.97	17.91	19.23	20.60	22.02	22.34	21.81	21.97	22.72	23.10	22.99	25.70	27.64	29.84	31.56	31.45	31.06	29.90	27.41	24.22
6/12/20	21.29	19.12	19.50	18.22	17.56	17.42	18.42	19.06	20.17	20.34	21.05	21.22	22.02	22.15	20.79	22.60	25.72	27.85	29.89	30.33	29.80	29.10	26.70	23.31
7/12/20	20.48	18.04	18.12	17.93	17.01	17.34	19.47	21.65	24.40	26.62	28.15	27.41	29.62	31.19	29.94	29.38	30.47	31.50	32.77	32.99	32.55	30.80	27.54	24.14
8/12/20	20.72	18.24	19.22	18.29	17.47	17.87	19.54	22.48	24.35	23.87	23.57	23.37	23.47	23.73	22.91	25.66	27.36	30.48	31.76	32.41	32.15	30.75	27.40	24.11
9/12/20	20.61	18.36	19.19	18.23	17.41	17.75	19.69	23.17	25.43	26.36	26.31	25.54	26.04	25.37	25.63	28.50	29.78	31.52	31.61	30.92	31.17	28.21	25.39	24.03
10/12/20	20.22	18.32	18.78	17.84	16.95	17.63	19.19	21.73	21.77	22.88	24.80	25.35	26.32	26.92	26.95	28.86	29.26	29.58	30.51	31.26	30.19	30.04	26.14	23.13
11/12/20	19.62	17.16	18.33	17.63	17.15	17.34	19.33	22.16	24.03	23.72	23.48	23.28	24.05	24.59	24.51	27.52	29.68	30.78	31.04	31.27	30.70	28.34	26.00	23.01
12/12/20	19.96	17.76	18.25	17.25	16.18	16.12	17.93	19.70	22.41	24.99	26.07	25.29	26.07	27.61	27.41	28.96	30.48	30.65	31.02	30.67	29.83	28.50	25.71	23.00
13/12/20	20.57	18.17	19.06	17.78	17.10	17.28	17.80	18.00	19.46	22.75	25.68	26.32	27.22	26.29	24.09	26.15	26.78	28.65	29.91	30.12	29.94	28.61	25.99	22.75
14/12/20	19.71	17.53	17.71	17.97	17.22	16.96	18.53	21.79	23.83	24.60	25.39	27.35	28.15	27.11	26.47	28.97	29.36	30.82	31.72	31.88	31.48	29.53	26.30	26.98
15/12/20	19.69	17.14	18.15	17.02	16.43	16.96	19.12	22.27	24.99	25.86	25.68	26.54	27.17	26.84	25.17	27.56	29.54	31.25	31.48	32.38	32.77	30.64	27.25	23.71
16/12/20	20.73	18.61	19.51	18.46	17.76	18.00	20.10	23.03	25.24	25.30	25.41	25.41	25.06	24.98	24.25	27.26	29.15	32.19	33.29	33.15	33.04	31.19	28.20	24.70
17/12/20	21.01	18.79	19.77	18.81	17.81	18.31	20.24	22.75	24.70	25.17	26.32	26.77	27.23	26.63	24.61	27.50	30.08	32.29	33.39	33.70	33.16	31.93	28.61	26.62
18/12/20	21.17	18.63	19.70	19.10	18.06	18.38	20.38	23.34	25.96	28.12	29.42	29.71	29.72	28.50	26.99	29.16	30.92	33.36	34.27	34.18	33.45	31.83	28.67	27.03
19/12/20	22.03	19.35	18.62	19.14	18.32	18.65	20.04	21.18	23.80	23.84	23.23	23.60	24.26	24.76	25.43	29.20	30.71	33.24	34.35	34.40	33.70	31.92	30.71	27.66
20/12/20	22.42	19.94	18.94	19.62	18.39	18.58	19.46	20.26	21.94	23.15	24.61	25.49	26.13	26.82	26.36	30.56	31.28	32.98	33.97	33.96	33.18	31.69	30.47	26.90
21/12/20	21.43	18.88	18.28	19.13	18.32	18.93	19.16	21.73	27.09	28.46	28.18	27.34	27.65	28.57	27.76	27.42	31.43	33.89	34.74	34.89	34.40	32.44	30.98	26.76
22/12/20	21.22	19.07	20.06	19.15	18.10	18.67	20.58	23.73	26.50	27.13	26.96	26.55	27.05	26.47	25.90	27.87	31.44	33.35	34.15	34.31	33.63	31.93	28.80	27.06
23/12/20	21.82	18.76	20.05	19.11	18.37	18.80	20.88	24.67	26.35	26.47	25.77	25.14	25.90	26.40	26.61	29.79	32.51	34.78	36.10	36.00	35.47	33.81	30.45	26.81
24/12/20	22.81	19.90	21.26	20.33	19.08	19.38	21.40	25.15	26.37	27.39	26.99	25.90	24.92	25.26	25.48	29.73	32.68	34.10	35.30	34.82	35.02	32.60	29.48	24.23
25/12/20	22.86	18.80	19.36	18.14	17.46	17.40	17.46	20.92	22.08	26.74	27.66	29.39	27.43	24.45	20.42	22.46	23.40	25.08	25.65	26.56	26.53	25.57	23.96	22.37
26/12/20	18.50	17.60	17.80	16.49	15.09	14.97	15.73	16.30	18.41	19.72	21.10	21.81	23.32	23.39	22.11	24.17	25.16	27.01	27.43	27.09	26.78	25.80	24.57	21.29
27/12/20	19.00	17.09	17.79	17.47	15.47	15.39	16.47	17.23	20.76	22.04	22.86	22.49	24.88	25.75	23.20	25.05	26.13	28.74	28.60	28.32	27.64	25.11	25.03	22.46
28/12/20	17.81	14.60	16.13	15.30	14.38	14.92	17.70	19.69	20.67	23.58	26.22	26.22	23.89	23.83	23.41	24.77	26.18	29.16	29.84	30.95	30.00	28.19	25.84	24.27
29/12/20	19.81	17.15	18.10	18.76	16.04	16.42	17.85	20.04	22.03	24.21	24.39	22.95	24.38	24.32	23.35	25.91	28.21	28.14	28.68	28.46	28.27	26.98	27.08	24.86
30/12/20	17.95	15.78	17.23	15.46	14.40	14.85	16.50	20.64	23.20	21.24	23.													

Γλωσσάριο

Ακρωνύμια

AC – Alternating Current
AD – Anaerobic Digestion
AG – Asynchronous Generator
BESS – Battery Energy Storage System
BMS – Battery Management System
CC – Capital Cost
CfD – Contracts-for-Difference
CF – Capacity Factor
CHP – Combined Heat & Power
COE – Cost of Energy
CSP – Concentrated Solar Power
DC – Direct Current
DERs – Distributed Energy Sources
DoD – Depth of Discharge
EG – Electrical Grid
EIF – Environmental Impact Factor
EMS – Energy Management System
FSWT – Fixed Speed Wind Turbine
GF – Greenization Factor
GHI – Global Horizontal Irradiation
GMT – Greenwich Meridian Time
HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine
HF – Hydrogen Factor
IEA – International Energy Agency
MPPT - Maximum Power Point Tracker
NOCT – Nominal Operating Cell Temperature

NPC – Net Present Cost
NREL – National Renewable Energy Laboratory
PB – Power Block
PCC – Point of Common Coupling
PCS – Power Conversion System
PV - Photovoltaics
RES – Renewable Energy Sources
SDS – Sustainable Development Scenario
SG – Steam Generator
SOC – State-of-Charge
SOH – State-of-Health
SS – Substation
TES – Thermal Energy Storage
TREC - Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation
UPS – Uninterruptable Power Supply
VRLA – Valve-Regulated-Lead-Acid
VSWT – Variable Speed Wind Turbine
WEC – World Energy Council

Βιβλιογραφία

- [1] «EnergyPedia,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://energypedia.info/wiki/Electricity_Basics.
- [2] «Electrical Grid,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_grid.
- [3] «Solar Energy,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eesi.org/topics/solar/description>.
- [4] International Energy Agency, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iea.org/>.
- [5] «Contracts for difference second allocation round results,» Department for Business, Energy and Industrial Strategy, 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://gov.uk/government/uploads/system/uploads/>.
- [6] PIRC, 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://publicinterest.org.uk/offshore/downloads/offshore_valuation_exec.pdf.
- [7] «US Offshore Wind,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://1.newenergyupdate.com/LP=20084>.
- [8] «Global offshore wind market set to grow sixfold by 2030,» BNEF, 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://about.bnef.com/blog/global-offshore-wind-market-set-to-grow-sixfold-by-2030/>.
- [9] F. Sarah, F. Xianfeng, M. Kiran, H. Arshad, A. Muhammad και Y. Mohammad, Nanotechnology and the Generation of Sustainable Hydrogen, Springer.
- [10] A. Arman και B. Christian, «From hot rock to useful energy: A global estimate of enhanced geothermal systems potential,» σε *Applied Energy*, Elsevier, 2020.
- [11] E. Csanyi, «Electrical Engineering Portal,» 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://electrical-engineering-portal.com/electric-power-systems>.
- [12] W. D., «Europe's offshore wind costs falling steeply Wind Power Offshore,» 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://windpoweroffshore.com/article/1525362/europes-offshore-wind-costs-falling-steeply>.
- [13] B. H., «Offshore Wind,» International Energy Agency, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iea.org/reports/offshore-wind>.
- [14] B. H., «Onshore Wind,» International Energy Agency, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iea.org/reports/onshore-wind>.

- [15] Hutterer και G. W., «Geothermal Power Generation in the World 2015–2020 Update Report,» σε *Proceedings World Geothermal Congress*, Reykjavik, Iceland, 2021.
- [16] B. K., «CleanTechnica,» 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://cleantechnica.com/2017/05/11/offshore-wind-represents-majorchallenge-competing-technologies/>.
- [17] M. Kamran και M. R. Fazal, *Renewable Energy Conversion Systems*, Elsevier, 2021.
- [18] B. M., S. C., M. S. και S. M., «Dynamics of the Diesel-Wind System with Asynchronous Generators,» 2012.
- [19] H. Peter και F. Manfred, «Towards sustainable energy systems: The related role of hydrogen,» σε *Energy Policy*, Elsevier, 2006.
- [20] A. Solovev και A. Petrova, «Integra Sources,» 16 August 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.integrasources.com/blog/energy-management-and-energy-saving-bess/>.
- [21] D. Ibrahim και A. Canan, «Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability,» *International Journal of Hydrogen Energy*, 2015.
- [22] M. Ibrahim, Z. , D. Adel, A. , Adel και M. Yasunori, *Solar Energy*, Springer, 2021.
- [23] C. O. Omer και K. Alireza, *Alternative Energy in Power Electronics*, Elsevier, 2015.
- [24] W. Caisheng, «Modeling and Control of Hybrid Wind/Photovoltaic/Fuel cell Distributed,» *PhD thesis*, 2006.
- [25] V. d. R. Aldo, *Fundamentals of Renewable Energy Processes*, Academic Press, 2009.
- [26] Garg και Prakash, *Solar Energy: Fundamentals and Applications*, Tata McGraw-Hill Education, 2000.
- [27] R. P. Mukund και B. Omid, *Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis & Operation*, CRC, 2021.
- [28] V. F. B. Rúben, «The Impact of Shadowing in Photovoltaic Systems and How to Minimize it».
- [29] J. Peter και C. S. Aditya, «Feasibility Analysis of an Islanded Microgrid in Tohatchi, New Mexico Using HOMER Pro,» *Energy and Power Engineering*, τόμ. 12, 2020.

- [30] M. Roger A. και A. Amir, Photovoltaic Systems Engineering, CRC, 2017.
- [31] L. E. Weldemariam, «Sustainable Off-grid Power station for Rural Applications,» 2010.
- [32] M. Sathyajith, Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics, Springer, 2006.