

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή



**Πολυπαραγοντική ανάλυση και σχεδιασμός
συστήματος Κατανεμημένης Παραγωγής βασισμένο σε
ΑΠΕ σε Ελληνικά Νησιά: Η περίπτωση της Τήλου, με
χρήση του λογισμικού εργαλείου DER- CAM**

Βασίλειος Δ. Μπίζιος

**Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Γεώργιος Ξύδης**

ΜΑΪΟΣ 2016

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Πολυπαραγοντική ανάλυση και σχεδιασμός
συστήματος Κατανεμημένης Παραγωγής βασισμένο σε
ΑΠΕ σε Ελληνικά Νησιά: Η περίπτωση της Τήλου, με
χρήση του λογισμικού εργαλείου DER-CAM**

Βασίλειος Δ. Μπίζιος

**Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Γεώργιος Ξύδης**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση
των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών
στις 31/05/2016
από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών
του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Μάϊος 2016

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η διερεύνηση και η αποτύπωση του σεναρίου της αντικατάστασης των υπαρχουσών θερμικών μονάδων παραγωγής ενέργειας με συστήματα ενεργειακής παραγωγής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Το σενάριο διερευνάται με το πρόγραμμα DERCAM και εκτιμάται τόσο η δυνατότητα απορρόφησης της ενέργειας όσο και η αποθήκευση της ενέργειας για την εξασφάλιση της συνεχούς τροφοδοσίας.

Η μελέτη εφαρμόζεται στο μικρό νησί της Τήλου (το οποίο ανήκει στο σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων). Η ανάλυση συμπεριλαμβάνει και την αποτύπωση των προβλημάτων διαθεσιμότητας νερού και ενέργειας και καταλήγει σε εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής ενός μοντέλου βασισμένο στο πρόγραμμα DER-CAM.

Οι κυρίως στόχοι της παρούσας είναι η διερεύνηση της βελτιστοποίησης του κόστους, της μείωσης των εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑτΘ) καθώς και της μεγιστοποίησης του αποτελέσματος με την χρήση του DER-CAM. Το λογισμικό DER-CAM (Distributed Energy Resources Customer Adoption Model) αποτελεί ένα εργαλείο υποστήριξης λήψης αποφάσεων και χρησιμοποιείται για την πολυπαραμετρική ανάλυση ενός ενεργειακού συστήματος. Παραθέτοντας της βέλτιστες λύσεις καθορίζει τα χαρακτηριστικά του συστήματος παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας, την δυναμικότητα καθώς και τις βέλτιστες δυνατότητες απορρόφησης της εγχεόμενης ενέργειας από το δίκτυο.

Αρχικά ορίζεται ως η βέλτιστη λύση για κάθε επενδυτή ως οικονομική οντότητα ξεχωριστά, και στη συνέχεια μια συμβιβαστική αμοιβαία επωφελή λύση για όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη. Το σχήμα έχει ως αποτέλεσμα περισσότερες από μία λύσεις win-win για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς και δείχνει το πεδίο για την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων και σε άλλα νησιά που αντιμετωπίζουν τα ίδια προβλήματα.

Λέξεις κλειδιά: Τήλος, Αυτόνομο Σύστημα, ενεργειακή παραγωγή, Συστήματα Κατανεμημένης Παραγωγής, DER-CAM, DER, DG

Summary

In this research it is investigated, the possibility of replacing the existing autonomous thermal power plants by DER based on renewable energy technologies, along with appropriate energy storage units in order to deal with the major problems Greek non-interconnected islands face, while taking into consideration the national energy targets. In this end, a case study of a small island named Tilos, which belongs to Dodecanese complex, that faces various energy and water shortages is conducted for assessing the feasibility of DER deployment.

The main objectives investigated in this research are cost minimization, CO₂ emissions minimization, as well as DER reliability maximization.

DER-CAM (Distributed Energy Resources Customer Adoption Model) decision support tool is used for multi-objective analysis of DER, which propose a set of optimal solutions defining the appropriate distributed generation technologies, the appropriate capacity of this technology and the optimal dispatch of the distributed generation.

Initially was defined the best optimal solution for each stakeholder individually, and thereafter a compromise mutual beneficial solution, for all stakeholders, was proposed.

The fact that result more than one win-win solutions for all stakeholders, indicates the scope for developing such systems in other islands facing the same problems.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Δρ. Γιώργο Ξύδη για την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε και την υποστήριξη του κατά τις δύσκολες περιόδους που διένυσα. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου καθώς και την σύντροφο μου Χριστίνα για την υποστήριξη και την πνευματική δύναμη που μου έδωσαν ώστε να επιτύχω τον σκοπό μου.

Περιεχόμενα

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1	Υπόβαθρο και ερευνητικά κίνητρα της εργασίας	10
1.2	Σκοποί και Στόχοι	17
1.3	Πρακτική παράθεση Προβλήματος.....	16
1.4	Θεωρητικό υπόβαθρο προβλήματος	19
1.4.1	Κατανεμημένη Παραγωγή	21
1.5	Περίγραμμα Διατριβής.....	25
2.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	31
2.1	Περιγραφή Πηγών Δεδομένων.....	31
2.2	Θεωρητικό Υπόβαθρο	33
2.2.1	Κατανεμημένη Παραγωγή	34
2.2.2	Τεχνολογίες Κατανεμημένης Παραγωγής.....	35
2.2.3	Συπαραγωγή	39
2.2.4	Ανανεώσιμη Ενέργεια	41
2.2.5	Αποθηκευμένη Ενέργεια.....	45
2.2.6	Εφαρμογές	54
2.2.7	Οφέλη.....	59
2.3	Σχεδιασμός Συστήματος	61
2.4	Διερεύνηση πηγών δεδομένων	65
2.5	Τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν	72
2.5.1	DER-CAM	72
2.5.2	Διαδικασία.....	76
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	85
3.1	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	85
3.3.1	Μονού – στόχου	94
3.3.1	Πολλαπλών στόχων.....	101
3.2	Συνοπτική Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	109

4.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	111
4.1	Εσωτερική Συζήτηση	114
4.2	Εξωτερική Συζήτηση.....	115
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	117
5.1	Σκοποί και Στόχοι που έχουν Επιτευχθεί.....	117
5.2	Μελλοντικές Εργασίες	120

Κεφάλαιο 1

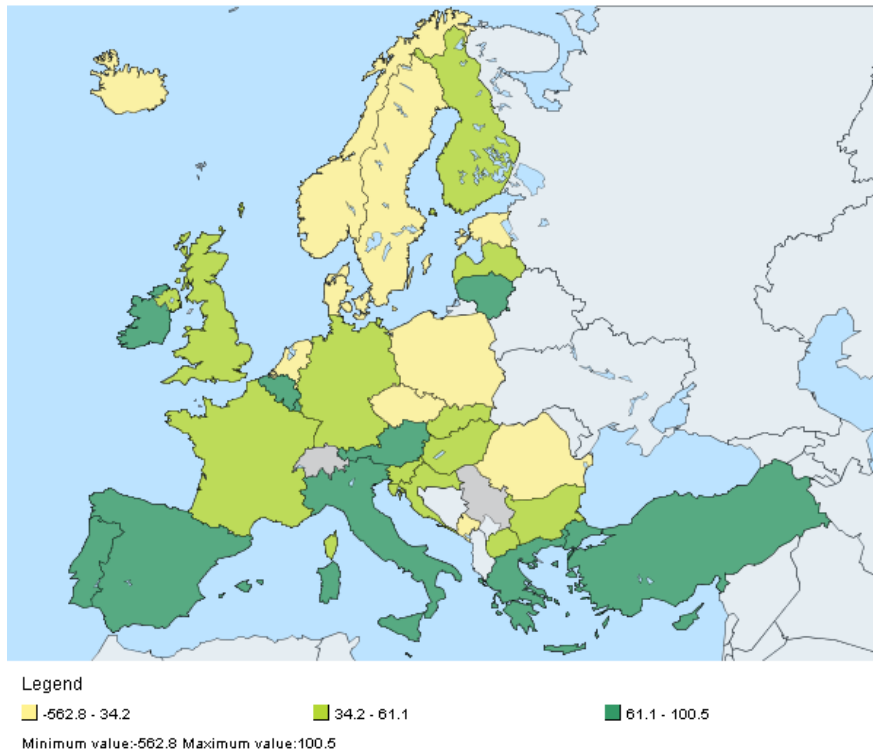
Εισαγωγή

1.1 Υπόβαθρο και ερευνητικά κίνητρα της εργασίας

Τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο, παρέχουν επί του παρόντος το 80% της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας, ενώ η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας (με την προϋπόθεση ότι θα αυξηθεί κατά 40 %) το 2035 θα έχει ως μείγμα συμβολής των ορυκτών καυσίμων περί του 75 % (IEA , 2013). Όπως είναι γνωστό, τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα είναι πεπερασμένα και συνεχώς οδηγούνται προς την εξάντληση των αποθεμάτων τους. Για παράδειγμα, η έκθεση αυτή δείχνει ότι η αναλογία Αποθεματικά προς παραγωγή για το πετρέλαιο είναι περίπου εκτιμώμενης διάρκειας από 40 έως 45 έτη.

Επιπλέον, η καύση αυτών, προκαλεί αέρια του θερμοκηπίου (GHG), με τις εκπομπές CO₂ να είναι κυρίως υπεύθυνες για την ταχεία αλλαγή του κλίματος.

Σημαντικό αντικείμενο για την Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελεί ο μεγάλος βαθμός (δείκτης) ενεργειακής εξάρτησης (αναφερόμενοι στα ορυκτά – συμβατικά καύσιμα). Η σύγχρονη πραγματικότητα δείχνει ότι η ΕΕ είναι υψηλά εξαρτώμενη από εισαγωγές προερχόμενες από κράτη μη – μέλη. Κύρια καύσιμα τα οποία εισάγονται είναι τα στερεά (ορυκτά), το ακατέργαστο πετρέλαιο καθώς και το Φυσικό αέριο. Σύμφωνα με την Eurostat (2014a) περί του (53.4%) της εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας (αναφερόμενοι στα 28 κράτη μέλη) καλυπτόταν με εισαγωγές καυσίμων από χώρες εκτός ΕΕ. Παρακάτω ακολουθεί ο χάρτης ο οποίος απεικονίζει την ενεργειακή εξάρτηση για το έτος 2012.



Σχήμα 1-1. Συνολική Ενεργειακή Εξάρτηση της EU(28 χώρες) 2012. **Πηγή: Eurostat, 2014b**

Συγκεκριμένα η τιμή ενεργειακής εξάρτησης¹ της Ελλάδας για το 2012 ήταν 66.6%, κυρίως λόγω της εισαγωγής πετρελαϊκών καυσίμων καθώς και φυσικού αερίου.

Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

Για τους ως άνω αναφερθέντες αυτούς τους λόγους, η ΕΕ καθορίζει ένα σύνολο υποχρεωτικής νομοθεσίας για όλα τα κράτη μέλη, προκειμένου να επιτύχει τους στόχους της ενέργειας και του κλίματος για το 2020 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2014a). Οι στόχοι αυτοί, επίσης γνωστοί ως 20-20-20 και αποτελούνται από τρεις κύριες κατηγορίες:

- Μια μείωση κατά 20% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ από τα επίπεδα του 1990
- Η αύξηση του μεριδίου της ενεργειακής κατανάλωσης της ΕΕ που παράγεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στο 20 %
- Μια βελτίωση κατά 20 % της ενεργειακής απόδοσης της ΕΕ

Σε αυτή την κατεύθυνση η ΕΕ εγκρίνει ένα πακέτο για το κλίμα και την ενέργεια το οποίο αποτελείται από τέσσερα βασικά μέτρα συμπληρωματικά με την ισχύουσα νομοθεσία:

- Μεταρρύθμιση του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ της ΕΕ)
- Οι εθνικοί στόχοι για τις εκπομπές Ατθ εκτός ΕΕ
- Οι εθνικοί στόχοι ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές
- Δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα

Συγκεκριμένα, σε συμφωνία σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2009α) σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και το εθνικό σχέδιο δράσης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα, το μερίδιο της εισχώρησης των ΑΠΕ στον ενεργειακό συντελεστή ορίζεται στο 18% έως και το 2020. Η ελληνική κυβέρνηση υιοθετώντας τις συγκεκριμένες κατευθυντήριες σχετικά με την ενέργεια και το περιβάλλον με τον Ν.3851/2010 (Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, 2010), αναπροσαρμόζει τον εθνικό στόχο για συμμετοχή των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο σε ποσοστό 20% (40% συμμετοχή στην παραγωγή ενέργειας, 20% στην κάλυψη θερμικών αναγκών, 10% σε κάλυψη αναγκών μετακίνησης).

Επιπροσθέτως, στις 23 Οκτωβρίου 2014 τα κράτη μέλη προχώρησαν σε εκ νέου επαναπροσδιορισμό των στόχων σχετικά με την ενεργειακή πολιτικής της ΕΕ.

Το νέο πλαίσιο γνωστό και ως « Πλαίσιο κλιματικής και ενεργειακής πολιτικής για το 2030», (European Commission, 2014b), είχε σκοπό την μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από της εισαγωγές.

Συγκεκριμένα οι στόχοι που τέθηκαν ήταν:

- Μείωση εκπομπών Ατθ κατά ελάχιστο 40% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990
- Αύξηση του ποσοστού συμμετοχής στο ενεργειακό μείγμα κατά ελάχιστο 27%
- Αύξηση ενεργειακή απόδοσης κατά ελάχιστο 27%

Το πλαίσιο νομοθετημάτων για το 2030 αποτελεί βασικό λίθο για τον στρατηγικό σχεδιασμό προς την οικονομία χαμηλού άνθρακα. Με σκοπό την σταθεροποίηση του ρυθμού αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από τους 2⁰C (βάση την θερμοκρασία της προ-βιομηχανικής εποχής), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2011a) σχεδιάζει τον οδικό χάρτη στοχεύοντας προς την οικονομία χαμηλού άνθρακα για το 2050.

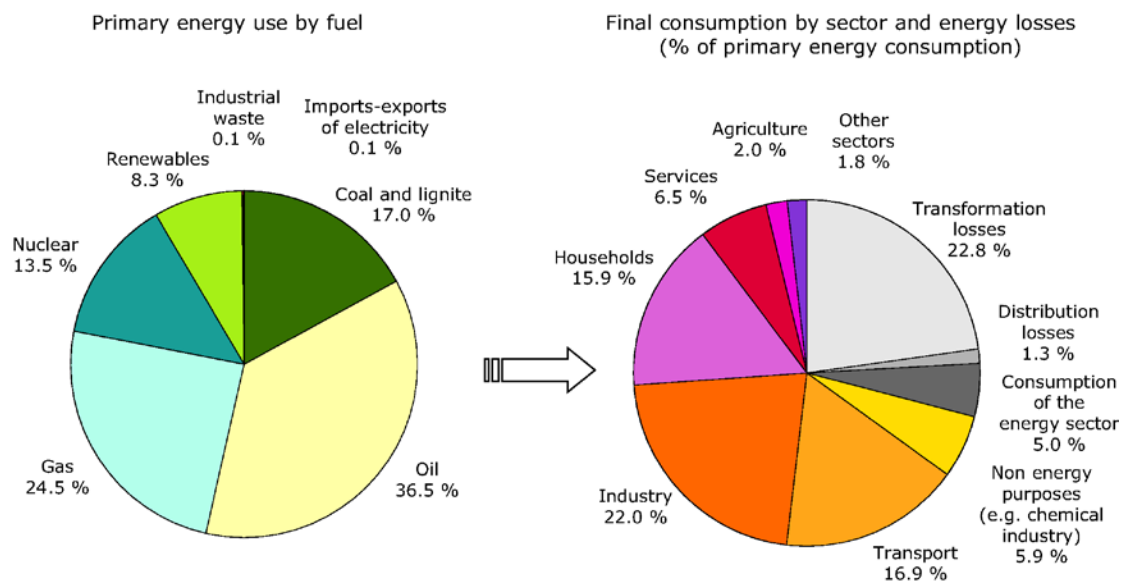
Ο Πίνακας 1-1 απεικονίζει το απαιτούμενο ποσοστό μείωσης για τους στόχους του 2030 καθώς και τους στόχους του 2050 σε συγκεκριμένους τομείς και σε συνδυασμό με τον ρυθμό τεχνολογικής ανάπτυξης.

Πίνακας 1-1. Μειώσεις εκπομπών κατά τομέα. Πηγή: **European Commission, 2011a**

GHG reductions compared to 1990	2005	2030	2050
Total	-7%	-40 to -44%	-79 to -82%
Sectors			
Power (CO ₂)	-7%	-54 to -68%	-93 to -99%
Industry (CO ₂)	-20%	-34 to -40%	-83 to -87%
Transport (incl. CO ₂ aviation, excl. maritime)	30%	+20 to -9%	-54 to -67%
Residential and services (CO ₂)	-12%	-37 to -53%	-88 to -91%
Agriculture (non-CO ₂)	-20%	-36 to -37%	-42 to -49%
Other non-CO ₂ emissions	-30%	-72 to -73%	-70 to -78%

Απώλειες Μεταφοράς και Κατανομής στα δίκτυα

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Ενέργειας (2011), το 2008 μόνο το 71,4 % της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας στην ΕΕ - 27 έφτασε τους τελικούς χρήστες (Σχήμα 1-2). Επιπλέον, η αμερικανική Ενεργειακή Στατιστική Υπηρεσία (2014a) αναφέρει ότι το 6% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται χάνεται στη μετάδοση και διανομή.



Σχήμα 1-2. Δομή απόδοσης μετατροπής και διανομής της ενέργειας από πρωτογενή παραγωγή στις τελικές χρήσεις, EU-27,2008. Πηγή: EEA, 2011

Η καταναμημένη παραγωγή καθώς και η αποθήκευση ενέργειας έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα με κυριότερα την κατανομή του κινδύνου (risk allocation), την ευελιξία (flexibility) και την αξιοπιστία (reliability). Το μοντέλο της καταναμημένης παραγωγής και της αποθήκευσης ενέργειας διαμορφώθηκε αρχικά από τον Thomas Edison τον 19^ο αιώνα με το μοντέλο του συνεχούς καταναμημένου παραγωγικού συστήματος (DG - Distributed Generation). Αυτό το σενάριο θα μπορούσε να αυξήσει την ενεργειακή απόδοση από την χρήση πρωτοβάθμιας ενέργειας στη συνολική τελική κατανάλωση από τους τελικούς χρήστες, μειώνοντας την απόσταση που ταξιδεύει η ηλεκτρική ενέργεια και ως εκ τούτου το ποσό χάνεται κατά την μεταφορά. Είναι σαφές ότι η Καταναμημένη Παραγωγή θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στην κάλυψη των ευρωπαϊκών στόχων της ενεργειακής και κλιματικής.

Με σκοπό την αύξηση του βαθμού εισχώρησης του ρεύματος το οποίο παράγεται από τα συστήματα καταναμημένης παραγωγής (DG) στο κυρίως δίκτυο, πρέπει να δημιουργήσουμε υποσυστήματα λαμβάνοντας υπόψη πληθώρα παραγόντων όπως η βασισόμενη σε χρονικά περιθώρια παραγωγή, το net metering, τα πρότυπα διασύνδεσης και η απόκριση ζήτησης.

Περί των 220 θερμοπαραγωγών ηλεκτρικών μονάδων λειτουργούν στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου, οι περισσότερες εκ των οποίων λειτουργούν εδώ και 20 χρόνια. (Kaldelis & Zafrikakis, 2007).

Τα αποτελέσματα αυτής της κατάστασης είναι η χαμηλής ποιότητας παραγόμενη ενέργεια, η περιορισμένη απόδοση των μονάδων και οι συνεχείς διακοπές ηλεκτροδότησης. Τα φαινόμενα αυτά γίνονται ιδιαίτερος εμφανή κατά τους μήνες υψηλής ζήτησης.

Βάση τις μηνιαίες αναφορές των Θερμικών Μονάδων και Μονάδων ΑΠΕ στα ΜΔσ (HEDNO S.A., 2016), η συνολική ηλεκτρική παραγωγή για το 2015 τόσο των συμβατικών όσο και των εναλλακτικών μονάδων παραγωγής ανήλθε στις 5.609,8 GWh. Η εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ στο τέλος του 2015, συμπεριλαμβανομένων των μικρών οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων ήταν 477.89MW ενώ η αντίστοιχη παραγωγή ενέργειας για το έτος αυτό ήταν 1,037.87 GWh, με ποσοστό διείσδυσης το 18,50%. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά πηγή για όλα τα μη διασυνδεδεμένα νησιά στην Ελλάδα το 2015 και το μερίδιο των ΑΠΕ για το τρέχον έτος.

Πίνακας 1-2. Ανάλυση ηλεκτροπαραγωγής αν πηγή στα ΜΔν. Πηγή HEDNO S.A.,2016

Month (2015)	Thermal Units generation (MWh)	RES Wind & PV generation (MWh)	Residential PV generation (MWh)	Total RES	Total (MWh)	Share of RES in electr. generation
January	363,289.38	79,532.18	3,098.21	82,630.39	445,919.77	17.96%
February	321,322.61	80,681.03	2,274.81	82,955.84	404,278.45	20.07%
March	322,146.89	75,138.11	2,823.41	77,961.52	400,108.41	18.91%
April	294,459.70	78,541.55	3,256.24	81,797.79	376,257.49	21.06%
May	356,494.66	73,517.65	3,753.40	77,271.05	433,765.71	17.00%
June	401,756.71	89,200.64	3,617.83	92,818.47	494,575.18	18.17%
July	506,038.68	111,286.65	3,706.72	114,993.37	621,032.05	18.03%
August	585,915.75	95,487.29	3,634.87	99,122.16	685,037.91	14.01%
September	487,188.90	72,330.64	3,321.70	75,652.34	562,841.24	12.93%
October	347,142.81	80,535.74	3,128.40	83,664.14	430,806.95	18.83%
November	262,436.65	76,152.16	2,806.78	78,958.94	341,395.59	22.49%
December	323,019.51	87,561.34	2,487.59	90,048.93	413,068.44	21.80%
Total yearly:	4,571,212.25	999,964.98	37,909.96	1,037,874.94	5,609,087.19	18.50%

1.2 Σκοποί και Στόχοι

Στόχοι της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι να αναφερθεί στα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔν) λαμβάνοντας υπόψη τα ως άνω προαναφερθέντα στοιχεία. Ονομαστικά σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η εύρεση ολιστικής λύσης για τις τοπικές κοινωνίες ενώ παράλληλα να συνδράμει στην προσπάθεια της Ελλάδας για την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή ένωση.

Στο σημείο αυτό ερευνάται η δυνατότητα αντικατάστασης των υαρχόντων ηλεκτροπαραγωγών μονάδων με αυτόνομες μονάδες συνδυασμένων τεχνολογιών ΑΠΕ και ενεργειακής αποθήκευσης. Η εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών οι οποίες είναι και ευρέως διαθέσιμες στην περιοχή του Αιγαίου θα οδηγήσει σε μια καθαρότερη και φθηνότερη εναλλακτική σε σχέση με την έως τώρα λύση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων.

Με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτή η επίτευξη πολύπλευρων θετικών αποτελεσμάτων τόσο για τις τοπικές κοινωνίες όσο και για τον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο.

Επίσης, οι εθνικοί και κοινοτικοί ενεργειακοί στόχοι για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, η μεγαλύτερη διείσδυση των ΑΠΕ και η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Ατθ) θα πρέπει να ενισχυθεί.

Το λογισμικό DER-CAM (Distributed Energy Resources Customer Adoption Model) αποτελεί εργαλείο υποστήριξης λήψης αποφάσεων και χρησιμοποιείται για τον πολυπαραγοντικό σχεδιασμό και βελτιστοποίηση Ενεργειακών συστημάτων με Βάση τις Ανανεώσιμες Τεχνολογίες. Με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης λύσης, αξιολογούνται τρία κύρια σενάρια:

- Οικονομική βελτιστοποίηση, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας και της επιτόπιας παραγωγής
- Περιβαλλοντική βελτιστοποίηση, για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών Ατθ (αυτονόμηση λειτουργία κατά 100%)

- Σταθμισμένος στόχος που εξετάζει ταυτόχρονα τα δύο ανωτέρω κριτήρια

Τα ως άνω αναφερθέντα σενάρια έχουν εξελιχθεί με βάση επενδυτικές προοπτικές για την κάλυψη των απαιτήσεων των επενδυτών. Με χρήση του προγράμματος DERCAM εξετάζονται ενδελεχώς οι παρακάτω τομείς:

- Σχέση Κόστους- Βέλτιστης διαμόρφωσης των Ανανεώσιμων Ενεργειακών Τεχνολογιών (RETs)
- Επαρκές επίπεδο εγκατεστημένης ισχύος.
- Διαχείριση εγκατεστημένου ισχύος

Για τον σκοπό αυτό η περιοχή έρευνας καθορίζεται το μικρό νησί της Τήλου (το οποίο ανήκει στο σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων) και αντιμετωπίζει πολυποίκιλα προβλήματα ενεργειακής και υδρευτικής φύσης.

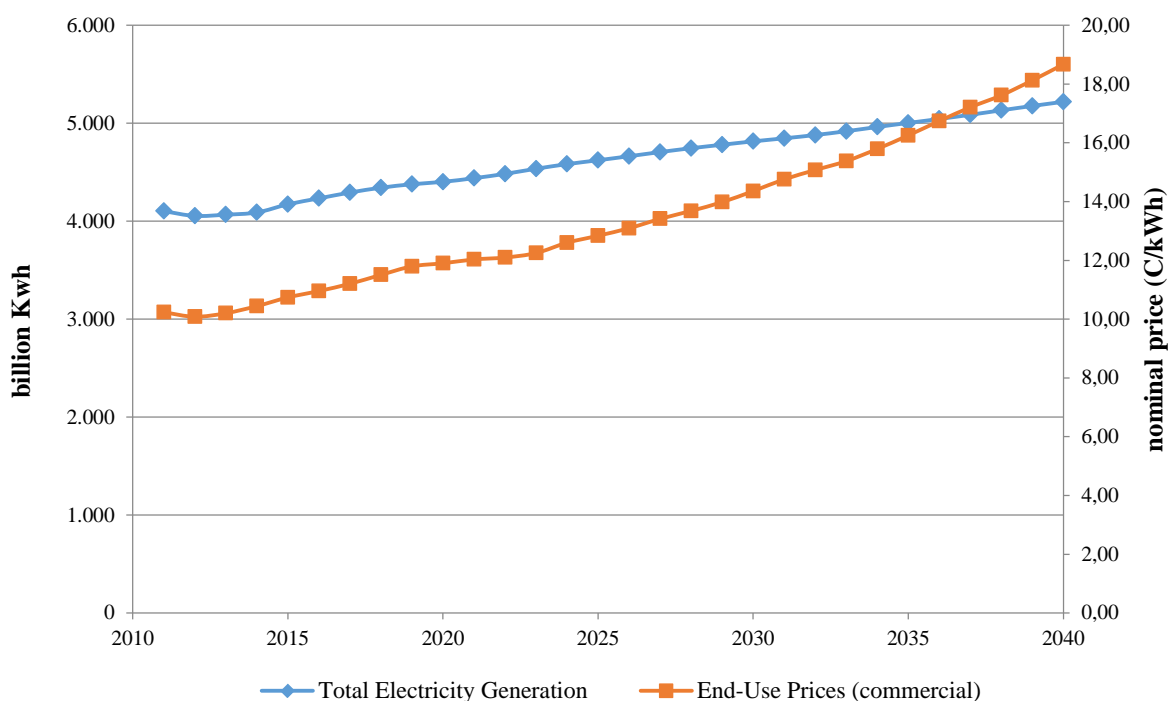
1.3 Πρακτική Παράθεση του Προβλήματος

Περιβάλλον (αυξανόμενο ενεργειακό κόστος, χαμηλής ποιότητας ενεργειακός εφοδιασμός, αναξιοπιστία των υπαρχόντων δικτύων δύναμης).

Σύμφωνα με την International Energy Outlook 2013 (EIA, 2013), η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί κατά 56 % μεταξύ 2010 και 2040.

Αυτή η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας θα ωθήσει σε άνοδο τις τιμές της ενέργειας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το Σχήμα 1-4 παρουσιάζει μακροπρόθεσμες προβλέψεις της ΕΠΕ σχετικά με την παραγωγή και τις τιμές των ΗΠΑ στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (ΕΠΕ , 2014b).

Οι προβλέψεις αυτές βασίζονται σε μια αναφορά υπόθεσης του 2014, το σενάριο λαμβάνει υπόψη την κύρια υπόθεση της οικονομικής ανάπτυξης 2,4 % για την περίοδο 2012 με 2040.



Σχήμα 1-4. Ηλεκτροπαραγωγή & προβολές τιμής για το 2040 βασισμένες σε σενάρια του 2014, Πήγη: EIA, 2014b

Ο ρυθμός αύξησης των παραπάνω γραμμών τάσης είναι 0,9% όσον αφορά την Παραγωγή και 2,2 % σε σχέση με την τελική χρήση εμπορικών τιμών, αντίστοιχα.

Παρά το γεγονός ότι η αξία της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πλέον υψηλή, δεν υπονοεί υπηρεσίες παρόμοιας ποιότητας. Τα δίκτυα μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι αρκετά παλαιά και το κόστος για να τη βελτίωση ή αντικατάσταση με νέα και εξελιγμένα είναι απαγορευτικό στις περισσότερες περιπτώσεις. Στην Ελλάδα, ιδιαίτερα στα νησιά που δεν διασυνδέονται με το κύριο δίκτυο (ΜΔν), γεγονότα όπως διακοπή παροχής ηλεκτρισμού ή ακόμα και τη συνολική αποτυχία κεντρικών αγωγών, λόγω μιας ζημίας ή μιας ανικανότητας του πλέγματος να αντιμετωπιστούν τις αιχμές των φορτίων σε περιπτώσεις υψηλής ζήτησης, δεν είναι σπάνια γεγονότα.

Κατά συνέπεια η τελικοί χρήστες καλούνται να επιλύσουν την κοστοβόρα εναλλακτική λύση των έκτακτων υποστηρικτικών μονάδων για να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη λειτουργία σε περιόδους αιχμής.

Πλαίσιο (ανεπαρκής υποδομή, σταθερότητα & ζητήματα αξιοπιστίας, ελλείψεις νερού)

Η παλαιότητα και ανεπαρκής υποδομή σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό διακοπών λειτουργίας αποτελούν το κύριο εμπόδιο για να αναπτυχθεί το εύρος και η κλίμακα των επιχειρησιακών δραστηριοτήτων. Ο Τσακίρης (2010), πολύ καταλλήλως σημειώνει ότι ο τομέας των τουριστών στα νησιά του Αιγαίου συνδέεται αυστηρά με τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται ιδιαίτερα λόγω της αυξανόμενης ροής των τουριστών. Στην πραγματικότητα, μερικές πολύ καυτές ημέρες το καλοκαίρι με τις χαμηλές ταχύτητες ανέμου το δίκτυο “στρεσάρεται” προκειμένου να εκπληρωθούν οι απαιτήσεις ψύξης ενώ τα αιολικά πάρκα συμβάλλουν μετά βίας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την διακοπτόμενη καμπύλη παραγωγής τους να μην επαρκή στην κάλυψη των φορτίων αιχμής

Οι Kaldelis & Zarifakis, (2007), δίνουν έμφαση στο στενό περιθώριο ασφάλειας της παροχής ηλεκτρισμού και τον υψηλό κίνδυνο διακοπής του συστήματος σε

περίπτωση δυσλειτουργίας μιας μεγάλης θερμικής μονάδας, ειδικά στις περιόδους με την υψηλή ζήτηση φορτίων. Οι συντάκτες επίσης, επισημαίνουν τις μεγάλες καθημερινές και εποχιακές διακυμάνσεις απαίτησης φορτίων ηλεκτρικής ενέργειας. Ενδεικτικά, η ζήτηση θερινών μέγιστων φορτίων μπορεί να είναι πέντε φορές μεγαλύτερη του ελάχιστου φορτίου χειμώνα, ενώ η καθημερινή διακύμανση μπορεί να φτάσει $\pm 60\%$ της μέσης τιμής.

Όπως αναφέρεται ανωτέρω, η σημαντικότερη απαίτηση φορτίων ηλεκτρικής ενέργειας στα μη-διασυνδεδεμένα νησιά που καλύφθηκαν από θερμικές μονάδες ως ποσοστό διείσδυσης ΑΠΕ για το 2015 ήταν 18.50%, στο μείγμα συμπεριλαμβάνονται μικρής κλίμακας φωτοβολταϊκοί σταθμοί (Α.Ε. HEDNO, 2016). Αυτές οι θερμικές μονάδες είναι βασισμένες στις εισαγωγές υγρών-καυσίμων, και έχουν αρκετά υψηλό κόστος παραγωγής το οποίο και επηρεάζεται από την μεταβολή της τιμής του πετρελαίου και του δείκτη ευρώ/ δολαρίου (Kaldelis et.al., 2012). Επίσης, στον υπολογισμό του μέσου μεταβλητού κόστους ηλεκτρικής παραγωγής από τις συμβατικές εγκαταστάσεις, πρέπει να συμπεριληφθεί το κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπής του CO₂.

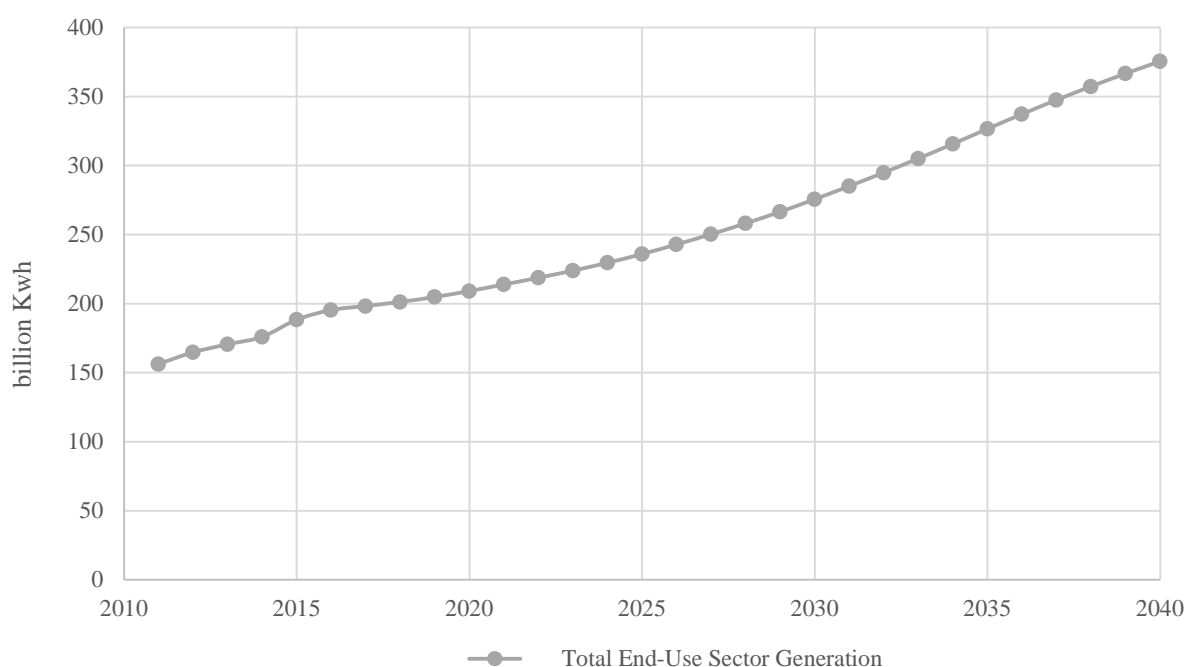
Ένα άλλο μεγάλο πρόβλημα αντιμετωπίζουν τα περισσότερα από αυτά τα νησιά, είναι η λειψυδρία. Η πλειοψηφία των μικρών και μεσαίου μεγέθους νησιά έχουν σημαντικό έλλειμμα σε καθαρό νερό, ειδικά κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου που ο πληθυσμός είναι μερικές φορές ακόμα και δέκα φορές μεγαλύτερος από το κανονικό. Προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες πόσιμου νερού τα νησιά αυτά μια τεράστια αναγκάζονται να μεταφέρουν τεράστιες ποσότητες γλυκού νερού από την ηπειρωτική χώρα ή κάποια κοντινά μεγαλύτερα νησιά ετησίως σε υψηλό κόστος (7-9 €/ m³) (Καλδέλλης κ.α., 2004, Μέντης κ.ά., 2016)

Προσεγγίζοντας τα παραπάνω θέματα από την προοπτική των μικροδικτύων, πολλές λύσεις μπορούν να βρεθούν σε διάφορα επίπεδα. Όσον αφορά τα οικονομικά θέματα η εφαρμογή, θα οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση στα λειτουργικά έξοδα.

Από μια άλλη σκοπιά, τα μικροδίκτυα, θα πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργούν ως αυτόνομα δίκτυα ενέργειας σε περίπτωση διακοπής ρεύματος και αναγκαστική

απομόνωση, την παροχή αδιάλειπτης τροφοδοσίας σε κρίσιμα φορτία. Επιπλέον τα μικροδίκτυα θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκριθούν σε φορτία αιχμής και να βελτιώσουν την ποιότητα ισχύος και τη σταθερότητα του δικτύου. Τέλος η κατάλληλη μέθοδο αποθήκευσης ενέργειας, θα πρέπει να διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στο σύστημα.

Οι προβλέψεις που αφορούν στο χώρο του ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι αρκετά ενθαρρυντικές. Τα δεδομένα που προκύπτουν από την ετήσια έκθεση Energy Outlook (ΕΠΕ , 2014b), σχετικά με το ρυθμό αύξησης της παραγωγής κατά την τελική χρήση στον τομέα αποτελεί το 3 % και αναφέρεται στην περίοδο 2012 - 2040. Αυτή η τάση ανάπτυξης απεικονίζεται στο Σχήμα 1-5.



Σχήμα 1-5. Τάση Πρόβλεψης παραγωγής ζως το 2040 **Πηγή: ΕΙΑ, 2014b**

Ο τομέας τελικής χρήσης περιλαμβάνει σταθμούς συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας και τους σταθμούς μόνο ηλεκτροπαραγωγής στους εμπορικούς και βιομηχανικούς τομείς που έχουν μη - κανονιστικό καθεστώς, καθώς και μικρά επιτόπια συστήματα παραγωγής στον οικιακό, εμπορικό και βιομηχανικό τομέα χρησιμοποιούνται κυρίως αυτοπαραγωγή, αλλά που μπορούν επίσης να πωλούν κάποια ισχύ στο δίκτυο.

Η τάση αυτή αντανακλά την ανάγκη για την αυτοπαραγωγή για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Οι πολλαπλές πηγές κατανεμημένης παραγωγής (DER) αποτελούν το μικροδίκτυα μαζί με τις μονάδες αποθήκευση και τα φορτία ενέργειας. Θα μπορούσαν να είναι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα , η ηλιακή θερμική, ανεμογεννήτριες, αιολική, ή συμβατικές πηγές όπως γεννήτριες ντίζελ, συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και τα συστήματα ισχύος. Τα συστήματα DER πρέπει να συμπεριλαμβάνουν τα ηλεκτρονικά ισχύος για να παρέχεται η απαιτούμενη ευελιξία και αξιοπιστία.

Σχετικά με την λειτουργία των μικροδικτύων, κατά την κανονική λειτουργία, παρέχουν τα φορτία τους συνεχόμενα και απρόσκοπτα. Σε περίπτωση που εμφανιστεί πλεονάζουσα ενέργεια γίνεται έγχυση στο δίκτυο ,ενώ σε περιπτώσεις ελλείμματος ενέργειας , το σύστημα τραβάει ενέργεια που παρέχεται από το σταθερό δίκτυο.

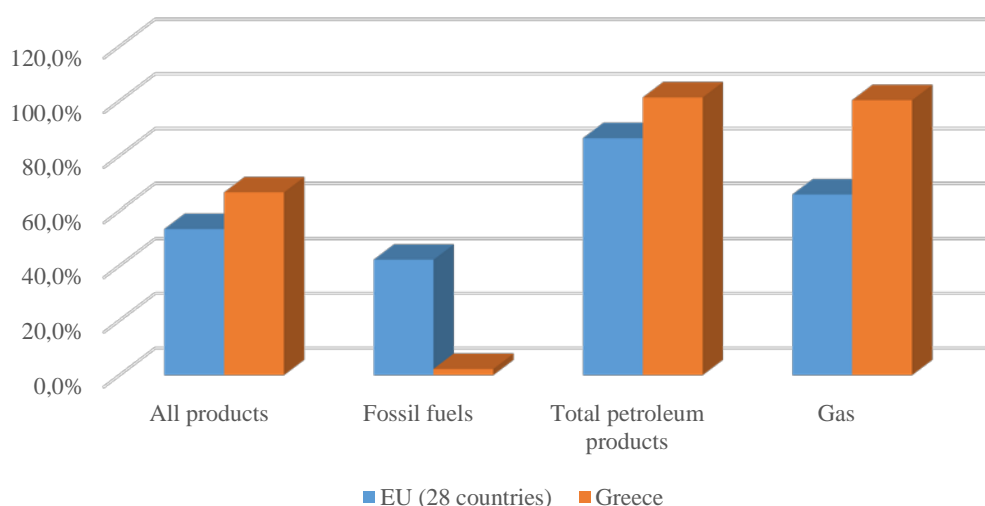
Τέλος σε περίπτωση αναγκαστικής απομόνωσης, το μικροδίκτυο λειτουργεί ως ξεχωριστό σύστημα αυτόνομου δικτύου, προκειμένου να ανταποκριθεί στις ενεργειακές απαιτήσεις.

1.4 Το Θεωρητικό υπόβαθρο του προβλήματος

Οι ταχείς αλλαγές στο περιβάλλον είναι ένα από τα σοβαρότερα παγκόσμια προβλήματα τα οποία και καλούμαστε να τα αντιμετωπίσουμε τις δύο τελευταίες δεκαετίες. Το γεγονός αυτό διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον ενεργειακό σχεδιασμό της ΕΕ. Η ΕΕ και συγκεκριμένο το νομοθετικό εκτελεστικό όργανο της UNFCC (United Nations Framework for Climate Change) ως αρωγός της προσπάθειας για μείωση των εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου έχει δεσμευτεί για μείωση των εκπομπών και μετριασμό του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Επιπλέον, η ενεργειακή εξάρτηση της Ευρώπης από κράτη εκτός ΕΕ δημιουργεί ένα σημαντικό στρατηγικό μειονέκτημα και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην θεσμοθέτηση των κανόνων των μελών – κοινοτήτων της Ευρώπης.

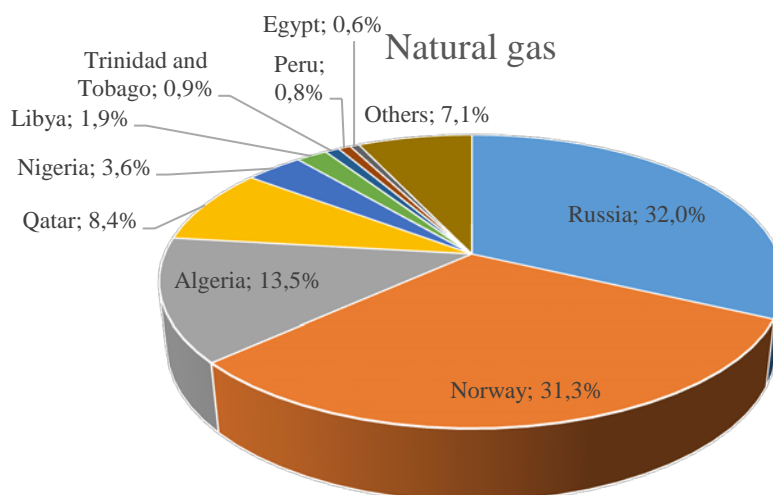
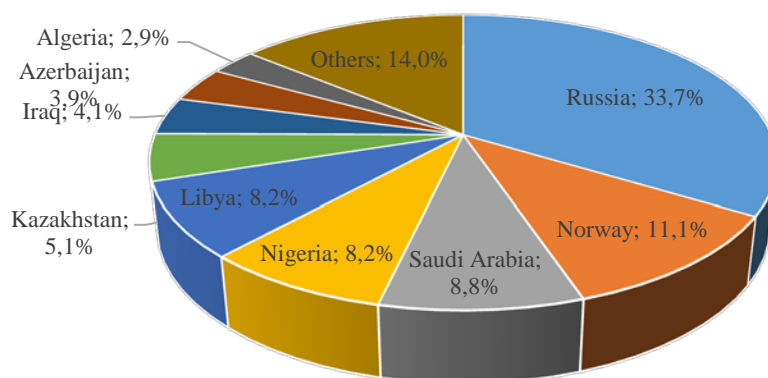
Εστιαζόμενοι στην ενεργειακή εξάρτηση της Ελλάδας όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-6, το ποσοστό εξάρτησης είναι πέραν της μέσης τιμής συγκριτικά με τα υπόλοιπα Ευρωπαϊκά κράτη. Το μείγμα των εισαγωγών το αποτελούν κυρίως πετρελαϊκά προϊόντα καθώς και Φυσικό αέριο, ενώ η εισαγωγή ορυκτών καυσίμων είναι περιορισμένοι λόγω του πλούσιου υπεδάφους σε λιγνιτικά αποθέματα. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Άνθρακα και Λιγνίτη (Eurocoal, 2012) η Ελλάδα έχει περί των 4.7 δισεκατομμυρίων τόνων άμεσα προσβάσιμα αποθέματα ενώ ως γενικά αποθέματα εκτιμάται ότι το ποσό ανέρχεται στους 3 δισεκατομμύρια τόνους.



Σχήμα 1-6. Συνολική ενεργειακή εξάρτηση της ΕΕ (28 χώρες) το 2012, **Πηγή: Eurostat, 2014b**

Οι κυριότερες χώρες, από τις οποίες προέρχονται οι εισαγωγές της ΕΕ αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου, παρουσιάζονται στο Σχήμα 1-7. Παρατηρείται, ότι οι περισσότερες από αυτές τις χώρες αντιμετωπίζουν πολλά εσωτερικά οικονομικά και πολιτικά προβλήματα και εμφανίζονται αστάθειες, ενώ μερικές φορές η πολιτική τους είναι σε σύγκρουση με εκείνη των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτό σημαίνει ότι η Ευρώπη πρέπει να λάβει μέτρα για τη μείωση των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων και να είναι πιο ενεργειακά αυτάρκης.

Crude oil



Σχήμα 1-7. Προέλευση πρωτογενών εισαγωγών ενέργειας, EU-28, 2012, Πηγή: Eurostat, 2014a

Σήμερα, ο κύριος ενεργειακός στόχος είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, το οποίο σημαίνει ότι τα συστήματα θα καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια, ενώ θα διατηρείται το ίδιο επίπεδο άνεσης. Επιπλέον, η ενέργεια που καταναλώνεται είναι πολύ σημαντικό να προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές, καθώς κάθε κράτος μέλος έχει καταρτίσει την ενεργειακή πολιτική σχετικά με το ποσοστό συμμετοχής στο μείγμα των ΑΠΕ. Αυτή η ενεργειακή στρατηγική θα έχει άμεσο αντίκτυπο τόσο στη μείωση των Αερίων του Θερμοκηπίου (Green House Gas emissions- αέριων εκπομπών θερμοκηπίου) όσο και την ενεργειακή ανεξαρτησία των ευρωπαϊκών χωρών από τις χώρες τροφοδοσίας, δύο θέματα μείζονος σημασίας για την Ευρώπη.

Βελτιστοποιημένη ενεργειακή απόδοση μπορεί να επιτευχθεί με χρήση συστημάτων κατακεντρωμένης παραγωγής, τα οποία και θα μειώσουν τις απώλειες μεταφοράς και διαμοιρασμού καθώς και θα προσαρμόσουν την παραγωγή σε συνάρτηση της ζήτησης. Επιπλέον, στα πλαίσια της παραγωγής της ενέργειας, η εφαρμογή μικροδικτύων (micro-grids) θα προχωρήσει σε περαιτέρω μείωση των απωλειών στην πηγή της παραγωγής.

1.4.1 Κατακεντρωμένη Παραγωγή (Distributed Generation -DG)

Υπάρχουν επί του παρόντος πολλοί ορισμοί σχετικά με την κατακεντρωμένη παραγωγή και είναι δύσκολο κάποιος να δώσει έναν ενιαίο ορισμό. Αρκετές αναφορές της βιβλιογραφίας προσπάθησαν να συγκεκριμενοποιήσουν τον ορισμό.

Ακολουθεί μια περίληψη των ορισμών κατακεντρωμένης παραγωγής όπως δίδονται από διεθνείς οργανισμούς, όπως παρουσιάζονται στα ακόλουθα έγγραφα εργασίας (Gonzalez - Longatt & Fortoul , 2005, Bayod Rújula et.al., 2012).

Ορισμοί

A. *Διεθνής Επιτροπή Ενέργειας (International Energy Agency -IEA)*

«Κατακεντρωμένη παραγωγή είναι η παραγωγή η οποία εξυπηρετεί τον πελάτη επί τόπου, είτε παρέχοντας υποστήριξη σε ένα δίκτυο διανομής , είτε σε σύνδεση με το δίκτυο σε επίπεδο της διανομής. Οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται γενικά περιλαμβάνουν στροβίλους, κυψέλες καυσίμου και φωτοβολταϊκά συστήματα. Δεν περιλαμβάνει γενικά την αιολική ενέργεια, δεδομένου ότι οι περισσότερες ποσότητες αιολικής ενέργεια παράγονται σε αιολικά πάρκα που χτίστηκαν ειδικά για το σκοπό αυτό και όχι για την ικανοποίηση μιας απαίτησης ενεργειακής ζήτησης επί τόπου...»

B. *Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (US. DOE)*

Κατακεντρωμένη παραγωγή -μικρό, αρθρωτές γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος βρίσκονται κοντά στο φορτίο του πελάτη- μπορεί να επιτρέψει βοηθητικά

προγράμματα και να αναβάλει ή να εξαλείψει δαπανηρές επενδύσεις στη μεταφορά και διανομή (T&D) στις αναβαθμίσεις του συστήματος, και επιπλέον παρέχει στους πελάτες καλύτερη ποιότητα, αξιόπιστη παροχή ενέργειας και ένα καθαρότερο περιβάλλον. Ένας άλλος ορισμός της US DOE ορίζει ότι η κατανομή ενεργειακών πόρων (DER) αναφέρεται σε μια ποικιλία από μικρές, αρθρωτές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Αυτά τα συστήματα (DER συστήματα) κυμαίνονται σε μέγεθος και χωρητικότητα από λίγα κιλοβάτ έως και 50 MW. Αποτελούνται από ένα χαρτοφυλάκιο τεχνολογιών, τόσο στην πλευρά της προσφοράς όσο και ζήτησης και μπορεί να βρίσκονται πάνω ή κοντά στην τοποθεσία όπου χρησιμοποιείται η ενέργεια.

C. Ίδρυμα Ερευνών (EPRI)

Το EPRI κάνει έναν σιωπηρό ορισμό με μια επισκόπηση της ενσωμάτωσης των ενεργειακών πόρων οι οποίοι διανέμονται. Αυτό αποδεικνύει ότι το νέο σύστημα θα είναι επίσης σε θέση να ενσωματώσει ομαλά μια σειρά από τοπικά εγκατεστημένα συστήματα κατανεμημένης παραγωγής ενέργειας (όπως οι κυψέλες καυσίμου και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) ως περιουσιακά στοιχεία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Κατανεμημένες πηγές ισχύος κάτω των 20 MW ανά μονάδα θα μπορούσαν να αναπτυχθούν τόσο στην πλευρά προμήθειας όσο και κατανάλωσης ως βασικά στοιχεία του ενεργητικού. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται η αξιοπιστία, η ικανότητα και η αποτελεσματικότητα του σημερινού συστήματος διανομής, η αρχιτεκτονική, και επίσης αναστέλλονται οι περιορισμοί μηχανικού ελέγχου, οι οποίοι απαγορεύουν, στην πραγματικότητα, αυτή η αυξημένη λειτουργικότητα του συστήματος.

Από άλλη πλευρά, ένας άλλος ορισμός EPRI των κατανεμημένων πόρων περιλαμβάνει μικρά γενιάς (1kW έως 50MW) ή/και συσκευές αποθήκευσης ενέργειας οι οποίες συνήθως βρίσκονται κοντά σε φορτία των πελατών ή των υποσταθμών διανομής και δικτύων υπομετάδοσης.

D. Ίνστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE)

Το πρότυπο για τη διασύνδεση κατανεμημένων πόρων με Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της IEEE, καθορίζουν κατανεμημένης παραγωγής, τις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής οι οποίες συνδέονται με έναν EPS περιοχή (σύστημα

ηλεκτρικής ενέργειας) από ένα σημείο της κοινής ζεύξης σε ένα υποσύνολο καταναμημένων πόρων.

Μια μελέτη με τίτλο "Η καταναμημένη παραγωγή: Ορισμός" (Distributed Generation: Meaning) η οποία δημοσιεύθηκε στο Electric Power Systems Research (Ackermann et.al., 2001) προτείνει τα ακόλουθα ζητήματα που πρέπει να συζητηθούν περαιτέρω, έτσι ώστε να καταλήξουμε σε μια πιο ακριβή και κοινά αποδεκτό ορισμό:

«..το σκοπό, η τοποθεσία, η βαθμολόγηση της καταναμημένης παραγωγής, η περιοχή διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, η τεχνολογία, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ο τρόπος λειτουργίας, την ιδιοκτησία, και η διείσδυση της καταναμημένης παραγωγής..».

Τέλος ο συγγραφέας καταλήγει στο γενικό ορισμό του DG ως *«..Την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε δίκτυα διανομής ή από την πλευρά του πελάτη του δικτύου παραγωγή..».*

Κενό στη γνώση (κόστος διακοπών ρεύματος και βέλτιστη ενεργειακή διαχείριση)

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω προβλήματα θα πρέπει να βρεθεί η βέλτιστη λύση ολοκλήρωσης της καταναμημένης παραγωγής στα πλαίσια του υπάρχοντος συστήματος.

Σε αυτό το πλαίσιο θα πρέπει να αντιμετωπιστούν τα ακόλουθα ζητήματα:

- Ποια είναι η προοπτική σχεδιασμού του DER συστήματος, πώς πρέπει να προσεγγίσουμε αυτό το πρόβλημα και ποια κριτήρια πρέπει να λαμβάνονται υπόψη;
- Οι κύριοι στόχοι που καλείται να βελτιστοποιήσει το σύστημα.
- Οι διαθέσιμες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατάλληλες για εγκατάσταση σε μικρά μη διασυνδεδεμένα νησιά
- Η κατάλληλη ικανότητα των τεχνολογιών αυτών
- Η βέλτιστη ενεργειακή διαχείριση

Υπάρχουν αρκετοί ερευνητές οι οποίοι εξετάζουν την δυνατότητα αντικατάστασης των υπάρχοντων θερμικών μονάδων με αντίστοιχης δυναμικότητας μονάδες ΑΠΕ σε ΜΔν στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου.

Παρα το γεγονός ότι το φαινόμενο των συνεχών διακοπών παροχής ενέργειας έχει αναφερθεί στο πλήθος των μελετών, δεν υπάρχει καθαρή αναφορά σχετικά με προτάσεις επίλυσης του θέματος.

Επίσης δεν ερευνάται στις μελέτες αυτές η βέλτιστη διαχείριση της μεταφοράς ενέργειας.

1.5 Περίγραμμα Διατριβής

Σε αυτή την μελέτη διερευνάται η δυνατότητα αντικατάστασης των υφιστάμενων αυτόνομων μονάδων παραγωγής θερμικής ενέργειας από DER βασιζόμενες σε τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε συνδυασμό με τις κατάλληλες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, προκειμένου να αντιμετωπίσει τα μεγάλα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα μη διασυνδεδεμένα νησιά, καθώς και λαμβάνοντας υπόψη των εθνικών ενεργειακών στόχων.

Η ερευνά του νησιού της Τήλου, (το οποίο ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων) θεωρείται ότι αποτελεί αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αυτονόμησης μικρού Μη Διασυνδεδεμένου Συστήματος.

Το DER - CAM (Distributed Energy Resources Customer Adoption Model) ως εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων χρησιμοποιείται για πολλαπλή-αντικειμενική ανάλυση των κατανεμημένων ενεργειακών μονάδων, η οποία προτείνει ένα σύνολο βέλτιστων λύσεων για τον καθορισμό των κατάλληλων τεχνολογιών παραγωγής, την κατάλληλη ικανότητα αυτής της τεχνολογίας και τη βέλτιστη έγχυση της κατανεμημένης παραγωγής.

Ο βέλτιστος προγραμματισμός και λειτουργία των διανεμημένων συστημάτων παραγωγής ενέργειας είναι ένα πολλαπλών στόχων πρόβλημα που μπορεί να προσεγγιστεί από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Ο τελικός στόχος αυτής της μελέτης είναι να βρεθεί η καλύτερη λύση για κάθε συμμετοχο χωριστά, και να οδηγήσει σε μια “win-win” λύση, για όλους τους εμπλεκόμενους.

Κεφάλαιο 2

Μεθοδολογία Έρευνας

2.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Το ερευνητικό πρόβλημα έχει περιγράψει αναλυτικά στο κεφάλαιο 1. Η δυνατότητα αντικατάστασης των υφιστάμενων αυτόνομων σταθμών παραγωγής ενέργειας με αντίστοιχα βασιζόμενα σε ΑΠΕ μαζί με τις κατάλληλες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, προκειμένου να αντιμετωπίσει τα μεγάλα προβλήματα των μη διασυνδεδεμένων νησιών.

Έτσι, η έρευνα αυτή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως εφαρμοσμένη, δεδομένου ότι αποσκοπεί στην επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων και τη βελτίωση των υφιστάμενων διαδικασιών.

Για το σκοπό αυτό, μια πρώτη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας γίνεται, κυρίως για τη συλλογή πληροφοριών των μεθόδων σχεδιασμού βελτιστοποίησης DER και είναι κατάλληλες για την επίλυση πολλαπλών αντικειμενικών προβλημάτων. Μετεπειτα όλες αυτές οι πληροφορίες αξιολογούνται με βάση το ενδιαφέρον που μπορεί να έχει καθώς και με τη μελέτη περίπτωσης που θα υλοποιηθούν.

Επιπλέον, η τρέχουσα έρευνα μπορεί να χαρακτηριστεί ως εμπειρική και αφαιρετική προσέγγιση, δεδομένου ότι οι υποθέσεις προκύπτουν από την υφιστάμενη θεωρία και στη συνέχεια δοκιμάζονται από ενδελεχή παρατήρηση (Wolf & Skitides, 2013, Skitides & Koilliari, 2006). Η έρευνα αυτή, βασίζεται στην υπόθεση ότι η ανάπτυξη της κατανεμημένης παραγωγής σε μη διασυνδεδεμένα νησιά, θα βοηθήσει να ξεπεραστούν τα προβλήματα τα οποία αντιμετωπίζουν οι τοπικές κοινότητες, καθώς και θα προωθήσουν τους εθνικούς στόχους ενέργειας.

Τέλος, μελέτη περίπτωσης ενός μικρού νησιού της Τήλου, που αντιμετωπίζει διάφορες ελλείψεις ενέργειας και νερού γίνεται για να ελέγξει πώς η παραπάνω υπόθεση μπορεί να εφαρμοστεί σε πραγματικές συνθήκες.

Το εργαλείο DER-CAM χρησιμοποιείται για την επίτευξη αυτών των στόχων και τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των ΑΠΕ με βάση το μοντέλο καταναμημένων πηγών παραγωγής. Για να βρούμε τη βέλτιστη λύση δύο κυρίως στόχοι καθώς και συνδυασμός αυτών διερευνώνται:

- Οικονομική βελτιστοποίηση, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος λειτουργίας και την επιτόπια παραγωγή
- Περιβαλλοντική βελτιστοποίηση, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι εκπομπές CO₂ (100% αυτόνομη λειτουργία)
- Σταθμισμένη ανάλυση του στόχο που θεωρεί ταυτόχρονα δύο παραπάνω κριτήρια

Διάφορα σενάρια αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο διαφόρων απόψεων των ενδιαφερομένων μερών.

Κατά την διερεύνηση με χρήση του DER-CAM πρέπει να απευθυνθούμε στις ακόλουθες πτυχές:

- Κόστος-βέλτιστης διαμόρφωση των Ανανεώσιμων Ενεργειακών Τεχνολογιών (RETs)
- Κατάλληλο επίπεδο της εγκατεστημένης ισχύος
- Λειτουργία της εγκατεστημένης ισχύος.

2.1.1 Περιγραφή πηγών δεδομένων, η περιοχή μελέτης

Η επιλογή της Τήλου, έγινε για τον λόγο ότι αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό μικρό μη διασυνδεδεμένο νησί (ΜΔν) που ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων, στο νότιο- ανατολικό τμήμα του Αιγαίου, και είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο υποδοχής της Κω - Καλύμνου μέσω θαλάσσιου αγωγού. Οι Κως και Κάλυμνος είναι μη διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο με εγκαταστημένο ένα θερμικό εργοστάσιο ονομαστικής ισχύος 120,05 MW το οποίο καλύπτει τόσο τις

ανάγκες τους καθώς και τροφοδοτεί ένα μικρό σύμπλεγμα εννέα νησιών στα οποία ανήκει και η Τήλος.

Ο μεγάλος αριθμός διακοπών ρεύματος και η χαμηλής ποιότητα ισχύος που παρέχεται είναι ένα από τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι κάτοικοι των νησιών.

Το συγκεκριμένο νησί έχει επιλεγεί για την εφαρμογή του TILOS (Technology Innovation for the Local Scale Optimum Integration of Battery Energy Storage project) το οποίο συγχρηματοδοτείται από Ευρωπαϊκούς, Εθνικούς και ιδιωτικούς παράγοντες και βρίσκεται υπό του Προγράμματος Horizon 2020 (πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας). Το πρόγραμμα αυτό βρίσκεται στο στάδιο της μελέτης εφαρμογής για τον λόγο αυτό και τα δεδομένα και τεχνικά χαρακτηριστικά είναι περιορισμένα.

Ο κύριος στόχος του έργου είναι να καταδείξει τις δυνατότητες των εφαρμογών μικρής κλίμακας για αποθήκευση της ενέργειας σε συστοιχίες μπαταρίας και για την εξυπηρέτηση πολλαπλών χρήσεων μέσα σε ένα νησί (μικροδίκτυο) που αλληλοεπιδρά επίσης με ένα κύριο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Μεταξύ άλλων, το πρόγραμμα στοχεύει στην επίτευξη μεγάλης κλίμακας διείσδυση των ΑΠΕ και τη μεγιστοποίηση της αξίας των περιουσιακών στοιχείων μέσω της βέλτιστης ενσωμάτωση ενός υβριδικού ΑΠΕ (αιολική και ηλιακή) σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με την προηγμένη αποθήκευση συστοιχιών μπαταρίας, το σύστημα διανομής, την εγχώρια αποθήκευση με μορφή θερμότητας, την υιοθέτηση έξυπνων μετρητών.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη , είναι πρωτογενή με βάση είτε εκτιμήσεις ή μετρήσεις που έχουν γίνει για τις ανάγκες του έργου. Υπάρχουν χρονοσειρές ζήτησης φορτίου, τα μετεωρολογικά δεδομένα ή ακόμα και οικονομικά δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται ως εισροές για το μοντέλο βελτιστοποίησης.

2.2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Ακολούθως παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας.

2.2.1 Κατανεμημένη Παραγωγή

«...Η κατανεμημένη παραγωγή, που ονομάζεται επίσης ως επί τόπου παραγωγή, διεσπαρμένης παραγωγής, ενσωματωμένα γενιά αποκεντρωμένη παραγωγή, την αποκεντρωμένη ενέργεια, επί τόπου παραγωγή ή διανομή ενέργειας, παράγει ηλεκτρική ενέργεια από πολλές μικρές πηγές ενέργειας...» (Viral & Khatod, 2012).

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1, η DG μπορεί να θεωρηθεί ως «η γενιά ηλεκτρικής ενέργειας στο πλαίσιο των δικτύων διανομής ή από την πλευρά του πελάτη του δικτύου» (Ackermann et al., 2001).

Σε αυτό το κείμενο οι συγγραφείς έχουν προσπαθήσει να φωτίσει διάφορες πτυχές της DG όπως, "αντικείμενο, τη θέση, τη βαθμολογία του DG, στην περιοχή παράδοσης, της τεχνολογίας, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τον τρόπο λειτουργίας, την ιδιοκτησία, και τη διείσδυση της DG".

Κύριος σκοπός της κατανεμημένης παραγωγής (DG) είναι να παρέχει ενεργό ηλεκτρική ενέργεια, μέσω άεργης ισχύος η οποία θα μπορούσε να είναι πολύ αποδοτική, ειδικά για τα δίκτυα διανομής. Η κατανεμημένη παραγωγή μπορεί να συνδέεται με το επίπεδο διανομής ή με την γραμμή τροφοδοσίας.

Αν και αυτός ο γενικός ορισμός δεν καθορίζει την ισχύ της πηγής, ο συντάκτης προτείνει τις ακόλουθες κατηγορίες:

Micro μονάδες διανεμημένη παραγωγή: 1 Watt <5 kW

Μικρές μονάδες διανεμημένη παραγωγή: 5 kW <5 MW

Μεσέες μονάδες διανεμημένη παραγωγή: 5 MW <50 MW

Μεγάλες μονάδες διανεμημένη παραγωγή: 50 MW <300 MW

Η κατανεμημένη παραγωγή συμπεριλαμβάνει ενεργειακές πηγές, ενεργά φορτία και απόκριση και αποθήκευση ενέργειας.

2.2.2 Τεχνολογίες Κατανεμημένης Παραγωγής

Ο Ackermann (Ackermann et al.,2001) κατατάσσει τις διαθέσιμες πηγές κατανεμημένης παραγωγής κατά ενδεικτικά μεγέθη (Πίνακας 2-1).

Πίνακας 2-1. Τεχνολογίες κατανεμημένης παραγωγής. Πηγή: αναφορά από Ackermann, 2001

Technology	Typical available size per module
Combined cycle gas T.	35–400 MW
Internal combustion engines	5 kW–10 MW
Combustion turbine	1–250 MW
Micro-Turbines	35 kW–1 MW
<i>Renewable</i>	
Small hydro	1–100 MW
Micro hydro	25 kW–1 MW
Wind turbine	200 Watt–3 MW
Photovoltaic arrays	20 Watt–100 kW
Solar thermal, central receiver	1–10 MW
Solar thermal, Lutz system	10–80 MW
Biomass, e.g. based on gasification	100 kW–20 MW
Fuel cells, phosphoric acid	200 kW–2 MW
Fuel cells, molten carbonate	250 kW–2 MW
Fuel cells, proton exchange	1 kW–250 kW
Fuel cells, solid oxide	250 kW–5 MW
Geothermal	5–100 MW
Ocean energy	100 kW–1 MW
Stirling engine	2–10 kW
Battery storage	500 kW–5 MW

Οι τεχνολογίες Κατανεμημένης Παραγωγής (DG) συμπεριλαμβάνουν ΣΗΘ - ΣΗΘΥΑ και ΑΠΕ και μπορούν να εφαρμοστούν σε δύο επίπεδα: τοπικό και τελικό – επιτόπιο επίπεδο, (Viral & Khatod, 2012).

Σε αυτό το έγγραφο, οι συγγραφείς υπογραμμίζουν το γεγονός ότι σε τοπικό επίπεδο οι μονάδες DG οι οποίες βασίζονται σε τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι συγκεκριμενοποιημένες ανάλογα με τους πόρους της περιοχής, όπως τα φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, γεωθερμία κλπ. Συνήθως, αυτές οι μονάδες είναι μικρότερες από κεντρικές μονάδες και εμφανίζονται ενεργειακά και οικονομικά αποδοτικότερες. Γενικά, η συγκεκριμενοποιημένη DG είναι πιο κατάλληλη για τις τοπικές ανάγκες, λαμβάνοντας υπόψη και τους τοπικούς περιορισμούς.

Σε αντιδιαστολή, η αυτοπαραγωγή υιοθετείται από μεμονωμένους ενεργειακούς καταναλωτές με σκοπό την κάλυψη των αναγκών τους. Οι περισσότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι κινητήρες εσωτερικής καύσης ή μικρά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυρίως τα φωτοβολταϊκά. Η τελευταία κατηγορία μπορεί να απομονωθεί είτε σε εκτός δικτύου (off-grid) ή διασυνδεδεμένα συστήματα παραγωγής και μπορούν να παρέχουν ενέργεια με άμεσα φορτία ή να εξάγουν την περίσσεια ενέργειας στο δίκτυο με ανταποδοτικές παροχές.

Στον Πίνακα 2-2 οι DG τεχνολογίες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, δηλαδή μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τις ανανεώσιμες τεχνολογίες που βασίζονται και συγκρίνονται με βάση διάφορες παραμέτρους, όπως τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται, το μέγεθος, ανά μονάδα ηλεκτρική απόδοση κ.λπ.

Πίνακας 0-1. Τεχνολογίες DG Πηγή: Viral & Khatod, 2012

S. no.	Type of technologies	Fuel used	Size/module (kW)	Electrical efficiency (LHV ¹) (%)	Overall efficiency (%)	Installed cost (\$/kW)	Total maintenance cost (\$/kW)	Peak shaving	Reliability	Power quality	Green power
A	Non-renewable energy based technologies										
1	Reciprocating engines	Diesel, gas or natural gas	3–6000	30–43	80–85	600–1200	0.005–0.015	Yes	Yes	Yes	No
2	Combustion gas turbine	Gas or diesel	0.5–30,000	21–40	80–90	400–900	0.004–0.010	Yes	Yes	Yes	No
3	Micro-turbine	Bio-gas, propane or natural gas	30–1000	14–30	80–85	1200–1700	0.0018–0.015	Yes	Yes	Yes	No
4	Hybrid fuel cell	Ethenol,H ₂ ,N ₂ natural gas, phosphoric acid, or propane	400–20,000	35–55	80–85	4000–5000	0.0019–0.0153	Yes	Yes	Yes	No
5	Small fuel cell	Ethenol,H ₂ ,N ₂ natural gas, or propane	1–300	30–50	80–90	4000–5000	0.0019–0.0153	Yes	Yes	Yes	No
6	Micro CHP	Heat space or water	1–10	30p	75–89	500–845	–	Yes	Yes	Yes	No
7	Automotive fuel cells	Ethenol,H ₂ ,N ₂ natural gas, PEM, phosphoric acid or propane	30–60	30–55 (hydrogen to electricity)	80–90	4000–5000	0.0019–0.0153	Yes	Yes	Yes	No
B	Renewable energy based technologies										
1	Wind	Wind	0.2–3000	NA ²	50–80	–	–	No	No	No	Yes
2	Photovoltaic systems	Sun	0.02–1000	NA	40–45	4500–6000	–	No	No	No	Yes
3	Biomass gasification	Biomass	100–20,000	15–25	60–75	1500–3000	–	No	No	No	Yes
4	Small hydropower (SHP)	Water	5–100,000	NA	90–98	10,000–13,000	–	No	Yes	Yes	Yes
5	Geothermal	Hot water	5000–100,000	10–32	35–50	–	–	No	No	No	Yes
6	Ocean energy	Ocean wave	100–1000	–	–	–	–	No	No	No	Yes
7	Solar, thermal	Sun and water	1000–80,000	30–40	50–75	–	–	No	No	No	Yes
8	Battery storage	–	500–5000	NA	70–75	100–200	–	Yes	yes	yes	Yes

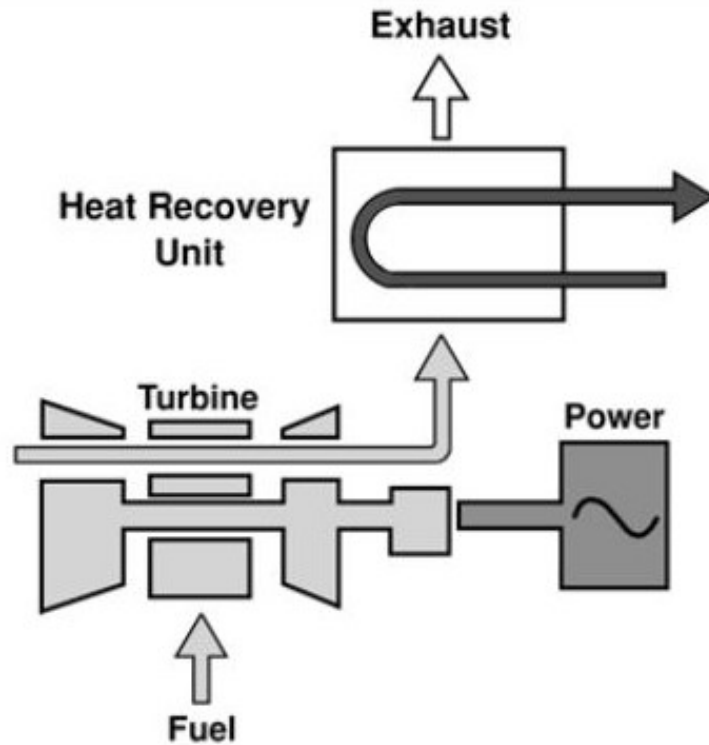
¹ LHV, lower heat value

² NA, not Applicable

2.2.3 Συμπαραγωγή (CHP)

Συμπαραγωγή είναι η διαδοχική χρήση ενέργειας με σκοπό την παράγωγή περισσότερων από ένα τελικών ενεργειακών προϊόντων, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, τα θερμικά φορτία για ψύξη θέρμανση του αέρα κλπ. Συνήθως, σχεδόν τα δύο τρίτα της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χάνεται με τη μορφή θερμότητας τα οποία και απορρίπτονται στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον ενέργεια, χάνεται κατά τη διάρκεια της διανομής ηλεκτρισμού στους τελικούς χρήστες. (EPA, 2016).

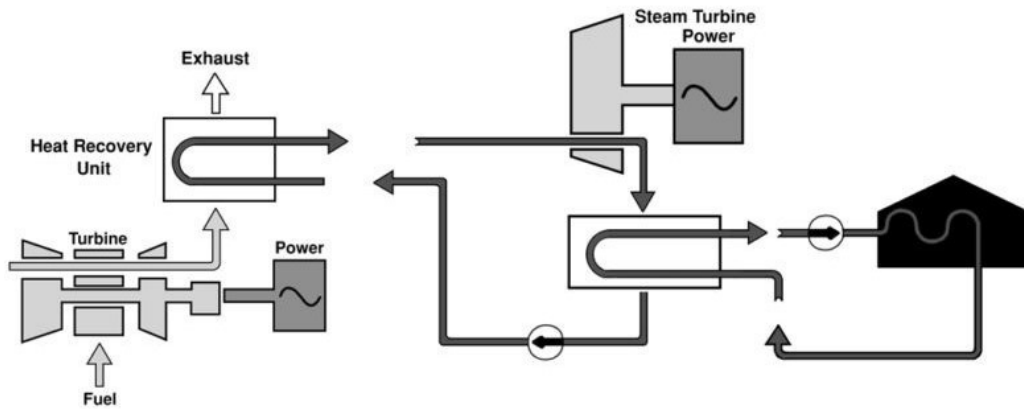
Συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (CHP) συνεπάγεται την ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας για την παραγωγή χρήσιμης θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας. Απορριφθείσα θερμότητα είναι η ενέργεια που συνδέεται με τα ρεύματα του αέρα, τα καυσαέρια, και τα υγρά ρεύματα που εξέρχονται από το σύστημα για να εισέλθουν στο περιβάλλον ως απόβλητα. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει μία μονάδα ανάκτησης θερμότητας η οποία εφαρμόζεται σε μια μονάδα βάσης αεριοστρόβιλου απλού κύκλου για το σκοπό της παροχής διαδοχικά θερμικής ενέργειας σε μια διαδικασία, μετατρέποντας έτσι το σύστημα αυτό σε έναν κύκλο συμπαραγωγής (Petchers, 2003).



Σχήμα 2-1. Εφαρμογή του συστήματος επαναχρησιμοποίησης καυσαερίων σε μονάδα αερίου. **Πηγή:** **ABB, 2003**

Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να παρέχει χρήσιμη θερμική ενέργεια - όπως είναι ο ατμός ή ζεστό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση χώρων, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης και βιομηχανικές διεργασίες. Με τον τρόπο αυτό, το CHP μπορεί να επιτύχει αποδόσεις πάνω από 80%, σε σύγκριση με 50% για συμβατικές τεχνολογίες. Εγγενής υψηλότερη αποδοτικότητα και εξάλειψη των απωλειών μεταφοράς και διανομής από τις κεντρικές μονάδα παραγωγής ενέργειας οδηγούν σε μείωση της χρήσης πρωτογενούς ενέργειας και χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Ατθ) (EPA , 2016).

Το επόμενο Σχήμα 2-2 δείχνει την εφαρμογή της ανάκτησης θερμότητας σε δύο στάδια. Κατά την πρώτη φάση η θερμότητα ανακτάται από τον αεριοστρόβιλο απλού κύκλου, και με σε σειρά με την πρώτη φάση θερμότητα θα ανακτηθεί και πάλι από τον κύκλο ατμοστρόβιλο. Τα ποσά θερμότητας χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση χώρου, μετατρέποντας το σύστημα σε έναν κύκλο συμπαραγωγής σε συνδυασμό.



Σχήμα 2-2 Μονάδα Συμπαράγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. **Πηγή: ABB,2003**

Τεχνολογίες για συμπαράγωγή είναι οι εξής:

- Τουρμπίνες Συνδυασμένου Κύκλου
- Μηχανές Εσωτερικής Καύσης
- Τουρμπίνες Καύσης
- Μηχανές τύπου Sterling
- Γεωθερμική
- Αεριοποίηση Βιομάζας
- Κελία καυσίμων

2.2.4 Ανανεώσιμη Ενέργεια

Ο ακόλουθος ορισμός για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ορίστηκε από την ομάδα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας Εργασίας του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας . (IEA, 2013):

« ...Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας προέρχονται από φυσικές διαδικασίες που ανανεώνονται συνεχώς. Σε διάφορες μορφές της, προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον ήλιο, ή από τη θερμότητα που παράγεται βαθιά μέσα στη γη. Στον ορισμό περιλαμβάνεται η ενέργεια που παράγεται από την ηλιακή, αιολική, βιοκαύσιμα, γεωθερμική, υδροηλεκτρική ενέργεια και τους πόρους των ωκεανών, και των βιοκαυσίμων και υδρογόνου που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές... ».

Όπως προκύπτει από τον παραπάνω ορισμό, υπάρχουν πολλές τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πλέον κοινές τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατάλληλες για κατανεμημένη παραγωγή.

«...Η υδροηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει την δυναμική και κινητική ενέργεια του νερού που μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό στους σταθμούς υδροηλεκτρικής ενέργειας...» .
(IEA , 2013)

Οι (Wolf-Gerrit et al.,2013) αναφέρουν τρία βασικά είδη εγκαταστάσεων υδροηλεκτρικής ενέργειας:

- Οι μεγάλες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν μια μεγάλη δεξαμενή (συνήθως δημιουργούνται με τη χρήση ενός φράγματος) .
- Run - of- the river με μέτρια ικανότητα .
- Προσωρινές γεννήτριες ποταμού με μικρές δυνατότητες.

Το έργο παραγωγής υδροηλεκτρικής ισχύος εκμεταλλεύεται την ενέργεια ροής του υδρολογικού κύκλου, η οποία βασίζεται στην ενέργεια του ήλιου που είναι θεωρητικά άπειρη. Ο ήλιος εξατμίζει το νερό και το μεταφέρει στο υψηλότερο επίπεδο της τροπόσφαιρας, ενώ οι άνεμοι μετακινούν το νερό σε οριζόντια θέση. Στη συνέχεια οι βροχές που πέφτουν στη γη, τοποθετούν το νερό σε υψηλότερα υψόμετρα από ό, τι ξεκίνησε. Τέλος, λόγω της βαρύτητας το νερό ρέει προς τα κάτω (Wolf - Gerrit et al ., 2013a).

Ακολουθώντας τον υδρολογικό κύκλο που περιγράφεται παραπάνω, τρεχούμενο νερό συλλαμβάνεται και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια από υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Οι ανεμογεννήτριες και γεννήτριες μετατρέπουν την ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια τροφοδοτείται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να χρησιμοποιηθεί σε σπίτια, επιχειρήσεις, και από τη βιομηχανία.

Το Γραφείο Ενεργειακής Απόδοσης & Ανανεώσιμης Ενέργειας των ΗΠΑ (DOE, 2016) αναφέρει πολλά πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας μερικά από αυτά είναι τα παρακάτω:

- Είναι μια καθαρή πηγή καυσίμου που δεν παράγει εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- Είναι μια εγχώρια πηγή ενέργειας, επιτρέποντας μία χώρα να είναι ενεργειακά ανεξάρτητη.
- Είναι μια πηγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.
- Οι εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να λειτουργήσουν από το μηδέν έως τη μέγιστη απόδοση πολύ γρήγορα. Ως εκ τούτου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο παραγωγής κατά τις ώρες αιχμής, ή ως εναλλακτικές εγκαταστάσεις παροχής ενέργειας κατά τη διάρκεια διακοπών ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει πολλά παράπλευρα οφέλη, όπως τα αντιπλημμυρικά έργα, τα έργα ύδρευσης και άρδευσης .

Ανεμογεννήτριες

Ο άνεμος καθώς και οι περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πηγάζει και οδηγείται από τον ήλιο. Ο αέρας θερμαίνεται κυρίως από το έδαφος και στη συνέχεια ανεβαίνει στα υψηλότερα στρώματα δημιουργώντας αυξομειώσεις στο δυναμικό και κατά συνέπεια διακυμάνσεις στις ταχύτητες αυτού.

Η δύναμη που προέρχεται από τον άνεμο δίνεται από την κινητική του ενέργεια,

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m U^2$$

Όπου η ροή ρεύματος που μεταφέρεται από τον άνεμο είναι:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho a V^3$$

Η ανεμογεννήτρια λειτουργεί με τον ακόλουθο τρόπο: ο άνεμος με την κινητική ενέργεια η οποία περιγράφεται παραπάνω μεταδίδεται στις λεπίδες γύρω από ένα δρομέα ο οποίος συνδέεται με την κύρια άτρακτο συνδεδεμένη με μία ηλεκτρική γεννήτρια που μετατρέπει τη δύναμη του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια . Τα κύρια μέρη μιας ανεμογεννήτριας είναι : ο ρότορας, οι λεπίδες, η άτρακτος (περιέχει όλα τα βασικά συστατικά όπως άξονα, κιβώτιο ταχυτήτων και την ηλεκτρική γεννήτρια) και ο πύργος.

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι των ανεμογεννητριών: α) κατακόρυφου άξονα, β) Οριζόντιου - άξονα (HAWT).

Οι εφαρμογές ανεμογεννητριών ποικίλουν ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Οι (Wolf - Gerrit et al., 2013a) αναφέρουν ότι οι ανεμογεννήτριες μπορούν να λειτουργήσουν τόσο ως αυτόνομα συστήματα ή όσο και ως διασυνδεδεμένα συστήματα. Λόγω της στοχαστικής παραγωγής ενέργειας, οι ανεμογεννήτριες που συχνά έχουν εγκατασταθεί ως υβριδικά συστήματα σε σύνδεση με γεννήτριες ντίζελ χρησιμοποιούν μια συστοιχία συσσωρευτών για την αποθήκευση ενέργειας. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα μπορεί να είναι είτε μεγάλα χερσαία ή υπεράκτια αιολικά πάρκα (που παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε σύνδεση με το κυρίως δίκτυο), συνήθως συνδέονται με τις γραμμές μεταφοράς, ή μικρότερα συστήματα που συνδέονται με τις γραμμές διανομής ή ακόμη και στο τοπικό δίκτυο χαμηλής τάσης, το οποίο παρέχουν ενέργεια απευθείας στα τοπικά φορτία.

Η δύναμη που μπορεί να παραχθεί από μια ανεμογεννήτρια υπολογίζεται με την ακόλουθη σχέση: $P = 0.5 \rho A C_p W^3 n_g n_b$ (Watt)

που:

ρ - πυκνότητα του αέρα [kg / m³]

A – περιοχή σάρωσης εκτεθειμένη στον άνεμο (m²)

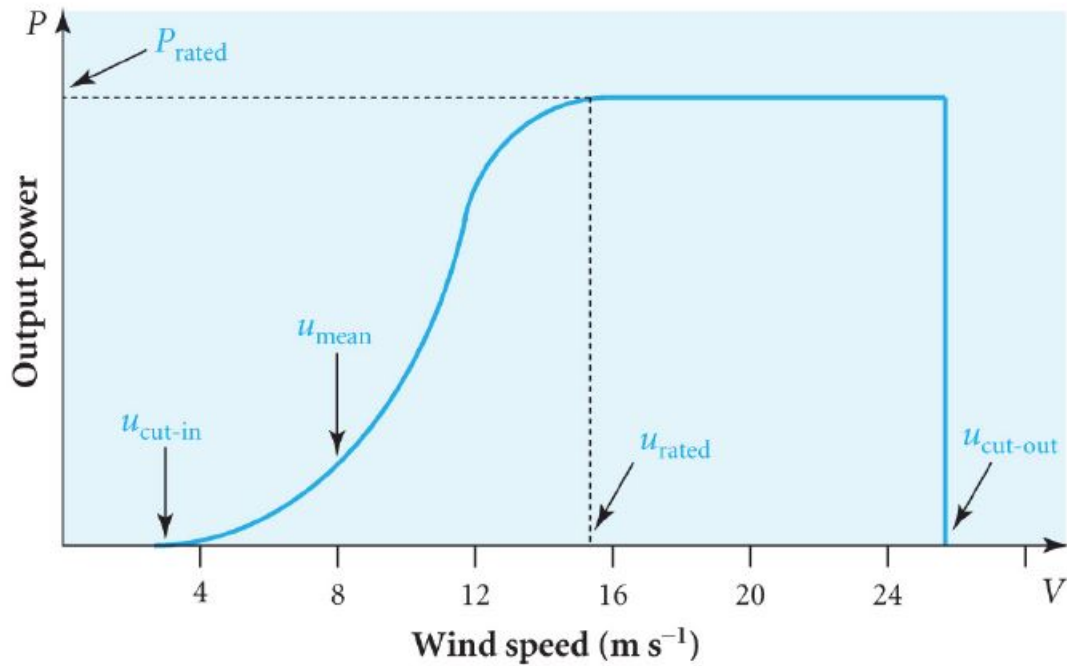
C_p - συντελεστής απόδοσης (ανάλογα με την τουρμπίνα)

w - ταχύτητα του ανέμου (m/ s)

n_g - απόδοση της γεννήτριας

n_b - την απόδοση του κιβωτίου

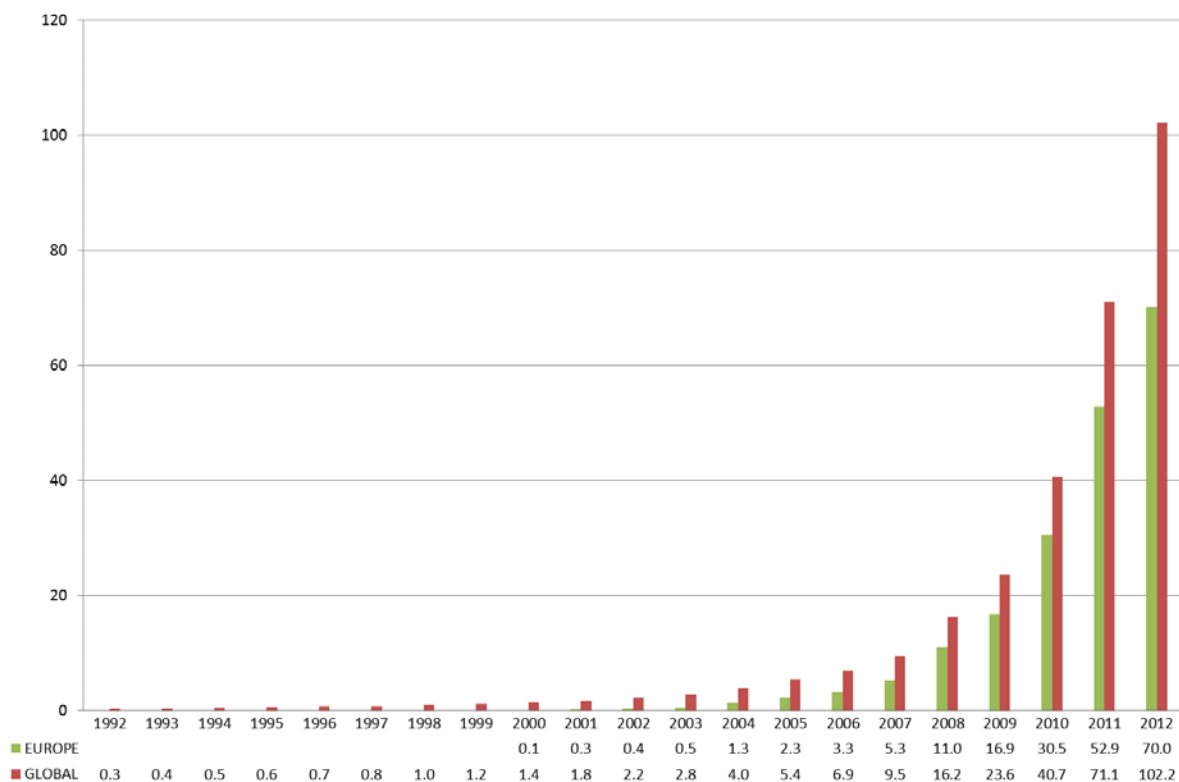
Η εικόνα που ακολουθεί δείχνει μια τυπική καμπύλη απόδοσης μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα.



Σχήμα 2-3. Τυπική απόδοση Α/Γ κάθετου άξονα Πηγη: Andrews & Jelly 2007

Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Η τεχνολογία των Φωτοβολταϊκών, έχει πολύχρονη ιστορία, στην πραγματικότητα χρονολογείται πάνω από 160 χρόνια. Ωστόσο, μια αξιόλογη τιμή εγκατεστημένης παραγωγικής ικανότητας δεν έγινε νωρίτερα από την δεκαετία του 90. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τη χρονική εξέλιξη της σωρευτικής εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών τόσο στην Ευρώπη όσο και στον κόσμο για το διάστημα (1992-2012).



Σχήμα 2-4. Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β συστημάτων **Πηγή: EPIA, Global Market Outlook 2013-2017**

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μετατρέπουν το φως του ήλιου απευθείας σε ηλεκτρισμό . Πρώτης γενιάς τεχνολογία φωτοβολταϊκών και πιο διαδεδομένη είναι τα κύτταρα κρυσταλλικού πυρίτιου πάνω σε γυαλί , τα οποία είναι γενικά τα πιο αποτελεσματικά. Τα ηλιακά κύτταρα δεύτερης γενιάς που ονομάζονται thin-film ηλιακά κύτταρα, επειδή είναι κατασκευασμένα από άμορφο πυρίτιο ή μη-πυριτίουχα υλικά όπως τετραχλωριούχο κάδμιο. Επίσης, όπως υποδηλώνει το όνομά τους, είναι πολύ λεπτότερα από τα αντίστοιχα πρώτης γενιάς και πιο ευέλικτα στο πεδίο εφαρμογής.

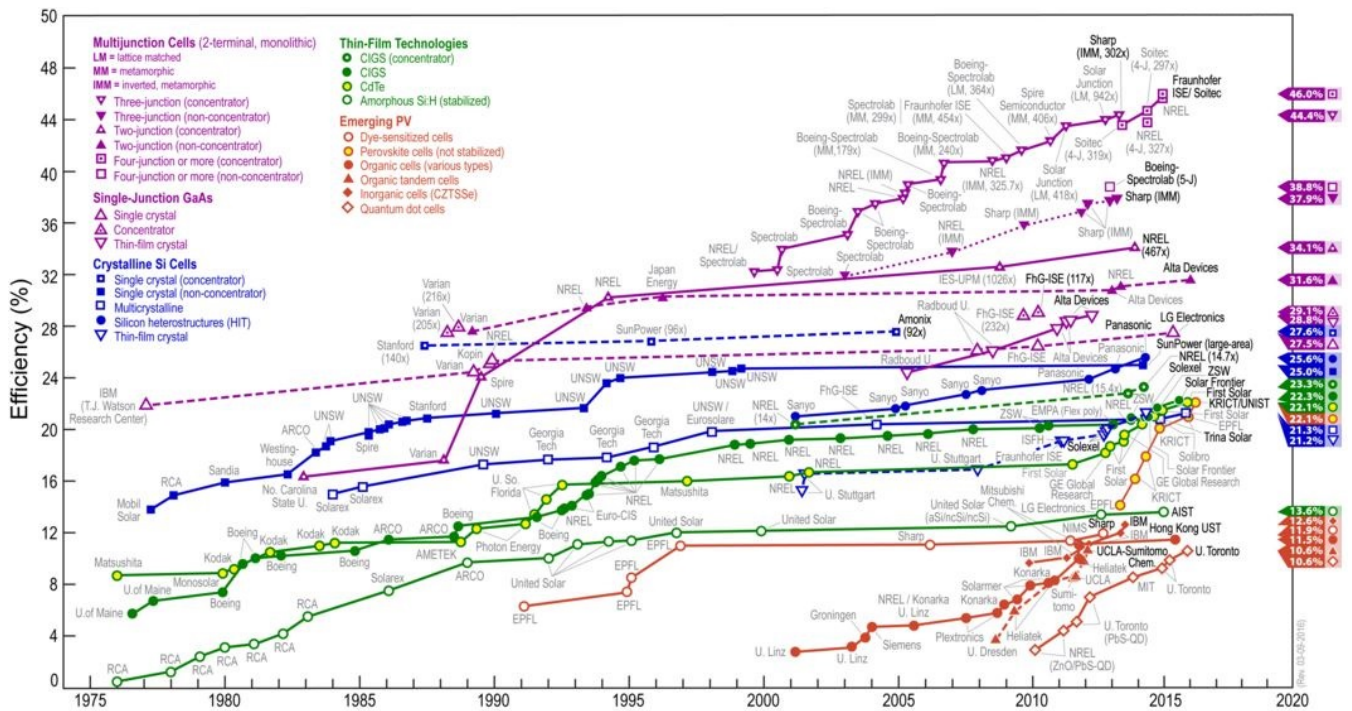
Τα ηλιακά κύτταρα τρίτης γενιάς τα οποία γίνονται από μια ποικιλία από νέα υλικά εκτός του πυριτίου, συμπεριλαμβανομένου ηλιακών μελανιών χρησιμοποιώντας συμβατικές τεχνολογίες εκτύπωσης, ηλιακές βαφές, και αγώγιμα πολυμερή . Γενικά είναι οικονομικά αποδοτικές και έχουν παραγωγική διαδικασία υψηλών ταχυτήτων σε χαμηλές θερμοκρασίες

Οι τυπικές αποδόσεις ανα τεχνολογία κελίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-3:

Πίνακας 2-3. Τυπικές τεχνολογίες φ/β και αποδόσεις. Πηγή : Wolf-Gerrit et al., 2013a

Technology	Efficiency (%)
sc-Si	20.7
mc-Si	15.3
a-Si / a-SiGe	10.2
CdTe	9.2
CIGSS	11.1

Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει την τελευταία μελέτη σχετικά με τα δεδομένα απόδοσης όπως παρουσιάζεται από το Διεθνές Κέντρο Φωτοβολταϊκών και το Εθνικό Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών.



Σχήμα 2-5. Βέλτιστες αποδόσεις κελίων Πηγή: NREL, 2016

2.2.5 Αποθήκευση Ενέργειας

Η διαλείπουσα των πηγών ΑΠΕ και οι τεχνικές δυνατότητες των δικτύων περιορίζουν τη διεύθυνση των ΑΠΕ. Προτεινόμενες λύσεις θα μπορούσε να είναι η αποθήκευση ενέργειας, όπως μπαταρίες, αναστρέψιμη ή να αντλείται υδροηλεκτρικά και οποιαδήποτε άλλη παρόμοια τεχνολογία.

Έτσι, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας θα συμβάλουν στην υλοποίηση των στόχων 20-20-20. Για παράδειγμα, η αποθήκευση πεπιεσμένου αέρα ενέργειας είναι μια μαζική τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας η οποία μπορεί να ανακτήσει περικοπές του ανέμου και να επωφεληθεί από την εισαγωγή του φυσικού αερίου. Οι CAES συνήθως βασίζονται σε μεγάλη κλίμακα, ακόμη και σε εθνικό επίπεδο-διασυνδεδεμένες εφαρμογές που χρησιμοποιούνται για τη συμπλήρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασικού φορτίου (Ζαφειράκης & Καλδέλης, 2010). Από την άλλη πλευρά χρησιμοποιούνται υδροηλεκτρικά συστήματα αποθήκευσης τα οποία συνήθως τοποθετούνται σε απομονωμένες περιοχές και είναι σε θέση να κάνουν χρήση των απορριπτόντων πόσων αιολικής ενέργειας που παράγονται από τους τοπικούς αιολικούς σταθμούς, φαίνεται να κερδίζουν το ενδιαφέρον όλο τον κόσμο και να γίνει απαραίτητη καθώς αφορά σε υψηλότερα μερίδια της παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας (Καψάλη & Καλδέλης, 2010).

Αντλιοταμίευση (PHS)

Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι είναι άμεσα διαθέσιμη. Χρησιμοποιεί τη δύναμη του νερού, μια εξαιρετικά συμπτυκνωμένη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Αυτή η τεχνολογία είναι σήμερα η πλέον χρησιμοποιούμενη για εφαρμογές υψηλής ισχύος (μερικές δεκάδες GWh ή 100 MW).

Αντλούμενοι σταθμοί μετάδοσης υπό αποθήκευση θα είναι ουσιαστικής σημασίας για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας . Η αρχή είναι γενικά πολύ γνωστή : κατά τις περιόδους όταν η ζήτηση είναι χαμηλή, οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για να αντλήσουν το νερό από το κάτω δεξαμενή προς την άνω

δεξαμενή . Όταν η ζήτηση είναι πολύ υψηλή, το νερό ρέει από την άνω δεξαμενή και ενεργοποιεί τους στροβίλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής αξίας για τις ώρες αιχμής. Αντλείται από υδροηλεκτρικά συστήματα τα οποία έχουν απόδοση μετατροπής, από τη σκοπιά ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, περίπου 65-80%, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού.

Συστήματα Θερμικής αποθήκευσης (TES)

Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων TES, ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν πραγματική ή λανθάνουσα θερμότητα.

Η TES (Λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης) κάνει χρήση του υγρού -στερεού μεταβατικού σημείου ενός υλικού σε σταθερή θερμοκρασία. Κατά τη διάρκεια της συσσώρευσης, το υλικό θα μετατοπιστεί από την στερεά κατάσταση σε υγρή και κατά τη διάρκεια της ανάκτησης θα μεταφερθεί πίσω στην στερεή μορφή. Οι μεταφορές θερμότητας μεταξύ του θερμικού συσσωρευτή και του εξωτερικού περιβάλλοντος γίνονται μέσω ενός ρευστού μεταφοράς θερμότητας. Η ενέργεια αποθηκεύεται σε μια δεδομένη θερμοκρασία, όσο υψηλότερη είναι η θερμότητα τόσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση σε ενέργεια. Η ενθαλπία σύντηξης μεγαλώνει με την θερμοκρασία σύντηξης του μεταφερόμενου υλικού που χρησιμοποιείται.

Η δημιουργία υδροξειδίου του νατρίου, στα συστήματα συσσώρευσης λανθάνουσας θερμότητας σε ηλεκτρικούς λέβητες θα μπορούσε να βοηθήσει να στον περιορισμό τη ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια σε βιομηχανικές διεργασίες, όπου οι ανάγκες για ατμό δεν είναι συνεχείς και ποικίλουν σε ένταση. Αισθητή αποθήκευση θερμότητας επιτυγχάνεται με τη θέρμανση ενός υλικού ρευστού φορέα (νάτριο, λιωμένο αλάτι, νερό υπό πίεση, κ.λπ.) που δεν αλλάζει καταστάσεις κατά τη διάρκεια της φάσης συσσώρευσης, η θερμότητα στη συνέχεια ανακτάται για την παραγωγή υδρατμών, η οποία οδηγεί ένα σύστημα turbo-εναλλάκτη.

Η χρήση του νερού ως υγρό μέσο αποθήκευσης σε υψηλές θερμοκρασίες, (άνω των 200 ο^C,) καθιστά αδύνατη την αποθήκευση του σε λεκάνη υπόγειων υδάτων λόγω της ανεπανόρθωτης ζημιάς που θα προκύψει στο έδαφος. Για τον λόγο αυτό απαιτούνται

πολύ μεγάλες σε όγκο στεγανές δεξαμενές τοποθετημένες πάνω σε βράχο. Κατά τη διάρκεια των ωρών εκτός αιχμής, το ζεστό νερό για αποθήκευση μπορεί να ληφθεί από μία θερμική μονάδα, για παράδειγμα, συμπύκνωση του ατμού υψηλής πίεσης από τον λέβητα, ή εφαρμόζοντας, σε χαμηλότερη θερμοκρασία, από τις εξόδους του στροβίλου.

Η παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής μπορεί να επιτευχθεί με τη θέρμανση του νερού που παρέχεται κατά την ανάκτηση αποθηκευμένης ενέργειας και ταυτόχρονη μείωση εξόδου του στροβίλου. Μια ανάκτηση της τάξεως του 5% λαμβάνεται με αύξηση της παραγωγής ατμού μέσω του στροβίλου.

Σύστημα αποθήκευσης με χρήση πεπιεσμένου αέρα (CAES)

Τα συστήματα CAES στηρίζονται σε σχετικά ώριμη τεχνολογία με πολλά έργα υψηλής ισχύος τα οποία έχουν εφαρμοστεί. Μια μονάδα παραγωγής ενέργειας με ένα πρότυπο αεροστροβίλου χρησιμοποιεί σχεδόν τα δύο τρίτα της διαθέσιμης ισχύος για τη συμπίεση του αέρα καύσης. Φαίνεται, επομένως, δυνατόν, με διαχωρισμό των διεργασιών στο χρόνο, να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες εκτός αιχμής (ώρες αποθήκευσης), προκειμένου να συμπιέσει τον αέρα, και στη συνέχεια να παράγουν, κατά τις ώρες αιχμής (ώρες ανάκτησης), τρεις φορές την ονομαστική ισχύ για την ιδιοκατανάλωση καυσίμου με σκοπό την επέκταση του αέρα σε ένα θάλαμο καύσης πριν από την τροφοδοσία του σε τουρμπίνες. Υπολειμματική θερμότητα από τα καυσαέρια ανακτάται και χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του αέρα.

Η αποθήκευση ενέργειας με την τεχνολογία συμπιεσμένου αέρα επιτυγχάνεται σε υψηλές πιέσεις (40-70 bar), σχεδόν πλησίον της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Αυτό σημαίνει λιγότερο όγκο και μικρότερες δεξαμενές αποθήκευσης. Μεγάλες υπόγειες δεξαμενές, αρχαία αλατωρυχεία, ή υπόγειες σπηλιές αποθήκευσης φυσικού αερίου είναι οι καλύτερες επιλογές για την αποθήκευση πεπιεσμένου αέρα, καθώς επωφελούνται από την γεωστατική πίεση, η οποία διευκολύνει τη συγκράτηση της μάζας αέρα. Ένας μεγάλος αριθμός από μελέτες έχουν δείξει ότι ο αέρας θα μπορούσε να συμπιεστεί και να αποθηκευτεί σε υπόγεια, υψηλής πίεσης δίκτυα

σωληνώσεων (20-100 bars). Αυτή η μέθοδος θα μπορούσε να εξαλείψει τα γεωλογικά κριτήρια και να κάνει το σύστημα πιο εύκολο στην εγκατάσταση και λειτουργία.

Αποθήκευση Ενέργειας με χρήση Μπαταριών Ροής (FBES)

Οι μπαταρίες ροής είναι συστήματα δύο ηλεκτρολυτών στα οποία οι χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας είναι σε υγρή κατάσταση, εντός διαλύματος με τον ηλεκτρολύτη. Με την τεχνολογία ροής μπορούν ξεπεραστούν οι περιορισμοί των πρότυπων ηλεκτροχημικών συσσωρευτών (μόλυβδου-οξέος ή νικελίου-καδμίου, κ.λ) στους οποίους οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις δημιουργούν στερεές ενώσεις που αποθηκεύονται άμεσα στα ηλεκτρόδια επί των οποίων σχηματίζονται. Πρόκειται λοιπόν για ένα σύστημα περιορισμένης μάζας, η οποία προφανώς περιορίζει την ικανότητα των κοινών μπαταριών.

Διάφοροι τύποι ηλεκτρολυτών έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας βρώμιο ως κεντρικό στοιχείο: με κύρια συστατικά τον ψευδάργυρο (ZnBr), το νάτριο (NaBr), το βανάδιο (VBr) και, πιο πρόσφατα, πολυσουλφίδιο του νατρίου. Η λειτουργία τους βασίζεται στην αρχή ότι ηλεκτροχημική αντίδραση μέσω μιας μεμβράνης στο κύτταρο μπορεί να αντιστραφεί (φαινόμενο φόρτισης-εκφόρτισης). Με τη χρήση μεγάλων δεξαμενών και σύζευξη ενός μεγάλου αριθμού κυττάρων, μεγάλες ποσότητες ενέργειας μπορούν να αποθηκευτούν και στη συνέχεια απελευθερώνονται με άντληση του ηλεκτρολύτη στις δεξαμενές.

Κυψέλες αποθήκευσης ενέργειας υδρογόνου (FC- HES)

Οι κυψέλες καυσίμου είναι ένα μέσο για την ανάκτηση της ενέργειας που δαπανάται για την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού. Το σύστημα αποθήκευσης περιλαμβάνει τρία βασικά στοιχεία: την ηλεκτρόλυση που καταναλώνει την εκτός αιχμής ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή υδρογόνου, την κυψέλη καυσίμου που χρησιμοποιεί το υδρογόνο και το οξυγόνο από τον αέρα για να δημιουργήσει την ηλεκτρική ενέργεια της ώρες αιχμής, καθώς και μια δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου για την εξασφάλιση επαρκών πόρων σε περιόδους ανάγκης.

Οι αντιδράσεις οξειδωσης-αναγωγής μεταξύ του υδρογόνου και του οξυγόνου είναι ιδιαίτερα απλές αντιδράσεις η οποία λαμβάνουν χώρα μέσα σε μια δομή (στοιχειώδες ηλεκτροχημικό κελί) που αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια (ανόδου-καθόδου) διαχωρίζονται με ηλεκτρολύτη, και αποτελούν ένα μέσο για τη μεταφορά του φορτίου ως ιόντα.

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αποκεντρωμένη παραγωγή (ιδιαίτερα σε σταθμούς χαμηλής ισχύος κατοικιών, έκτακτης ανάγκης, κλπ), σε προσφορά που σχετίζεται με την συμπαραγωγή του δικτύου, σε μέσα τροφοδοσίας (μερικά 100 kW), και αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς θερμική αναβάθμιση. Οι κυψέλες μπορούν επίσης να αποτελέσουν μια λύση για τις απομονωμένες περιοχές όπου είναι πάρα πολύ δύσκολο ή ακριβή η εγκατάσταση των ηλεκτρικών γραμμών (ορεινές τοποθεσίες, κ.λπ.).

Flywheel energy storage (FES)

Οι συσσωρευτές (βολάν) ενέργειας αποτελούνται είτε από ένα ή σύνθετα βολάν σε συνδυασμό με μια γεννήτρια- κινητήρα και ειδικά στηρίγματα (συνήα μαγνητικά), που κινούνται μέσα σε ένα περίβλημα σε πολύ χαμηλή πίεση για μείωση των απωλειών αυτό-απαγωγής. Από πρακτική άποψη, ηλεκτρομηχανικού τύπου μπαταρίες είναι πιο χρήσιμες για την παραγωγή ενέργειας σε απομονωμένες περιοχές. Για παράδειγμα, ορισμένα συστήματα έχουν εγκατασταθεί για την προμήθεια περιοχών με διάσπαρτα σπίτια, όπως στις περιοχές των νησιών της Σκωτίας και της Ουαλίας. Στην πρώτη περίπτωση, οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται κυρίως για τη ρύθμιση και την αύξηση της ποιότητας του ρεύματος (σταθερή και συνεχής τάση). Σε περίπτωση που προμηθεύουν τα νησιά, οι ηλεκτρομηχανολογικές μπαταρίες που χρησιμοποιούνται για να εξασφαλιστεί το μέγιστο της ενέργειας που καταναλώνεται το οποίο παράγεται από τα τοπικά αιολικά πάρκα, και να βελτιωθεί η ποιότητα της προσφοράς όταν η αιολική παραγωγή είναι στο κατώφλι της ζήτησης.

Υπεραγωγήμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας (SMES)

Υπεραγωγήμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας επιτυγχάνεται με την πρόκληση συνεχούς ρεύματος σε ένα πηνίο από υπεραγώγιμο και σχεδόν μηδενικής αντίστασης

καλώδιο, τα καλώδια αυτά δημιουργούνται συνήθως από νιοβιοτιτάνη (NbTi) νήματα και λειτουργούν σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία 270°C. Το ρεύμα αυξάνεται κατά τη φόρτιση και μειώνεται κατά τη διάρκεια της απαγωγής και πρέπει να μετατραπεί για εφαρμογές σε τάση AC ή DC.

Ένα πλεονέκτημα αυτού του συστήματος αποθήκευσης είναι μεγάλη στιγμιαία αποτελεσματικότητα του, περί του 95% για έναν κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης. Επιπλέον, αυτά τα συστήματα είναι ικανό να καταθλίβει το σύνολο σχεδόν της αποθηκευμένης ενέργειας, σε αντίθεση με τις μπαταρίες. Είναι πολύ χρήσιμο για εφαρμογές που απαιτούν συνεχή λειτουργία με ένα μεγάλο αριθμό των πλήρων κύκλων εκφόρτισης. Ο γρήγορος χρόνος απόκρισης (κάτω από 100 ms) των συστημάτων αυτών τα καθιστά ιδανικά για τη ρύθμιση της σταθερότητας του δικτύου (γραμμικό φορτίο). Σημαντικό μειονέκτημα τους είναι το σύστημα ψύξης το οποίο, ενώ δεν είναι ένα πρόβλημα από μόνο του είναι αρκετά δαπανηρό και κάνει τη λειτουργία εξαιρετικά περίπλοκη.

Αποθήκευση ενέργειας σε υπερπυκνωτές

Τα συστατικά αυτών των συστημάτων έχουν τα χαρακτηριστικά των πυκνωτών και ηλεκτροχημικών μπαταριών, αλλά δεν υπάρχει χημική αντίδραση, και για τον λόγο αυτό αυξάνεται σημαντικά η ικανότητα του κύκλου. Η αποθήκευση ενέργειας σε υπερ πυκνωτές γίνεται με τη μορφή ενός ηλεκτρικού πεδίου ανάμεσα σε δυο ηλεκτρόδια. Αυτή είναι η ίδια αρχή όπως εφαρμόζεται στους πυκνωτές εκτός από το ότι το μονωτικό υλικό αντικαθίσταται από ηλεκτρολύτη ιοντικού αγωγού στον οποίο μετακίνηση ιόντων γίνεται κατά μήκος ενός αγωγίμου ηλεκτροδίου με πολύ μεγάλη ειδική επιφάνεια.

Ωστόσο, αυτές οι τεχνολογίες αποθήκευσης αυξάνουν το ήδη υψηλό κόστος κεφαλαίου των ΑΠΕ και τις καθιστά λιγότερο ελκυστικές από οικονομική άποψη. Είναι γεγονός ότι η κίνηση της αγοράς για τις τεχνολογίες αποθήκευσης ΑΠΕ ήταν βραδύτερη από ό, τι αναμενόταν. Κύριοι λόγοι για αυτό το γεγονός είναι το υψηλό κόστος κεφαλαίου για τις εμπορικές τεχνολογίες αποθήκευσης, ο χώρος που απαιτείται για τέτοιες υποδομές, ενώ η απουσία ενός πλαισίου αποτίμησης για τις βοηθητικές υπηρεσίες αποθαρρύνει περαιτέρω επενδύσεις (Zafeirakis et al., 2013).

2.2.6 Εφαρμογές

Οι Viral & Khatod (2012), υποδεικνύουν ότι η εφαρμογή των τεχνολογιών DG διαμορφώνεται με βάση τις ειδικές ανάγκες του χρήστη. Κοινές εφαρμογές της DG είναι:

1. Φορτίο Βάσης: το σύστημα λειτουργεί παράλληλα με το δίκτυο διανομής. Μπορεί να πάρει ή να πωλήσει μέρος της ενέργειας και χρησιμοποιείται στο δίκτυο ως υποστήριξη και για την περίοδο συντήρησης. Το σύστημα λειτουργεί συνεχώς και μειώνει την κατανάλωση του ηλεκτρικού δικτύου.
2. Παροχή φορτίου αιχμής: χρησιμοποιείται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής, μειώνοντας έτσι μέγιστη ζήτηση των καταναλωτών δεδομένου ότι το κόστος της ενέργειας κατά την περίοδο αυτή είναι συνήθως το υψηλότερο.
3. Υποστήριξη δικτύου διανομής: μερικές φορές, σποραδικά ή σε τακτά χρονικά διαστήματα, η εταιρεία ηλεκτρισμού ή οι μεγάλοι πελάτες χρειάζονται ενίσχυση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενίσχυση γίνεται με την εγκατάσταση μικρών εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανομένου του υποσταθμού ηλεκτρικής ενέργειας, για την αποφυγή και την επίλυση συμφόρησης λόγω των υψηλών απαιτήσεων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές του έτους ή βλάβες του δικτύου.
4. Ποιότητα προσφοράς: εάν η ποιότητα της προσφοράς είναι κάτω από τις ανάγκες του πελάτη, η εφαρμογή αυτή παρέχει την απαιτούμενη ποιότητα και εξαλείφει τις διακυμάνσεις.
5. Αποθήκευση ενέργειας: η εναλλακτική αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως μια βιώσιμη εναλλακτική λύση όταν το κόστος της χρήσης της τεχνολογίας είναι μεταβλητό ή όταν διακοπές είναι συχνές και πάντα σε αντιδιαστολή με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Κατά την « stand-by » λειτουργία εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Βασικό χαρακτηριστικό είναι η λειτουργία μόνο κατά την διακοπή ρεύματος.

2.2.7 Οφέλη

Αξιοπιστία και ποιότητα ισχύος

Υπάρχουν πολλοί λόγοι που θα μπορούσαν να οδηγήσουν το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σε κατάρρευση. Αυτοί μπορεί να οφείλονται σε φυσικές καταστροφές, όπως πολύ ισχυρές καταιγίδες, πλημμύρες, πυρκαγιές φωτισμού απεργίες ή ακόμη και τρομοκρατικές ενέργειες (Lombardo, 2013). Σε αυτό το άρθρο ο συγγραφέας αναφέρει ότι «ένα σύστημα κατανεμημένης παραγωγής με μικροδίκτυα μπορούν να εντοπίσουν τον αντίκτυπο αυτών των αποτυχιών καθώς και τη μείωση του αριθμού των ατόμων που επηρεάζονται».

Ο Pepermans (2005) υποστήριξε ότι τα προβλήματα αξιοπιστίας αναφέρονται σε διακοπές στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συγγραφείς επισημαίνουν το γεγονός ότι η εξασφάλιση της προσφοράς είναι ένα ζήτημα υψηλής σημασίας για τη βιομηχανία και τις τηλεπικοινωνίες. Στην μελέτη της IEA (2002) εντοπίζονται δύο DG τεχνολογίες κατάλληλες για την πρόληψη διακοπές ρεύματος που είναι οι κυψέλες καυσίμου και εφεδρικά συστήματα σε συνδυασμό με συστήματα UPS.

Από την πλευρά του Ackermann (Ackermann et al., 2001), αναδεικνύεται το γεγονός ότι οι περισσότερες τεχνολογίες DG είναι αρθρωτά συστήματα (φωτοβολταϊκές γεννήτριες, οι κυψέλες καυσίμου, οι ανεμογεννήτριες, μπαταρία αποθήκευσης κ.λπ) σε σύγκριση με μεγάλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό είναι ένα συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι στις τεχνολογίες που βασίζονται σε μεγάλες μονάδες ισχύος, δεδομένου ότι στην περίπτωση αποτυχίας μιας μονάδας υπάρχουν δικλείδες ασφαλείας ώστε οι άλλες μονάδες δεν επηρεάζονται από αυτή τη συνολική επίδραση στην απόδοση ισχύος.

Από την άλλη πλευρά, ο Eto (όπως παρατίθενται στο Pepermans et al. 2005) αναφέρει ότι η ποιότητα αναφέρεται στο βαθμό στον οποίο τα χαρακτηριστικά ισχύος συντάσσονται με την ιδανική ημιτονοειδή τάση και το ρεύμα κυματομορφής, με ρεύμα τάση να βρίσκονται σε ισορροπία. Ανεπαρκούς ποιότητας ισχύς μπορεί να οδηγήσει σε πτώσης τάσης, διακοπές και υπερτάσεις.

Επιπλέον, σε αυτό το έγγραφο ο Pepermans αναφέρει τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί η DG να έχει για το δίκτυο διανομής.

Υποστήριξη δικτύου

Κατανεμημένη παραγωγή μπορεί να παρέχει βοηθητικές υπηρεσίες υποστήριξης. Αυτό μπορεί να είναι η ικανότητα να παράγει κατά εντολή σύμφωνα με τη ζήτηση του φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου, για παράδειγμα, να σταθεροποιήσει μια πτώση στην συχνότητα η οποία θα οφείλεται σε μια ξαφνική μείωση χωρητικότητας (π.χ. μια μονάδα παραγωγής χρειάζεται να σταματήσει λόγω τεχνικών προβλημάτων) ή λόγω αυξημένης ζήτηση. (Pepermans et al., 2005)

Επεκτασιμότητα

Όπως αναφέρεται παρακάτω, οι περισσότερες τεχνολογίες DG είναι συστήματα αρθρωτής μορφής. Οι τεχνολογίες αυτές είναι εύκολα επεκτάσιμες και αυτό κυρίως επιτυγχάνεται με την προσθήκη νέων μονάδων στο σύστημα.

Αναβάθμιση

Η αποτελεσματικότητα των τεχνολογιών DG, ιδίως αυτές που χρησιμοποιούν ως βάση τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αναμένεται να βελτιωθούν περαιτέρω τα επόμενα χρόνια. Αν και είναι πολύ δαπανηρό για έναν επενδυτή να αντικαταστήσει όλες τις μονάδες παραγωγής σε ένα στάδιο, σε μικρές- μεσαίου μεγέθους μονάδες κατανεμημένης παραγωγής είναι εφικτό να αναβαθμιστεί σταδιακά ο εξοπλισμός της μονάδας, χωρίς να γίνει μια σημαντική επένδυση.

Ποικιλία πηγών

Η κατανεμημένη παραγωγή μπορεί να βασίζεται σε μια ποικιλία πηγών ενέργειας, ανανεώσιμων ή συνδυασμού χρήσης συμβατικών καυσίμων και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η δυνατότητα ανεξάρτητης λειτουργίας.

Απόδοση

Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA, 2002) αναφέρει ότι κατά τη μεταφορά και τη διανομή (T & D) η μέση τιμή απωλειών είναι 6,8% (στις χώρες του ΟΟΣΑ). Επιπλέον, η Αμερικανική Αρχή Πληροφόρησης (US Energy Information Administration ,2014a) αναφέρει ότι το 6% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται χάνεται στη μετάδοση και τη διανομή. Η κατανεμημένη παραγωγή μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά αυτά τα ποσά τα οποία χάνονται, μειώνοντας την απόσταση που ταξιδεύει η ενέργεια.

Επίσης εφόσον υπάρχει ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, (ειδικά όταν εξασφαλίζεται σταθερή ζήτηση για θερμότητα) , η συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αυξήσει τη συνολική αποδοτικότητα του όλου συστήματος περίπου 10% - 30% σε σύγκριση με τις συμβατικές εφαρμογές. (Pepermans et al.,2005)

Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Η αύξηση της απόδοσης μπορεί να ερμηνευθεί ως μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, η παραγωγή ηλεκτρισμού από ανανεώσιμες πηγές εκπέμπει σημαντικά λιγότερες ποσότητες εκπομπών ισοδυνάμου του διοξειδίου του άνθρακα ανά κιλοβατώρα (CO₂ / kWh). Επίσης, τα ορυκτά καύσιμα θεωρούνται υπεύθυνα για την μόλυνση τον αέρα και των υδάτων και συνδέονται με πολλά προβλήματα υγείας.

Οικονομικοί παράγοντες

Επειδή η κατασκευή μεγάλων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι μια εξειδικευμένη αγορά, το κόστος τους είναι πολύ υψηλό. Με την εφαρμογή πολλών μικρότερων μονάδων μαζικής παραγωγής αυξάνεται ο ανταγωνισμός της αγορά με ότι θετικές συνέπειες μπορεί να επιφέρει αυτό (Lombardo, 2013).

Από την άλλη πλευρά, η νέα τάση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι η δυναμική τιμολόγηση (τιμολόγηση με βάση το χρόνο). Τα φορτία ηλεκτρικής ενέργειας το

καλοκαίρι είναι υψηλότερα λόγω των αυξημένων απαιτήσεων ψύξης, ενώ η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο McLarty (2015) τονίζει το γεγονός ότι, προκειμένου να ανταποκριθεί σε αυτές τις καθημερινές και εποχιακές τιμές κορυφής οι υπηρεσίες κοινής ωφελείας χρειάζονται υψηλότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγαλύτερη χωρητικότητα μετάδοσης. Επειδή η λειτουργία μονάδων για παροχή ρεύματος περιστασιακά, χαρακτηρίζεται από χαμηλή ενεργειακή απόδοση και αυξημένο κόστος συγκριτικά με τις γεννήτριες φορτίου βάσης το τελικό κόστος αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου αυξημένης ζήτησης. Για το λόγο αυτό επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας παρέχουν κίνητρα για τη μείωση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής με « άμεσες επιδοτήσεις, προγράμματα ανταπόκρισης στη ζήτηση, κ.α» (McLarty et al. 2015).

Σε γενικές γραμμές, οι υψηλότερες τιμές το καλοκαίρι βασίζονται στην ζήτηση της χρήσης ενέργειας (αιχμής). Πολλές από τις εταιρίες, προσφέρουν χρέωση με βάση την ώρα χρήσης (TOU), και με βάση ποσόστωσης σε εμπορικούς χρήστες, με διαφορετικά τιμολόγια κατά τη διάρκεια μιας ημέρας (κορυφή, εντός αιχμής, εκτός αιχμής).

Το έργο της Pacific Gas and Electric Company (PG & E, 2016), ένα από τα μεγαλύτερα έργα συνδυασμού φυσικού αερίου και ηλεκτρικής επιχειρήσεις σε εφαρμογή αρχής κοινής ωφέλειας στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η εταιρία είναι πρωτοπόρος στον τομέα της ενέργειας, προσφέρει πολλά ενεργειακά προϊόντα στους πελάτες της, τα οποία είτε βασίζονται σε επίπεδα χρήσης, (ανάλογα με την ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου η τιμή ανεβαίνει), είτε οι τιμολογήσεις βασίζονται σε ποσοστό της ώρας χρήσης. Η τιμολόγηση ποικίλλει ανάλογα με την περίοδο κατά την οποία η ενέργεια καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, της εβδομάδας και ανα εποχή.

Επιπλέον, το net metering συστήμα αποτελεί επιπρόσθετη επιλογή και είναι διαθέσιμο για τους πελάτες που παράγουν ενέργεια από ορισμένες ανανεώσιμες τεχνολογίες. Για αυτούς τους αυτοπαραγωγούς, είναι διαθέσιμα διάφορα κίνητρα σύμφωνα με την ανανεώσιμη τεχνολογία που χρησιμοποιούν, με τη μορφή είτε της αρχικής επιδότησης ή πληρωμής για την πραγματική ενέργεια που παράγεται.

Καταναμημένα συστήματα παραγωγής, σε συνδυασμό με την απάντηση ζήτησης και την αποθήκευση ενέργειας, επιτρέπουν ευέλικτη αντίδραση στις διακυμάνσεις των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας και στις εξελίξεις στον χρόνο, επιτυγχάνοντας μείωση του κόστους της ενέργειας (Ldonckx et al., 2005). Επιπλέον κάνοντας χρήση της καταναμημένης παραγωγής μειώνεται το κόστος μεταφοράς και διανομής της ενέργειας.

Ως εκ τούτου, όταν κάποιος αξιολογεί τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας της καταναμημένης παραγωγής, η ώρα χρήσης, η τιμολόγηση και οι μελλοντικές προβλέψεις του κόστους της ενέργειας, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ως βασικές παράμετροι αξιολόγησης.

2.2.8 Distributed Generation (DG) - Επιπτώσεις & Περιορισμοί

Οι περιορισμοί αυτοί απαριθμούνται ως κατωτέρω:

1. Αντίστροφη ροή ρεύματος: ως αποτέλεσμα της σύνδεσης DG στο σύστημα προκαλώντας δυσλειτουργίες των κυκλωμάτων προστασίας
2. Άεργου ισχύος: πολλές τεχνολογίες DG χρησιμοποιούν ασύγχρονες γεννήτριες που δεν παρέχουν άεργο ισχύ στο δίκτυο.
3. Συχνότητα του συστήματος: οι αποκλίσεις από την ονομαστική συχνότητα του συστήματος προκαλούν διακυμάνσεις μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Η αύξηση του ποσού της καταναμημένης παραγωγής επηρεάζει τη συχνότητα του συστήματος και οι γεννήτριες αυτές έχουν τη δυνατότητα να ενεργοποιούνται κατά εντολή του διαχειριστή για ενίσχυση και εναρμόνιση της τάσης.
4. Επίπεδα τάσης: η εγκατεστημένη καταναμημένη παραγωγή αλλάζει το προφίλ τάσης του δικτύου διανομής λόγω της μεταβολής των μεγεθών της ροής ισχύος. Συνήθως το προφίλ τάσης θα τείνει προς αύξηση, γεγονός που δεν αποτελεί πρόβλημα. Σε περιπτώσεις συμφόρησης των δικτύων με προβλήματα χαμηλής τάσης, θα παρατηρηθεί το αντίθετο φαινόμενο.
5. Συστήματα προστασίας: όπως έχει ήδη αναφερθεί, η πλειοψηφία των δικτύων διανομής είναι διαμορφωμένα σε ακτινική μορφή, και έχουν την μορφή

αποσπώμενων δακτυλίων. Αυτό δημιουργεί πρότυπα ροής μονής κατεύθυνσης, και για αυτόν τον λόγο το σύστημα προστασίας έχει σχεδιαστεί αναλόγως. Η εγκατάσταση της κατανεμημένης παραγωγής αλλάζει τη ροή σε αμφίδρομη, για αυτόν τον λόγο αναγκαστικά υπεισέρχεται στο σύστημα νέος εξοπλισμός ασφαλείας και αλλάζει το μέγεθος του δικτύου (γείωση, βραχυκυκλώματος, ικανότητα αποκοπής, συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και τηλεπαρακολούθησης (SCADA), κλπ.)

6. Προστασία έναντι της Νησιδοποίησης: Η νησιδοποίηση αποτελεί μια κατάσταση στην οποία ένα τμήμα του συστήματος λειτουργεί ως αυτόνομο σύστημα το οποίο περιέχει φορτίο και παραμένει ενεργοποιημένο ενώ είναι απομονωμένο ουσιαστικά από το υπόλοιπο του συστήματος. Μια κατανεμημένη μονάδα παραγωγής μπορεί να τροφοδοτήσει ένα βραχυκύκλωμα, δημιουργώντας έτσι την πιθανότητα πυρκαγιάς ή να ενεργοποιήσει ένα συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου το οποίο μπορεί να προκαλέσει κίνδυνο για τους εργαζόμενους οι οποίοι έρχονται σε επαφή με αυτό. Ένας τρόπος λύσης του φαινομένου είναι η τοποθέτηση προστατευτικού εξοπλισμού, όπως ρελέ (ηλεκτρονικό, μηχανικό, κα) και κατάλληλο διακοπτικό υλικό.

7. Έγχυση αρμονικών στο σύστημα από ασύγχρονες παραγωγικές πηγές που χρησιμοποιούν μετατροπείς για διασύνδεση.

8. Προβλήματα σταθερότητας. Αυξημένα σφάλματα ανάλογα με τη θέση της μονάδας κατανεμημένης παραγωγής.

9. Υψηλό οικονομικό κόστος/ kw : Βασικός λόγος για το σχετικά υψηλό κόστος είναι ότι οι τεχνολογίες αυτές δεν βρίσκονται σε πολύ ώριμο στάδιο.

10. Η ποιότητα του ρεύματος είναι ένα πρόβλημα με την εφαρμογή των ηλεκτρονικών ισχύος για τον έλεγχο των συστημάτων τεχνολογιών της αιολικής ενέργειας (Viral & Khatod, 2012).

2.3 Σχεδιασμός Συστήματος

Με στόχο να μεγιστοποιηθούν τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα της καταναμημένης παραγωγής, πρέπει να εξετασθούν πολλά ζητήματα που σχετίζονται με το σχεδιασμό και λειτουργικές πτυχές, όπως το θέμα της κατάλληλης τεχνολογίας για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή, την ικανότητα και πόσες μονάδες είναι βέλτιστο να χρησιμοποιηθούν, την ευελιξία και την μελλοντική επεκτασιμότητα του συστήματος, καθώς και την καλύτερη θέση και τον τύπο του δικτύου στο οποίο η καταναμημένη πηγή ενέργειας πρέπει να συνδεθεί, στην περίπτωση του καταναμημένου παραγωγικού συστήματος. Επιπλέον, ιδιαίτερα στην τελευταία περίπτωση, θα πρέπει να καθορίζεται θέματα που σχετίζονται με την πώληση της περίσσειας ενέργειας στο δίκτυο.

Ο καταναμημένος σχεδιασμός ενεργειακών πόρων είναι ένα πολύστοχο πρόβλημα και ως τέτοιο πρέπει να αντιμετωπιστεί. Οι στόχοι του μπορούν να είναι τεχνικοί, οικονομικοί, περιβαλλοντικοί, ή και κοινωνικοί και μερικές φορές μπορεί να συγκρούονται ο ένας τον άλλον.

Έτσι, όταν κάποιος εκτελεί ένα σχέδιο βελτιστοποίησης συστήματος καταναμημένης παραγωγής, θα πρέπει να συμβιβαστεί στις διαφορετικές προοπτικές του ίδιου προβλήματος, όπως αυτές του προγραμματιστής DER, του διαχειριστή του δικτύου διανομής (DSO) και του ρυθμιστή.

Από οικονομική άποψη, τα συμφέροντα του διαχειριστή συστήματος διανομής είναι να μειωθούν οι απώλειες της γραμμής και να αναβληθούν επενδύσεις που σχετίζονται με την ενίσχυση του δικτύου, ενώ από τη σκοπιά του τελικού χρήστη είναι υψίστης σημασίας η αξιοπιστία και η ποιότητα του ρεύματος.

Από την άλλη πλευρά, τα οικονομικά οφέλη του έργου DER τα οποία προέρχονται από τις πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας, επιδιώκονται κατά την μεγιστοποίηση του ποσού και της τιμής της ενέργειας. (Alarcon-Rodriguez et al., 2010).

Από κοινωνικής πλευράς, η ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε μείωση την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και, συνεπώς, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης ιδιαίτερα σε κοινότητες που ζουν κοντά σε μεγάλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, η επίπτωση της κατανεμημένης παραγωγής στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος, όπως η συχνότητα, άεργος ισχύς, προφίλ τάσης, ηλεκτρικές απώλειες, η σταθερότητα και η αξιοπιστία θα πρέπει να θεωρούνται από τους σχεδιαστές ως τα βασικά στοιχεία σχεδιασμού του συστήματος. Οι Viral & Khatod. (2012) και Alarcon-Rodriguez κ.α. (2010), τονίζουν τη σημασία της σωστής τοποθέτησης DER. Εάν η κατανεμημένη παραγωγή δεν συμπίπτει με τη ζήτηση ή την ικανότητα του DER είναι μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα του δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένο, μπορεί να εμφανιστούν αρνητικές συνέπειες. Αντίστροφη ροή ισχύος σε ένα δίκτυο που έχουν σχεδιαστεί για μονόδρομη ροή ηλεκτρικής ενέργειας (από την υψηλότερη προς χαμηλότερες τάσεις), όπως επίσης και αυξημένα επίπεδα τάσης και της γραμμής απώλειες, θα μπορούσαν να είναι τα αποτελέσματα των εν λόγω καταστάσεων.

Σύμφωνα με τους Alarcon & Rodriguez κ.α. (2010), υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για τη διαχείριση του δικτύου: "μνημονικό" και το "Ενεργής Διαχείρισης Δικτύου (ANM)". Και τα δύο προϋποθέτουν βέλτιστη ενσωμάτωση των DER στο σύστημα. Όσον αφορά την εφαρμογή του μνημονικού συστήματος διαχείρισης, η βέλτιστη θέση είναι πιο σημαντική, δεδομένου ότι υποτίθεται ότι όλα τα προβλήματα να λυθούν στο στάδιο του σχεδιασμού.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω ζητήματα και να βρεθεί η βέλτιστη λύση για κάθε εφαρμογή, διάφορες τεχνικές -μεθοδολογίες έχουν αναπτυχθεί. Οι κύριες προσεγγίσεις που εξετάστηκαν σε βάθος από τους Viral και Khatod, (2012) με βάση τον περιορισμό τοποθέτησης των μονάδων DG, είναι οι παρακάτω:

- Οι αναλυτικές προσεγγίσεις.
- Οι προσεγγίσεις «metaheuristics».
- Οι προσεγγίσεις τεχνητής νοημοσύνης.

- Οι υβριδικές προσεγγίσεις γενετικού αλγόριθμου (GA).
- Άλλες προσεγγίσεις.

Οι Alarcon-Rodriguez et al. (2010), εκφράζουν το πρόβλημα σχεδιασμού DER ως «*τη δομημένη διαδικασία βελτιστοποίησης του τύπου, του μέγεθος ή/ και της θέσης του συστήματος, προκειμένου να επιτευχθεί ένα σύνολο στόχων και υπόκειται σε ένα σύνολο περιορισμών*» και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι «*είναι ένα μη-κυρτό συνδυαστικό πρόβλημα, με διάφορα τοπικά βέλτιστα, και μία παγκόσμια βέλτιστη λύση*».

Λόγω της πολυπλοκότητας του προβλήματος βελτιστοποίησης, οι συγγραφείς, προτείνουν δύο κύριες προσεγγίσεις για την αντιμετώπισή του. Η πρώτη, κάνει υποθέσεις έτσι ώστε να απλοποιηθεί το πρόβλημα. Η δεύτερη προσεγγίζει την ευρετική τεχνική βελτιστοποίησης, όπου γίνονται χρήσεις Εξελικτικών Αλγόριθμων (EA), επειδή είναι κατάλληλοι για την επίλυση μη-κυρτών- συνδυαστικών προβλημάτων. Και οι δύο από αυτούς, μπορούν να εξετάσουν μόνο κατά προσέγγιση την παγκόσμια βέλτιστη λύση.

Επιπλέον, οι συγγραφείς υπογραμμίζουν πόσο δύσκολο είναι να προσεγγιστεί το πραγματικό πρόβλημα. Όσο πιο ακριβείς είναι οι μέθοδοι βελτιστοποίησης και όσο πιο ρεαλιστικό είναι το μοντέλο DER τόσο περισσότερες πραγματικές λύσεις σε πραγματικά προβλήματα είναι δυνατό να ευρεθούν. Η αλληλεπίδραση των стоχαστικών συστημάτων κατανεμημένης παραγωγής και ζήτησης, θα μπορούσε να αξιολογηθεί επαρκώς, χρησιμοποιώντας μεθόδους αξιολόγησης, όπως η πιθανολογική ροής φορτίου ή στοχαστική προσομοίωση. Τα αποτελέσματα είναι πιο ακριβής, όταν εφαρμόζουν την ενεργό διαχείριση τόσο από την πλευρά του DER όσο και από την πλευρά του δικτύου.

Ορισμένες μέθοδοι σχεδιασμού DER έχουν επικεντρωθεί σε ενιαίους στόχους τη βελτιστοποίηση, την ελαχιστοποίηση των απωλειών της γραμμής ή την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους. Αυτοί οι στόχοι εξετάζονται είτε από την πλευρά του προγραμματιστή DER, ή από τη σκοπιά του DSO. Κάποιοι άλλοι, μελετούν την βέλτιστη ικανότητα παραγωγής που θα μπορούσε να συνδέεται με προκαθορισμένες τοποθεσίες.

Όπως προαναφέρθηκε, ο προγραμματισμός και σχεδιασμός DER είναι ένα πολύπλοκο πρόβλημα με πολλούς στόχους που όπως φαίνεται διαφέρουν ως προς τη φύση τους. Έτσι, ο αρμόδιος σχεδιαστής του DER πρέπει να συμβιβάσει τους στόχους και τις προοπτικές των διαφόρων ενδιαφερομένων μερών στη ανάπτυξη του συστήματος καταναμημένης παραγωγής.

Η πολυαντικειμενική ανάλυση του DER βοηθά τους ιθύνοντες να αποκτήσουν μια ολοκληρωμένη εικόνα αυτού του πολυδιάστατου προβλήματος και να προχωρήσουν στην αξιολόγηση των δυνητικών οφελών και των επιπτώσεων της καταναμημένης παραγωγής από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Προσδοκώμενο αποτέλεσμα είναι μια αμοιβαία αποδεκτή λύση, επωφελή για όλους τους ενδιαφερόμενους.

Επιπλέον, μια πολυ-αντικειμενική ανάλυση θα μπορούσε να βοηθήσει τους φορείς χάραξης πολιτικής να προγραμματίσουν κίνητρα, προκειμένου να ενθαρρυνθούν συγκεκριμένες εξελίξεις DER σε κατάλληλες θέσεις για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων.

Σε γενικές γραμμές, ένα πολυστόχο πρόβλημα έχει πολλές βέλτιστες λύσεις. Για το λόγο αυτό, κάποιος πρέπει να αναγνωρίσει ποιες λύσεις κυριαρχούν πάνω από τις άλλες ή ποιες είναι οι λύσεις που δεν κυριαρχούν, (Deb K, όπως αναφέρθηκε από Alarcon-Rodriguez et al. 2010). Αυτό το σύνολο των μη κυριαρχούμενων λύσεων είναι επίσης γνωστό ως σύνολο Pareto. Οι Alarcon-Rodriguez (2010) αναφέρουν ότι για να ανήκει μια λύση στο σύνολο Pareto, θα πρέπει να υπάρχει χώρος για βελτιώσεις σε ένα στόχο χωρίς να επηρεάζει αρνητικά τις άλλες λύσεις.

Οι συγγραφείς, αναφέρουν δύο προσεγγίσεις για την εξεύρεση μιας ενιαίας λύσης ενός πολυστόχου προβλήματος. Η πρώτη ονομάζεται "a priori", είναι κατάλληλη, όταν οι λεπτομερείς πληροφορίες προτίμησης είναι γνωστές εκ των προτέρων. Σε αυτή την προσέγγιση, η λήψη αποφάσεων προηγείται της προόδου βελτιστοποίησης. Όλοι οι στόχοι λαμβάνουν χώρα σε μια ενιαία αντικειμενική διαδικασία βελτιστοποίησης, όπως η μέθοδος σταθμισμένου αθροίσματος. Σε αντίθετη περίπτωση, ο πιο σημαντικός στόχος καθορίζεται και βελτιστοποιείται και οι άλλοι θεωρούνται ως περιορισμοί.

Από την άλλη πλευρά, μια διαδικασία πολλαπλών στόχων βελτιστοποίησης ονομάζεται "εκ των υστέρων" και μπορεί να δώσει πολλές λύσεις, τα λεγόμενα «σημεία Pareto», λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές πτυχές του προβλήματος και την εξεύρεση συμβιβασμών μεταξύ των ασυμβίβαστων στόχων. Σε αυτή την προσέγγιση, η λήψη αποφάσεων ακολουθεί την πολυαντικειμενική διαδικασία βελτιστοποίησης, την αξιολόγηση των πιθανών λύσεων και τη σύναψη με την προτιμότερη. Το Σχήμα 2-6 απεικονίζει αυτές τις δύο διαφορετικές προσεγγίσεις.

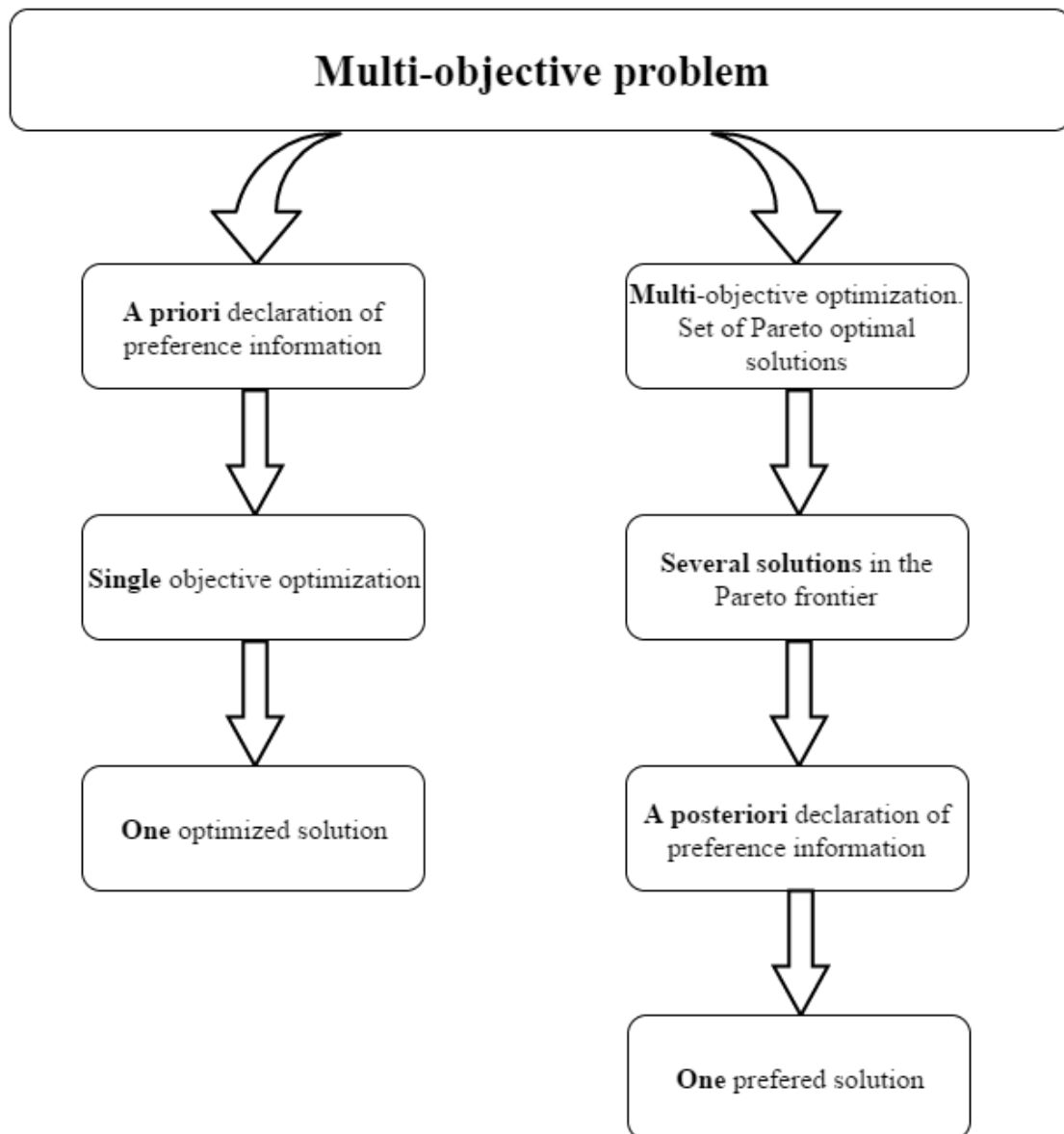
Μερικοί συγγραφείς που αναφέρονται στο παρόν έγγραφο, φαίνεται να προτιμούν την δεύτερη προσέγγιση για την επίλυση πολλαπλών αντικειμενικών προβλημάτων, επειδή είναι πιο μεθοδολογική, ακριβής, πρακτική και ρεαλιστική, καθώς προσφέρει περισσότερες εναλλακτικές λύσεις για τη λήψη αποφάσεων (Deb, 2001, Savits, 2007, Zitzler 2007 όπως παραθέτονται από Alarcon-Rodriguez et al., 2010).

Σύμφωνα με τον Ded, όπως τον παραθέτουμε από τους Alarcon-Rodriguez (2010), οι διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εύρεση πολλαπλών λύσεων στα σύνορα Pareto, μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες.

Η «κλασική προσέγγιση» για την πολυπαραμετρική βελτιστοποίηση κάνει χρήση των τεχνικών μονού στόχου (οι πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά είναι εκ των προτέρων γνωστές).

Οι πλέον κοινές μέθοδοι είναι η μέθοδος σταθμισμένου αθροίσματος και η ε περιορισμένη μέθοδος. Ένας αριθμός συνολικών λύσεων Pareto μπορεί να παρουσιαστούν με την αλλαγή, είτε των σταθμισμένων παραγόντων του στόχου ή του κύριου στόχο, αντίστοιχα. Αυτό μέθοδοι προσέγγισης μπορεί να είναι χρήσιμο όταν κάποιος μελετά ο οποίος μελετά το πρόβλημα βελτιστοποίησης DER, έχει μια βαθιά γνώση της προτιμώμενης πληροφορίες εκ των προτέρων.

Παρά το γεγονός ότι, όταν ένας μεγάλος αριθμός στόχων είναι διαθέσιμος οι δύο μέθοδοι είναι πολύ χρονοβόροι. Επιπλέον, η μέθοδος σταθμισμένου ποσού δεν μπορεί να αντιμετωπίσει τα μη-κυρτά μέτωπα Pareto.



Σχήμα 2-6. Ευρεση μοναδικής λύσης για ένα πολυπαραγοντικό πρόβλημα, **Πηγή: Alarcon, 2010**

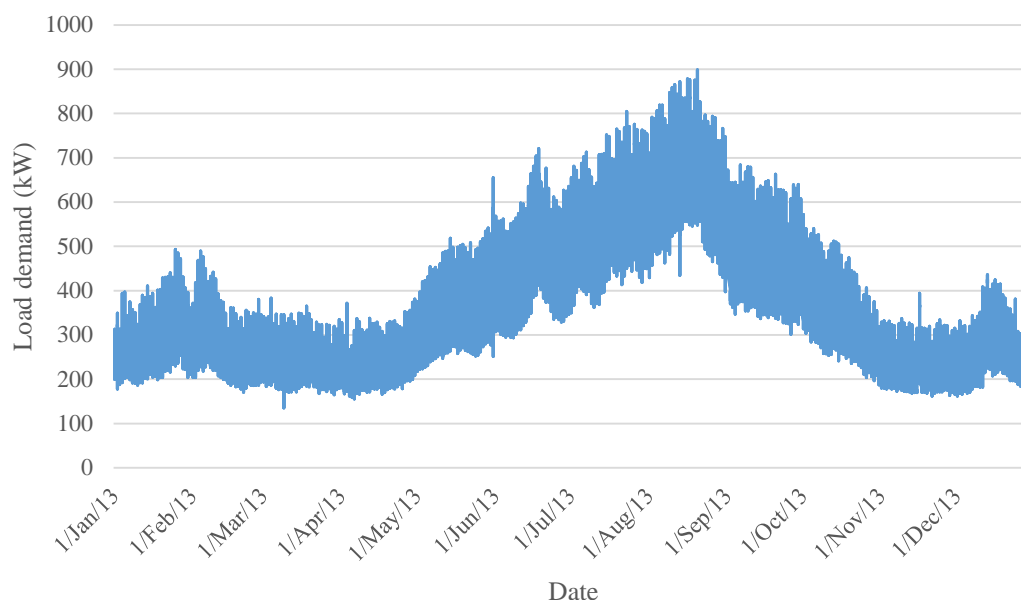
Κατά αντιδιαστολή, ευρετικές τεχνικές βελτιστοποίησης, όπως Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (EA), μπορεί να χειριστούν διάφορες πιθανές λύσεις ταυτόχρονα. Όπως φαίνεται είναι ιδανικές μέθοδοι για την αντιμετώπιση των προβλημάτων πολλαπλών στόχων, ιδιαίτερα όταν πρέπει να λαμβάνουν υπόψη πολλούς εξωγενείς παράγοντες. Πολλαπλών Στόχων Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (MOEA) χρησιμοποιούνται για πολλά χρόνια. Επί του παρόντος, χρησιμοποιείται η δεύτερη γενιά MOEA, ενώ οι συγγραφείς αναφέρουν την πιο δημοφιλή από αυτά να είναι ο Γενετικός Αλγόριθμος μη βραχυκύκλωσης II (NSCA-II) και η δύναμη του Pareto ή Εξελικτικός Αλγόριθμος 2 (SPEA2).

2.4 Διερεύνηση πηγών δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μελέτη, βασίζονται είτε σε εκτιμήσεις ή μετρήσεις που έχουν γίνει για αυτό ανάγκες του έργου. Χάρη στο έργο ΤΗΛΟΣ του Δρ. Γιώργου Ξύδη (προσωπική επικοινωνία Αύγουστος 2015) ο οποίος μοιράστηκε μαζί μου μερικά από αυτά τα στοιχεία, ένα ρεαλιστικό μοντέλο του προφίλ ζήτησης τόσο της Τήλου όσο και του συγκροτήματος των εννέα διασυνδεδεμένων νησιών.

Στα παρακάτω Σχήματα 2-7, 2-8, απεικονίζονται τα ετήσια προφίλ ζήτησης τόσο για την Τήλο όσο και για ολόκληρο το συγκρότημα εννέα νησιά που βρίσκονται ισχύ από το πλέγμα Κω - Καλύμνου, σε ωριαία βάση.

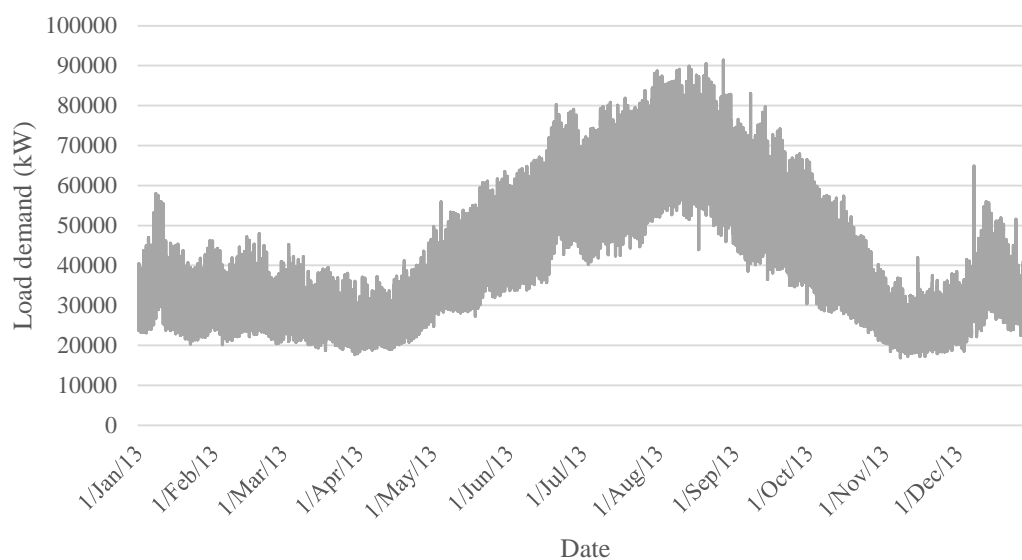
Το προφίλ του φορτίου της Τήλου είναι μια από τις βασικές εισόδους του DER-CAM. Το DER-CAM θεωρεί τη ζήτηση φορτίου ως ωριαία μέση τιμή ανά μήνα, που ορίζεται πάνω από τρεις τύπους ημέρας: ημέρες την εβδομάδα, τις ημέρες του Σαββατοκύριακου και ημέρες αιχμής.



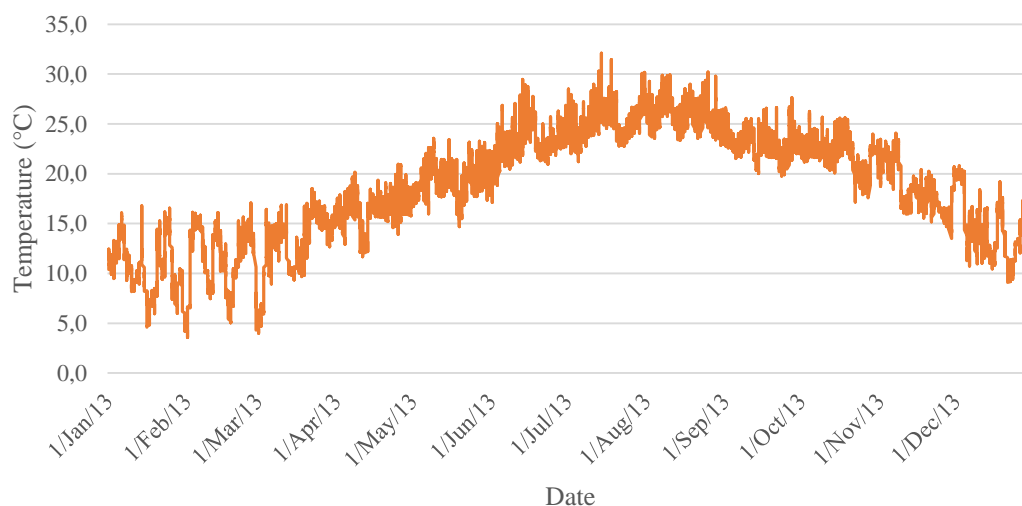
Σχήμα 2-7. Ενεργειακό Προφίλ Τήλου (2013) Πηγή: Γιώργος Ξύδης, 2016

Το προφίλ φορτίου για όλο το συγκρότημα των νησιών μέρος της οποίας είναι η άνω του ενός, θα μας βοηθήσει να αποκτήσουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα του τοπικού

δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας στο σύνολό της. Αυτό χρησιμοποιείται για τη δημιουργία χρονικών ζωνών κατά τη διάρκεια μιας ημέρας και δίνεται έτσι η δυνατότητα της αποτύπωσης του χρόνου ανά ποσοστά χρήσης. Οι χρονικές ζώνες που ορίζονται από τις τρεις κατηγορίες είναι: κορυφή, μέσες ώρες αιχμής και εκτός των ωρών αιχμής.



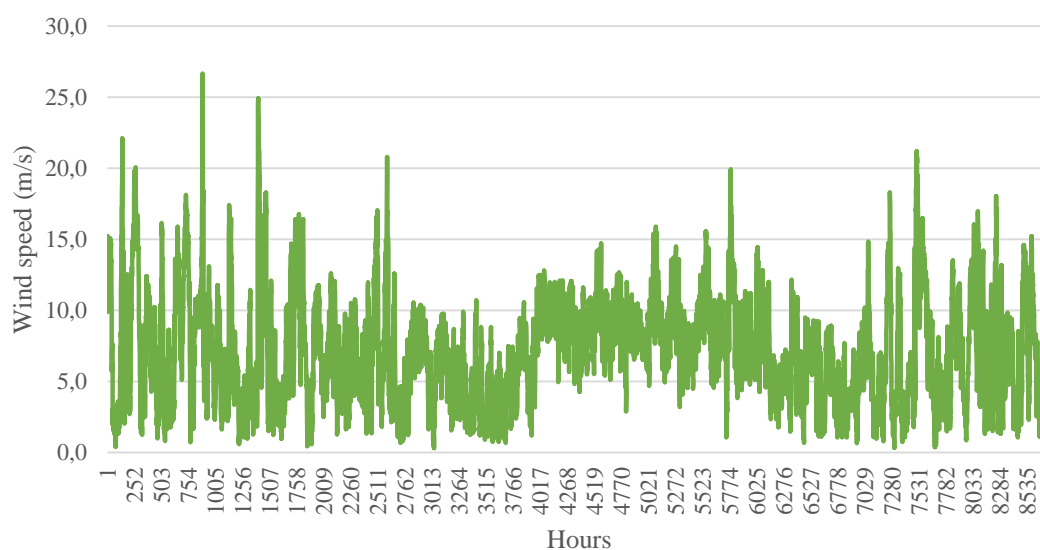
Σχήμα 2-8. Προφίλ φορτίου για το σύμπλεγμα των 9 νήσων. Πηγή: Γιώργος Ξύδης, 2016



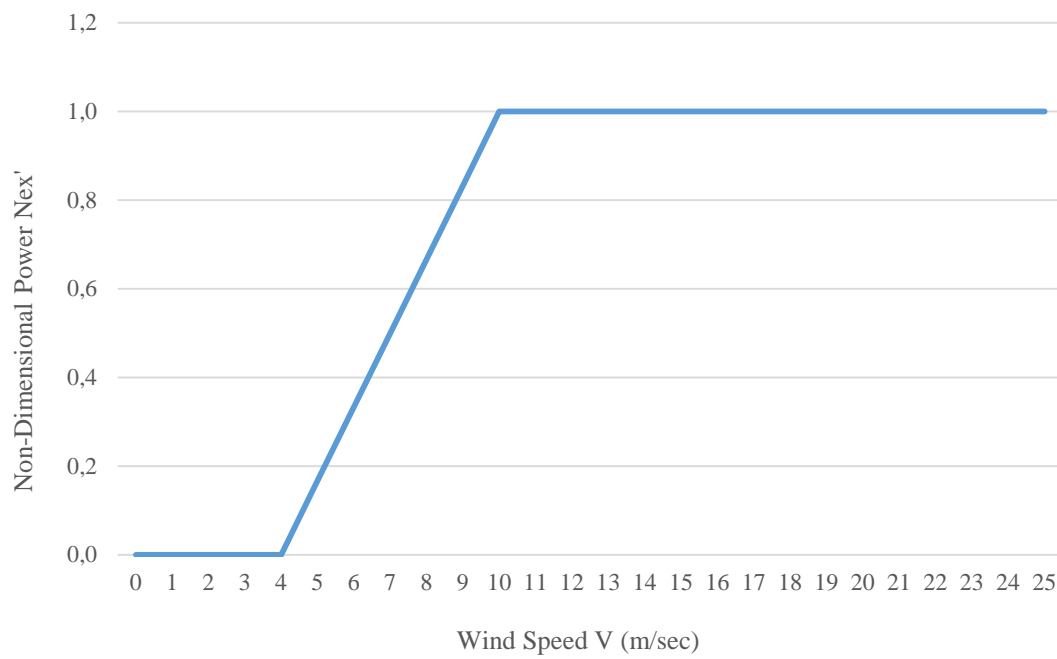
Σχήμα 2-9. Ετήσιες ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες , περιοχή Τήλου (2013). Πηγή: Γιώργος Ξύδης, 2016

Το ηλιακό δυναμικό χρησιμοποιείται ως είσοδος για τον υπολογισμό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά πάνελ.

Ένας ιστός μέτρησης του ανέμου έχει εγκατασταθεί στην Τήλο, ώστε να μετρηθεί τοπικά το αιολικό δυναμικό. Παρά το γεγονός ότι, οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα ως είσοδος του DER-CAM, τα δυναμικά χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θεωρητικής ισχύος εξόδου χρησιμοποιώντας την τυπική καμπύλη ισχύος, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-11.

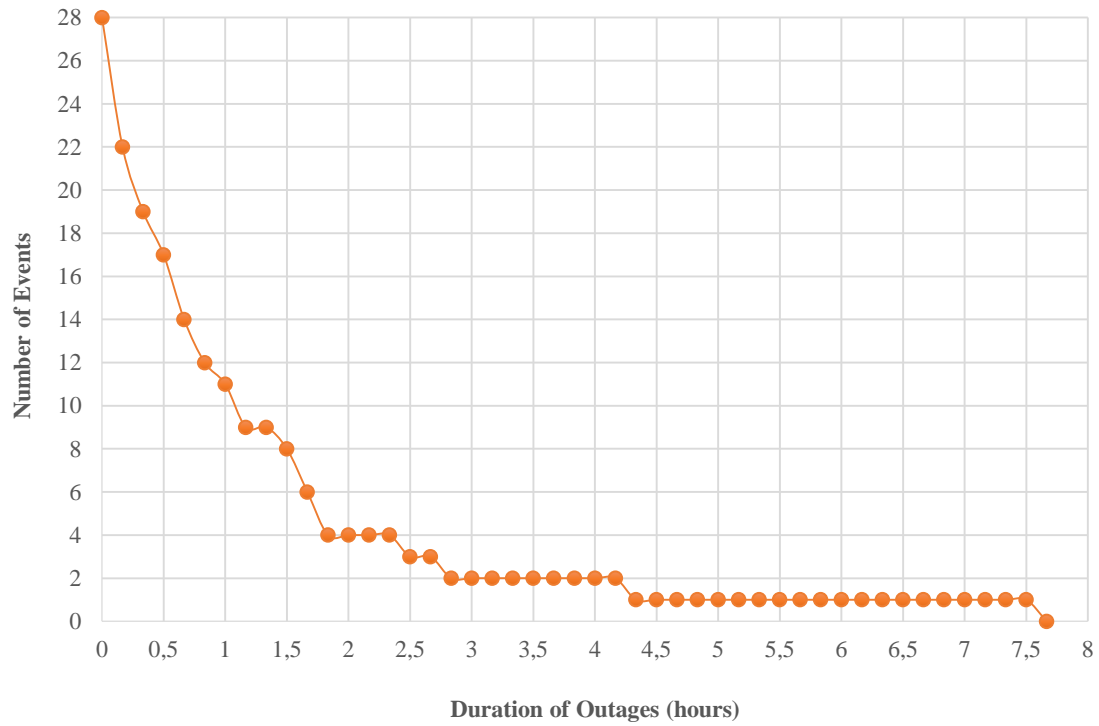


Σχήμα 2-10. Μετρήσεις αιολικού δυναμικού για το νησί της Τήλου (2013). **Πηγή:** Γιώργος Εύδης, 2016



Σχήμα 2-11. Τυπική μη γραμμική καμπύλη απόδοσης A/Γ

Ο αριθμός και η διάρκεια των διακοπών και εξόδων από το δίκτυο μπορεί να μοντελοποιηθεί με χρήση του προγράμματος και να αναχθεί στις αντίστοιχες μέρες (μέρες κινδύνου).



Σχήμα 2-12. Καμπύλη διάρκειας γεγονότων διακοπών τροφοδοσίας για το νησί της Τήλου (4/4/2015 έως 17/12/2015)

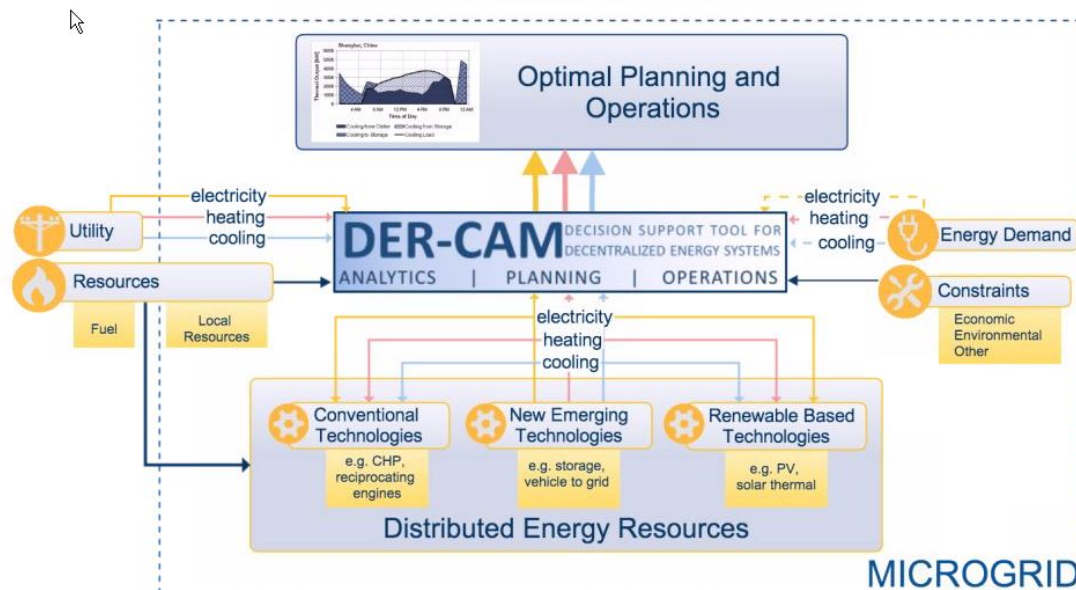
2.5 Τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν

Στην ενότητα που ακολουθεί γίνεται ανάλυση της τεχνικής που χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση του προβλήματος και την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

2.5.1 DER-CAM

Εισαγωγή

Το Berkeley Lab Lawrence στην Καλιφόρνια, έχει αναπτύξει εδώ και πολλά χρόνια ένα ολοκληρωμένο μοντέλο για αποκεντρωμένα ενεργειακά συστήματα. Το DER-CAM είναι ένα εργαλείο στήριξης για τους πολεοδόμους και τους φορείς λήψης αποφάσεων που ασχολούνται με την ανάπτυξη συστημάτων DER (καταναεμημένης παραγωγής ενέργειας) σε κτίρια και μικροδίκτυα που εξάγει στοιχεία για τους επενδυτές καθώς και τεχνικά αποτελέσματα της εξομοίωσης του συστήματος. Τα προβλήματα της βελτιστοποίησης του συστήματος DER αντιμετωπίζονται με χρήση του DER-CAM διαμορφώνοντας το ερευνητικό αντικείμενο ως ένα μεικτό ακέραιο γραμμικό πρόγραμμα (MILP) που βρίσκει τη βέλτιστη επένδυση ελαχιστοποιώντας παράλληλα το συνολικό κόστος της ενέργειας, τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Επίσης προχωράει στην εύρεση ενός σταθμισμένου στόχου σε δεδομένη θέση, ενώ εξετάζει επίσης στρατηγικές, όπως το φορτίο μετατόπισης και την σχέση ζήτησης-απόκρισης.



Σχήμα 0-1. Δομή του DER-CAM , Πηγή: LBLN (Lawrence Berkeley National Laboratory), 2016

Στόχοι

Ο στόχος του μοντέλου είναι να ελαχιστοποιηθεί το κόστος λειτουργίας στις εγκαταστάσεις παραγωγής και στα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ), είτε για μεμονωμένες εγκαταστάσεις πελατών ή διάταξη (μικροδικτύου) μGrid. Με άλλα λόγια, το επίκεντρο αυτής της εργασίας είναι πρωτίστως η βέλτιστη εναλλακτική οικονομική λύση . (LBLN, 2016)

Ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν

Για την επίτευξη αυτού του στόχου, θα πρέπει να εξετασθούν τα ακόλουθα ζητήματα:

- Τη σχέση κόστους-βέλτιστη διαμόρφωσης των τεχνολογιών καταμεμημένης παραγωγής που ένας συγκεκριμένος πελάτης μπορεί να εγκαταστήσει.
- Το κατάλληλο επίπεδο εγκατεστημένης ισχύος αυτών των τεχνολογιών που ελαχιστοποιεί το κόστος;
- Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας για συγκεκριμένη εγκατεστημένη παραγωγική ικανότητα, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η συνολική ενέργεια του πελάτη στον λογαριασμό ρεύματος;

Είσοδοι- Δεδομένα

- Προφίλ ενέργειας, τελικής χρήσης φορτίου του πελάτη (θέρμανση χώρου, ζεστού νερού, φυσικού αερίου, ψύξη και ηλεκτρική ενέργεια μόνο, κ.α)
- Δασμολογικά χαρακτηριστικά στον πελάτη, οι τιμές του φυσικού αερίου, καθώς και άλλα συναφή στοιχεία για τις τιμές εξόδων
 - Κεφαλαίο επένδυσης, κόστος λειτουργίας και συντήρησης (O&M), καύσιμα των διαφόρων διαθέσιμων τεχνολογιών σε συνδυασμό με το επιτόκιο της επένδυσης των πελατών
- Βασικά χαρακτηριστικά των εναλλακτικών μορφών παραγωγής, ανάκτησης θερμότητας και τεχνολογιών ψύξης, συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτροθερμικού λόγου που καθορίζει το ποσό υπολειμματικής θερμότητας η οποία είναι διαθέσιμη για αξιοποίηση ως μια συνάρτηση της ηλεκτρικής παραγωγής (εξόδου)

Εξοδοι προβλήματος

- Αριθμός και Ονομαστική ισχύς των DG και CHP μονάδων ή ο συνδυασμός των τεχνολογιών που θα εγκατασταθεί
- Ποσότητα και κατανομή εγκατεστημένης ισχύος η οποία θα βρίσκεται σε λειτουργία (βέλτιστη λειτουργία κατά αποκοπή για κάλυψη ζήτησης)
- Συνολικό κόστος παροχής των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων.

Παραδοχές

- Οι αποφάσεις των πελατών γίνονται με βάση μόνο τα άμεσα οικονομικά κριτήρια. Με άλλα λόγια, το μόνο δυνατό όφελος είναι η μείωση του λογαριασμού ηλεκτρικού ρεύματος του πελάτη
- Θεωρείται μη επιδείνωση της παραγωγής ή της αποτελεσματικότητας κατά τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού. Επιπλέον, οι περίοδοι εκκίνησης και άλλες περίοδοι αναδιάταξης δεν περιλαμβάνονται
- Τα οφέλη αξιοπιστίας και ποιότητας ισχύος, καθώς και οικονομίες κλίμακας στον τομέα λειτουργίας και συντήρησης για πολλαπλές μονάδες της ίδιας τεχνολογίας δεν λαμβάνονται άμεσα υπόψη.

• Δεν θεωρούνται βελτιώσεις αξιοπιστίας ή στην ποιότητα του ρεύματος που προκύπτουν για τους πελάτες.

Σε αυτό το έργο, το πολύπλευρο πρόβλημα της βελτιστοποίησης του συστήματος βασίζεται σε ΑΠΕ και προσεγγίζεται από διαφορετικές οπτικές γωνίες.

Από τη σκοπιά του προγραμματιστή του συστήματος DER ο κύριος στόχος είναι σαφώς το οικονομικό αποτέλεσμα και για τον λόγο αυτό επιδιώκεται να μεγιστοποιηθεί το ποσό και η τιμή της ενέργειας η οποία πωλείται.

Επίσης, από οικονομική άποψη, ο DSO ενδιαφέρεται για τη μείωση των απωλειών γραμμής και την αναβολή των επενδύσεων που σχετίζονται με την ενίσχυση του δικτύου.

Από την άλλη πλευρά, από την πλευρά των τοπικών κοινωνιών, οι ποσότητες της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και συνεπώς, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με μελλοντικό στόχο τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης. Επίσης, η ποιότητα του ρεύματος, καθώς και το επίπεδο της αυτονομίας, σε περίπτωση μακροχρόνιων διακοπών ηλεκτροδότησης, αποτελούν βασικά ζητήματα για τους νησιώτες.

Το DER-CAM χρησιμοποιεί την κλασική προσέγγιση για την πολύπλευρη ανάλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης, κάνοντας χρήση τεχνικών μονού-στόχου, υιοθετώντας τη σκοπιά του τελικού χρήστη.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι συνδυασμοί των δύο μεθόδων του σταθμικού αθροίσματος κατά την εκτέλεση της πολλαπλών -στόχων βελτιστοποίησης και την περιορισμένη μέθοδο κατά την εκτέλεση προσδιορισμών των μονών-στόχων, όπως το κόστος ή βελτιστοποίηση αποτελεσμάτων μείωσης CO₂, όπως αυτές περιγράφονται προηγουμένως. Με την αλλαγή των σταθμισμένων παραγόντων των στόχων ή του κυρίου στόχου, λαμβάνονται οι λύσεις του προβλήματος.

Περαιτέρω Παραδοχές

Όπως προαναφέρθηκε, διερευνάται η δυνατότητα αντικατάστασης των υφιστάμενων αυτόνομων σταθμών παραγωγής ενέργειας με αυτά βασιζόμενα σε ΑΠΕ μαζί με τις κατάλληλες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Ο τελικός στόχος αυτής της μελέτης είναι η εύρεση καλύτερη λύση για κάθε φορέα ξεχωριστά, και στη συνέχεια να καταλήξουμε σε μια συμβιβαστική λύση, επωφελή για όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη (win-win λύση).

Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας, το νησί της Τήλου θεωρείται ως ένα μικρό-δίκτυο (microgrid) με ενεργοποιημένες τις δυνατότητες ενεργούς διαχείρισης τόσο για το καταναμημένης παραγωγής όσο και για το καταναμημένης διανομής δίκτυο. Σκοπός η επίτευξη απόσπασης και ελέγχου των φορτίων από την πηγή και κατά την διανομή και απορρόφηση.

Δεδομένου ότι, η ανάπτυξη νέων DER, μπορεί να έχουν οικονομικό ενδιαφέρον μόνο από τη σκοπιά του Διαχειριστή του Δικτύου ή του επενδυτή, καθώς το υπάρχον κεφάλαιο (υπάρχοντα OPEX) θεωρείται οριακό σε σχέση με το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται στον τελικό χρήστη (συμπεριλαμβανομένης της διανομής και το σχετικό κόστος του CO₂). Έτσι, τα οικονομικά οφέλη για την DSO προέρχονται από την μείωση του κόστους που θα είχε εφαρμοστεί στην περίπτωση της μηδενικής λύσης, καθώς και τη διατήρηση του κεφαλαίου που διαφορετικά θα έπρεπε να δαπανήσει για την ενίσχυση του δικτύου. Όσον αφορά τον επενδυτή DER, υποτίθεται ότι το οικονομικό σενάριο είναι να μπορούν να πωλεί ηλεκτρική ενέργεια βάση σύναψης συμβάσεων Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας (PX).

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτή τη μελέτη, δεν λαμβάνονται υπόψη το κέρδος από τη διατήρηση του κεφαλαίου ή άλλα πρόσθετα οφέλη για τον χειριστή.

2.5.2 Διαδικασία

Αρχικά, η υφιστάμενη κατάσταση ορίζεται, προκειμένου να διαπιστωθεί το κόστος αναφοράς και οι εκπομπές CO₂. Στην συνέχεια αποτυπώνεται η ζήτηση φορτίου με

τη μορφή του ωριαίου προφίλ φορτίου ανά μήνα, για τρεις διαφορετικούς τύπους (εβδομάδας, Σαββατοκύριακο και φορτίο κορυφής). Τα φορτία μπορεί να οριστούν ως εξής: μόνο ηλεκτροπαραγωγής, ηλεκτρικό και ψύξη, ηλεκτρική ψύξη, θέρμανση χώρου, θέρμανση νερού και φυσικού αερίου. Σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης της Τήλου, το φορτίο για ηλεκτρικό και ψύξη και ηλεκτρικά φορτία ψύξης θεωρείται ως φορτία μόνο ηλεκτροπαραγωγής, επειδή δεν είναι διαθέσιμες λεπτομερείς πληροφορίες.

Στη συνέχεια, ορίζονται οι πληροφορίες χρησιμότητας όσον αφορά τα τιμολόγια την ηλεκτρικής ενέργειας.

Δεδομένου ότι το μοντέλο DER-CAM είναι ένα μοντέλο υποστήριξης του πελάτη, δεν υπάρχει ειδικό τμήμα προκειμένου να καθοριστεί το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, το οριακό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ολόκληρο συγκρότημα των 9 νησιών, συν το κόστος αγοράς δικαιωμάτων CO₂, ορίζονται ως ποσοστά κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας και εισάγονται στο αντίστοιχο πεδίο.

Προκειμένου να ληφθεί εκ των προτέρων υπόψη η βέλτιστη απόσπαση και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να εξαχθεί το οριακό κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι φόροι CO₂ περιλαμβάνονται και οι τιμές έχουν μετατραπεί σε TOU τιμές χρόνου χρήσης. Οι κατηγορίες επίσης ορίζονται σε εποχική βάση και είναι: κορυφή, μέσες ώρες αιχμής και ώρες εκτός αιχμής.

Ο ορισμός των ζωνών σύμφωνα με το οποίο σχηματίζονται οι παραπάνω κατηγορίες, έγινε μετά από ανάλυση του προφίλ ζήτησης του φορτίου σε ολόκληρο το συγκρότημα από 9 νησιά. Το κόστος ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και η αμοιβή κοινής ωφέλειας (σε μηνιαία βάση) δεν συμπεριλαμβάνονται.

Τόσο οι εκπομπές CO₂ και τα οριακά στοιχεία για το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, υπολογίζονται από τον Δρ Ξύδη (προσωπική επικοινωνία, Απρίλιος 2016).

Το κόστος μονάδων εκπομπών ανέρχεται σε 4€/tn CO_{2equivalent} (PAE, 2013) -ανα μονάδα EUA.

Στη συνέχεια, στο χώρο των τεχνολογιών παραγωγής και αποθήκευσης και τη σχετική ικανότητα, αν υπάρχουν είναι καθορισμένες. Οι διαθέσιμες τεχνολογίες παραγωγής και αποθήκευσης σε αυτό το εργαλείο χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: διακριτές και συνεχείς. Η βέλτιστη ικανότητα των διακριτών τεχνολογιών προσδιορίζεται ως ένα διακριτό αριθμό μονάδων, ενώ η ικανότητα της συνεχούς τεχνολογιών καθορίζεται από μια συνεχή μεταβλητή.

Σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης, μόνο η τεχνολογία των ανεμογεννητριών από τις διαθέσιμες διακριτές τεχνολογίες εμπλέκονται στη βέλτιστη λύση.. Η ονομαστική χωρητικότητα που επελέγη ήταν 50kW, προκειμένου να δοθεί μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό της διαδικασίας.

Το κόστος κεφαλαίου για 50kW μονάδα ανεμογεννητριών ανέρχεται σε 65.000 € συμπεριλαμβανομένου του κόστους εγκατάστασης, ενώ το σταθερό ετήσιο κόστος συντήρησης ανά γεννήτρια ορίστηκε 975 € και κόστος μεταβλητής συντήρησης ανά ανεμογεννήτρια είναι η 0,0022 € ανά παραγόμενη kWh.

Από τις τεχνολογίες συνεχούς παραγωγής, η τεχνολογία φωτοβολταϊκών (Photovoltaic system) φαίνεται να είναι πλέον κατάλληλη, λόγω της άφθονης ηλιακής ακτινοβολίας, σε συνδυασμό με ηλεκτρική αποθήκευση από μπαταρίες.

Το μεταβλητό κόστος των επενδύσεων σχετικά με την τεχνολογία φωτοβολταϊκών ορίστηκε 1.100 € /kW ανά εγκατεστημένη ισχύ, και το σταθερό κόστος λειτουργίας και συντήρησης ορίστηκε 0,92 € / kW, ενώ για τις συστοιχίες μπαταριών το σχετικό κόστος ήταν 1.000 € / kWh και 0,83 € / kWh, αντίστοιχα.

Επιπλέον, το μέγιστο ποσοστό φόρτισης/ αποφόρτισης των μπαταριών ορίστηκε σε 33% και το ελάχιστο στάδιο 10% της συνολικής χωρητικότητας, με ένα διακριτό μέγεθος δυναμικότητας 22.5kWh / μονάδα.

Σε αυτό το μοντέλο, αν και αποτελεί επιλογή, δεν λαμβάνεται υπόψη κανένας τύπος τεχνικών διαχείρισης της ζήτησης (μετατόπιση φορτίου, απόκριση ζήτησης, απευθείας ελεγχόμενα φορτία), γιατί η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού δεν θεωρείται από το σημείο του τελικού χρήστη.

Εντούτοις, τεχνικές διαχείρισης της ενέργειας περικοπής φορτίων έχουν εξεταστεί όταν η διασύνδεση με το δίκτυο είναι μη διαθέσιμη και το μικροδίκτυο είναι αναγκασμένο να λειτουργεί σε νησιδοποίηση (απομονωμένο δίκτυο). Εάν η ζήτηση ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την τοπική ικανότητα παραγωγής και τη διαθέσιμη αποθηκευμένη, ένα ποσοστό του φορτίου θα περιοριστεί αναγκαστικά. Αυτό γίνεται σε κόστος του μικροδικτύου (microgrid) και συνδέεται άμεσα με την απώλεια υπηρεσίας.

Παρά το γεγονός ότι στην Ελλάδα η DSO δεν συνδέεται με καμία αποζημίωση σχετιζόμενη με το κόστος διακοπής του ενεργειακού εφοδιασμού, σε ορισμένες χώρες, αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα.

Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να ληφθούν τα έξοδα αυτά υπόψη, κατά την ανάλυση των επενδύσεων, προκειμένου να αξιολογηθεί σωστά η επένδυση DER.

Προκειμένου να εκτιμηθεί το κόστος αυτό, πρέπει κανείς να κατανοήσει όλα τα έξοδα που συμπεριλαμβάνονται στα γεγονότα λόγω της διακοπής, όπως οι μισθοί του προσωπικού, παύση των εμπορικών δραστηριοτήτων, ευπαθών προϊόντων κ.λπ. Για την εκτίμηση αυτών των δαπανών, η αριθμομηχανή Διακοπή Εκτίμηση Κόστους (ICE) (DOE, 2016a) είναι το on-line εργαλείο, που χρησιμοποιήθηκε.

Οι τιμές εισόδου παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα:

Πίνακας 2-4. Δεδομένα για την εκτίμηση κόστους διακοπών τροφοδοσίας **Πηγή: ICE**

Input Values			
SAIFI:	30	No. of Non-Residential Customers:	50
SAIDI (in hours):	44.8	No. of Residential Customers:	200
CAIDI (in hours):	1.5		

Οι μέσοι δείκτες του συστήματος οι οποίοι απεικονίζουν την συχνότητα διακοπής (SAIFI), την διάρκεια διακοπής συστήματος (SAIDI) καθώς και ο μέσος όρος του δείκτη διάρκειας διακοπή των πελατών (CAIDI) συνθέτουν την αξιοπιστία των

δεικτών του συστήματος διανομής (Yonghong et al., 2016). Ακολούθως, παρουσιάζονται οι Μαθηματικές εκφράσεις των άνω:

$$SAIFI = \frac{\sum_i \lambda_i N_i}{\sum_i N_i} \text{ (times / customer} \cdot \text{ year)}$$

$$SAIDI = \frac{\sum_i U_i N_i}{\sum_i N_i} \text{ (hours / customer} \cdot \text{ year)}$$

$$CAIDI = \frac{\sum_i U_i N_i}{\sum_i U_i} \text{ (hours / event)}$$

Όπου λ_i είναι το ποσοστό αποτυχίας του σημείου φορτίου i , N_i είναι η ποσότητα των πελατών, U_i είναι οι ετήσιες ώρες διακοπής του σημείου φορτίου i .

Σε αυτή την περίπτωση i είναι η Τήλος, λ ήταν 30 διακοπές, N ήταν 790 κάτοικοι και U ήταν περίπου 45 ώρες κατά τη διάρκεια του 2015.

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της Eurostat (2016), η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κάτοικο στον οικιακό τομέα στην Ελλάδα, το 2013 ήταν 1,6 MWh. Επίσης, σύμφωνα με την τελευταία απογραφή πληθυσμού που έγινε το 2011 από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (2016), ο πληθυσμός της Τήλου ήταν 790 κάτοικοι.

Υποθέτοντας ότι κάθε νοικοκυριό αποτελείται από 4 άτομα τα οικιακούς πελάτες είναι περίπου 200 και η συνολική οικιακή κατανάλωση, είναι περίπου $790 * 1,6 = 1.264$ MWh / έτος. Δεδομένου ότι η ετήσια κατανάλωση ενέργειας της Τήλου ήταν 2.936 MWh, η ενέργεια υπόλοιπο καταναλώνεται από μικρές C & I ήταν: $3209 - 1264 = 1.945$ MWh

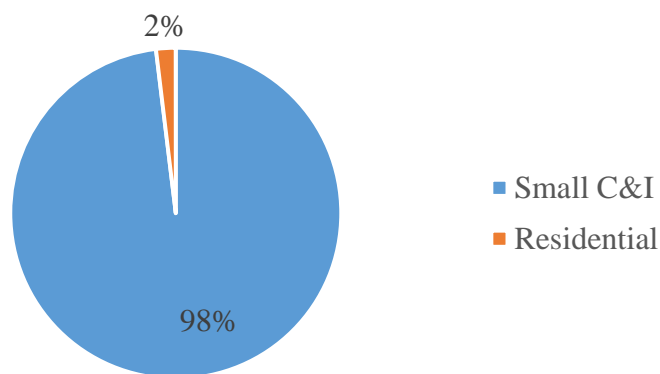
Πίνακας 2-5. Παράμετροι διακοπών παροχής ρεύματος

Customer Category	No. of Customers	Average Usage (Annual MWh)
Medium and Large C&I (Over 50,000 Annual kWh)	0	459
Small C&I (Under 50,000 Annual kWh)	50	38.9
Residential	200	6.4
	Medium and Large	
C&I Industry Percentages	C&I	Small C&I
Construction	2.00%	9.50%
Manufacturing	17.10%	5.00%
All Other Industries	80.90%	85.50%
Total	100.00%	100.00%
	Medium and Large	
Percent of C&I Customers with:	C&I	Small C&I
No or Unknown Backup Equipment	54.40%	70.40%
Backup Generation or Power Conditioning	37.20%	26.20%
Backup Generation and Power Conditioning	8.40%	3.40%
Total	100.00%	100.00%
Residential Customer Characteristics	Estimate	
Median Household Income	20,000 €	
Distribution of Outages by Time of Day	Estimated Percentage	
Morning (6 am to 12 pm)	54.47%	
Afternoon (12 pm to 5 pm)	29.49%	
Evening (5 pm to 10 pm)	5.23%	
Night (10 pm to 6 am)	10.81%	
Total	100.00%	
Distribution of Outages by Time of Year	Estimated Percentage	
Summer (Jun thru Sep)	34.72%	
Non-Summer (Oct thru May)	65.28%	
Total	100.00%	

Έπειτα από παράθεση των παραμέτρων διακοπής ηλεκτροδότησης καταλήγουμε στα ακόλουθα αποτελέσματα:

Πίνακας 2-6. Κόστος συμβάντων διακοπών

Sector	No. of Customers	Cost per Event (2016€)	Cost per Average kW (2016€)	Cost per Unserved kWh (2016€)	Total Cost of Sustained Interruptions (2016€)
Medium and Large C&I	0	52.60	2,101.69	0.00	0.00
Small C&I	50	607.74	159.37	6,375.95	911,627.09
Residential	200	3.36	4.60	184.94	20,265.39
All Customers	250	124.26	92.19	3,689.62	931,892.59



Σχήμα 0-2. Συμβάντα διακοπών ανα τομέα

Ωστόσο, οι τιμές αυτές αξιολογήθηκαν ως πολύ υψηλές, διότι οι εμπορικές δραστηριότητες στο νησί δεν είναι πολύ εντατικές. Οι περισσότερες από τις εταιρείες είναι εμπορικές εταιρείες με χαμηλό κύκλο εργασιών που απασχολούν λιγότερους από δέκα εργαζόμενους.

Όπως προαναφέρθηκε η εκτίμηση του κόστους διακοπής είναι ένα πολύ σύνθετο έργο που απαιτεί συχνές επισκέψεις στην περιοχή για να κατανοήσει κάποιος τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει μια διακοπή ρεύματος. Δεδομένου ότι, μια αρκετά υποκειμενική υπόθεση γίνεται από τον συγγραφέα (Πίνακας 2-7), προκειμένου να ληφθούν υπόψη τα έξοδα που σχετίζονται με τα συμβάντα διακοπής, καθώς και για τη διερεύνηση της ανθεκτικότητας του συστήματος.

Στο ειδικό τμήμα του προγράμματος DER-CAM για τον υπολογισμό της ανθεκτικότητας οι διακοπές διαμορφώθηκαν σε ωριαία βάση για τους τύπους τριών καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, δηλαδή την εβδομάδα έκτακτης ανάγκης, το Σαββατοκύριακο έκτακτης ανάγκης και την έκτακτης ανάγκης αιχμής ανά μήνα.

Τα συμβάντα διακοπής και η αντίστοιχη διάρκεια απεικονίζεται στο Σχήμα 2-12, προέρχονται από τις μετρήσεις.

Οι παράμετροι περικοπής ορίζονται για τρία διαφορετικά επίπεδα προτεραιότητας: υψηλή, μεσαία και χαμηλή, όπως υποδεικνύεται στον ακόλουθο πίνακα

Πίνακας 2-7. Χαρακτηριστικά διακοπής

Priority level	Variable cost (€/kWh)	Max curtailment load
Low CR	3	20%
Mid CR	15	60%
High CR	25	20%

Μετά από αυτό το στάδιο ορίζονται, οι παράμετροι του καιρού ειδικά για τη θέση, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η ωριαία θερμοκρασία περιβάλλοντος, η μέση ταχύτητα του ανέμου και το δυναμικού αιολικής ενέργειας.

Η θεωρητική παραγωγή αιολικής ενέργειας υπολογίστηκε με τη χρήση των μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου ανά ώρα και στην συνέχεια εξετάζεται σε σχέση με την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας που απεικονίζεται στο Σχήμα 2-11.

Μόλις όλες οι παράμετροι εισόδου έχουν ενημερωθεί, λαμβάνει χώρα η διαδικασία της βελτιστοποίησης, προκειμένου να καθοριστούν οι δαπάνες αναφοράς και τις εκπομπές CO₂.

Στη συνέχεια, μετά την προσθήκη 1% σε αυτές τις αξίες, η οποία και αποτελεί την προεπιλεγμένη ακρίβεια λύσης, ρυθμίζονται στις προτιμήσεις οι δαπάνες αναφοράς και οι εκπομπές CO₂ και καθορίζονται στις γενικές ρυθμίσεις τα διάφορα οικονομικά, περιβαλλοντικά και άλλα προβλήματα που σχετίζονται με επενδύσεις. Σε

αυτό το στάδιο, μπορεί κανείς να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει την επιλογή των επενδύσεων σε διακριτές και συνεχείς τεχνολογίες DG. Για να καθοριστεί τέλος το επιτόκιο και το με το μέγιστο PBP από τις πωλήσεις και τις συμβατικές τεχνολογίες ή/ και τα φωτοβολταϊκά σύμφωνα με τους στόχους που έχουν τεθεί.

Σε αυτή τη μελέτη μόνο οι συνεχείς επενδύσεις και επενδύσεις με βάση το αιολικό δυναμικό είναι ενεργοποιημένες. Η ελάχιστη παραγωγή των τεχνολογιών DER ορίστηκε ως το 80%, αναφερόμενοι σε χρονικό περίοδο του συνολικού ηλεκτρικού φορτίου.

Μετά την ενεργοποίηση των πωλήσεων, οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζονται με βάση το τρέχον κόστος της οριακής παραγωγής, συν τα έξοδα αποζημίωσης CO₂ όπως προαναφέρθηκε. Η μέγιστη εξαγωγική δύναμη είναι 1000kW, λόγω των τεχνικών περιορισμών της γραμμής διανομής.

Τέλος, η διαδικασία βελτιστοποίησης πραγματοποιείται σύμφωνα τους μεμονωμένους στόχος κατά τους οποίους ορίστηκε ο λόγος (κόστος / ελαχιστοποίηση CO₂) έτσι ώστε να δοθεί η βέλτιστη λύση.

Στη συνέχεια, μόλις πραγματοποιηθεί η ανάλυση των επενδύσεων για τους δύο στόχους, η πολυ-αντικειμενική ανάλυση μπορεί να αφαιρεθεί.

Αρκετές βέλτιστες λύσεις θα μπορούσαν να επιτευχθούν με την αλλαγή των δαπανών και του βαρυτικού παράγοντα του CO₂ που δημιουργούν τα σύνορα Pareto.

Κεφάλαιο 3

Αποτελέσματα

3.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Περίπτωση αναφοράς

Όπως προαναφέρθηκε, μόλις οριστούν οι παράμετροι, ξεκινάει η διαδικασία. Οι τιμές δαπανών και οι τιμές CO₂, καθώς και στοιχεία σχετικά με τα γεγονότα διακοπών εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 3-1. Περίληπτική αναφορά οικονομικών στοιχείων του έργου.

	Annual Electricity costs (k€)	Annual outage events costs (k€)	Total Annual Energy Costs (k€)	Total Annual CO2 emissions (metric tons)
Investment scenario	472.16	440.57	912.73	1,977

*incl. annualized capital costs, electricity sales and CO2 costs

Πίνακας 0-2. Μη διατιθέμενη ενέργεια και εμπλεκόμενα κόστη ανα πηγή.

	LowCR	MidCR	HighCR	Total
Outages costs (k€)	25.83	309.94	104.81	440.57
Unserved energy (kWh)	8,610	20,662	4,192	33,465

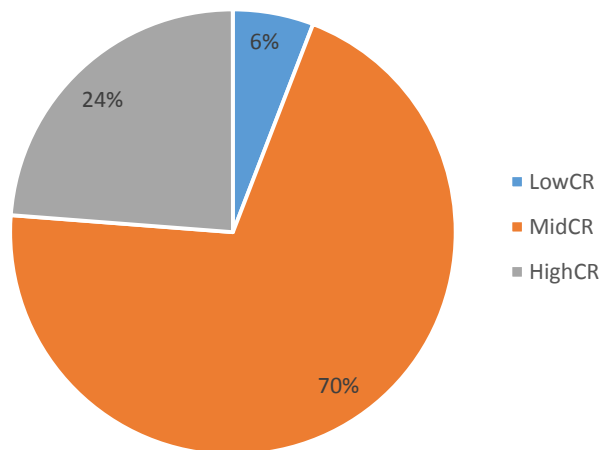
Το μέσο ετήσιο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι 147,11€ /MWh. Μπορεί να διαπιστωθεί ότι το αντίστοιχο συνολικό ετήσιο κόστος είναι 472.16€, ενώ το κόστος για τις διακοπές ρεύματος έχει υπολογιστεί ότι είναι σχεδόν το ίδιο, 440,57 Κ€ 48% του συνολικού ετήσιου κόστους της ενέργειας για το έτος 2015.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για το τρέχον έτος, ο μέσος δείκτης συχνότητας διακοπής συστήματος (SAIFI) ήταν 30 συμβάντα ανά πελάτη, με μέση διάρκεια (CAIDI) 1,5 ωρών ανά περίπτωση. Αυτό το τόσο υψηλό κόστος διακοπής απορρέει από το γεγονός ότι η Τήλος έχει υποβληθεί σε πολλές εκδηλώσεις διακοπής, κατά τη διάρκεια της οποίας όλα τα φορτία κατά προτεραιότητα έχουν αποκοπεί.

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να τονιστεί ότι τα έξοδα αυτά δεν καταβάλλονται από τον διαχειριστή του συστήματος, ως αποζημίωση για την μη διαθετούμενη ενέργεια και τις επιπτώσεις που προκαλεί αυτή η κατάσταση, αλλά είναι το κόστος που συνδέεται με την ποιότητα ισχύος, την αξιοπιστία και την ασφάλεια του συστήματος, την οποία και ο τελικός πελάτης καλείται να πληρώσει.

Το Σχήμα 3-1 παρουσιάζει το ποσοστό του κάθε φορτίου σε επίπεδο προτεραιότητας στο σύνολο του κόστους λόγω διακοπής.

Η κατάσταση αυτή μεταφράζεται σε απώλειες χρημάτων, λόγω της παύσης των εμπορικών δραστηριοτήτων, απώλειες λόγω των ευπαθών προϊόντων, οι μισθοί του προσωπικού κατά την μη λειτουργία, επενδύσεις σε συστήματα υποστήριξης δευτερεύουσα ή εναλλακτικής λειτουργίας κ.λπ.



Σχήμα 3-1 Κόστη διακοπών τροφοδοσίας κατά προτεραιότητα

Μοναδικού –στόχου

Μετά τη διεξαγωγή της διαδικασίας παραπομπής, ορίζονται οι κατάλληλες τεχνικές σε οικονομικά και περιβαλλοντικά περιοριστικά πλαίσια. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τις οποίες προοπτικές των ενδιαφερομένων γίνεται η προσέγγιση του προβλήματος σχεδιασμού DER. Δύο εντελώς διαφορετικά σενάρια μονού-στόχου θα διεξαχθούν.

Ελαχιστοποίηση του κόστους

Το κόστος είναι ο κύριος στόχος του έργου είτε εξετάζεται από την πλευρά του συστήματος DER ή του DSO. Υποθέτοντας ότι δεν αναφερόμαστε στα περιβαλλοντικά θέματα εξετάζουμε πώς θα αυξηθεί το εισόδημα από την πλευρά του επενδυτή και πώς θα μειωθεί το OPEX από τη σκοπιά DSO.

Υποθέτοντας ότι τόσο οι DSO όσο και οι πελάτες να λαμβάνουν επωμίζονται το κόστος διακοπών παροχής.

Υποθέτοντας ότι η τεχνική περικοπής φορτίου έχει υιοθετηθεί από τους χρήστες του DER και τους τελικούς χρήστες, εφαρμόζονται οι παραπάνω προτεραιότητες του φορτίου. Προκειμένου να αποφευχθεί το υψηλό κόστος των μη διατιθέμενων kWh

σε υψηλό επίπεδο προτεραιότητας, καθώς και για να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία των DERS, θα πρέπει να υπάρχει εγκατεστημένο ένα ελάχιστο μέσο αποθήκευσης ενέργειας. Η στοχαστική παραγωγή ενέργειας από τα RETs και ειδικά η διαλείπουσα φύση της αιολικής ενέργειας καθιστά δύσκολη την πρόβλεψη παραγωγής με ασφάλεια και απαιτεί την παρουσία της μονάδας αποθήκευσης ενέργειας. Επιπλέον, σε αυτό το μοντέλο, η εξαγωγή και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές δεν επιτρέπεται, εκτός από όταν συνοδεύονται με την αποθήκευση ενέργειας.

Δεδομένου ότι η μέση ζήτηση φορτίου της Τήλου ήταν 370kW, ο δείκτης CAIDI ήταν 1,5 ώρες κάθε περίπτωση, το υψηλό φορτίο προτεραιότητας είναι 20% της συνολικής ζήτησης, το ελάχιστο επίπεδο φόρτισης είναι το 10% της συνολικής χωρητικότητας των μπαταριών, καθώς και το βάθος της αποφόρτισης (το οποίο βρίσκεται στο 40% για την κανονική λειτουργία, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη διάρκεια ζωής) Διερευνάται η ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια των μπαταριών, προκειμένου να καλύψει το υψηλό φορτίο προτεραιότητας σε περίπτωση διακοπής διάρκειας 1,5 ώρων και υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$E = \frac{\text{Annual average load demand} \times \text{high priority load (as share of total)} \times \text{CAIDI}}{\text{full SOC} - (\text{DOD set point} + \text{min SOC})}$$

Στην περίπτωση αυτή η ελάχιστη χωρητικότητα των συστοιχιών μπαταρίας έχει οριστεί ως 225 kWh.

Μετά την ανάλυση των επενδύσεων αφαιρείται, το κόστος επένδυσης και λαμβάνονται τα παρακάτω αποτελέσματα.

Πίνακας 3-3 Ελάττωση κόστους, περιληπτική αναφορά

	Annual Electricity costs (k€)	Annual outage events costs (k€)	Total Annual Energy Costs* (k€)	Total Annual CO2 emissions (metric tons)
Reference	472.16	440.57	921.86	1,997
Investment scenario	18.62	1.49	-2.50	69
Total Savings (%)	96.1%	99.7%	100.3%	96.5%
OPEX Savings (%)			122%	

Όπως ήταν αναμενόμενο, τα λειτουργικά έξοδα έχουν μειωθεί δραστικά σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς. Επιπλέον, ακόμη και αν πρέπει να συμπεριληφθεί η ετήσια απόσβεση του κεφαλαίου, και πάλι το κόστος είναι αισθητά χαμηλότερο.

Ωστόσο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-2, αυτό το κόστος βέλτιστη λύση περιλαμβάνει υψηλή χωρητικότητα των φωτοβολταϊκών γεννητριών και ανεμογεννητριών. Η υψηλή ικανότητα των ανεμογεννητριών μπορεί να έχει διάφορες τεχνικές επιπτώσεις στο τοπικό δίκτυο διανομής.

Επιπλέον, δεδομένου ότι αυτές οι τεχνολογίες θεωρούνται ως εντατικής χρήσης γης, αυτή η βέλτιστη λύση απορρίφθηκε από την αρχή.

Στη συνέχεια, ορίστηκαν οι περιορισμοί σχετικά με τη χρήση της γης και η διαδικασία ελαχιστοποίησης του κόστους επαναλήφθηκε.

Πίνακας 3-4. Σύνοψη αποτελεσμάτων μείωσης κόστους συμπεριλαμβανομένων των περιορισμών χρήσης γης.

	Annual Electricity costs (k€)	Annual outage events costs (k€)	Total Annual Energy Costs* (k€)	Total Annual CO2 emissions (metric tons)
Reference	472.16	440.57	921.86	1,977
Investment scenario	18.62	4.89	124.18	123
Total Savings (%)	96.1%	98.9%	86.5%	93.8%
OPEX Savings (%)			102.6%	

Παρά το γεγονός ότι παρατηρείται μια μικρή μείωση, το ποσοστό εξοικονόμησης λειτουργικών εξόδων εξακολουθεί να είναι πολύ υψηλό σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς.

Η σύγκριση της περικοπής του κόστους με το κόστος των γεγονότων διακοπής της υπόθεσης αναφοράς, δείχνει καλύτερη εξυπηρέτηση προς τους πελάτες και επίσης αντικατοπτρίζει το κόστος των συνεχών διακοπών ρεύματος που θα μπορούσαν να αποφευχθούν με την εγκατάσταση ΑΠΕ στην βάση της κατανεμημένη παραγωγή.

Ο πίνακας που ακολουθεί, παρουσιάζει τις περικοπές φορτίου και τα αντίστοιχα έξοδα σε επίπεδο προτεραιότητας.

Πίνακας 0-3. Κόστη διακοπής και σύνολά κόστη

	LowCR	MidCR	HighCR	Total
Load curtailment costs (k€)	2.07	2.82	0.00	4.89
Unserved energy (kWh)	690	188	0	878

Οι ακόλουθοι βασικοί δείκτες, δίνουν μια πιο λεπτομερή εικόνα της βέλτιστης λύσης του κόστους.

Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3 -6 η παραγωγή από ΑΠΕ υπερβαίνει τη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας

Πίνακας 0-4. Βασικά οικονομικά στοιχεία έργου

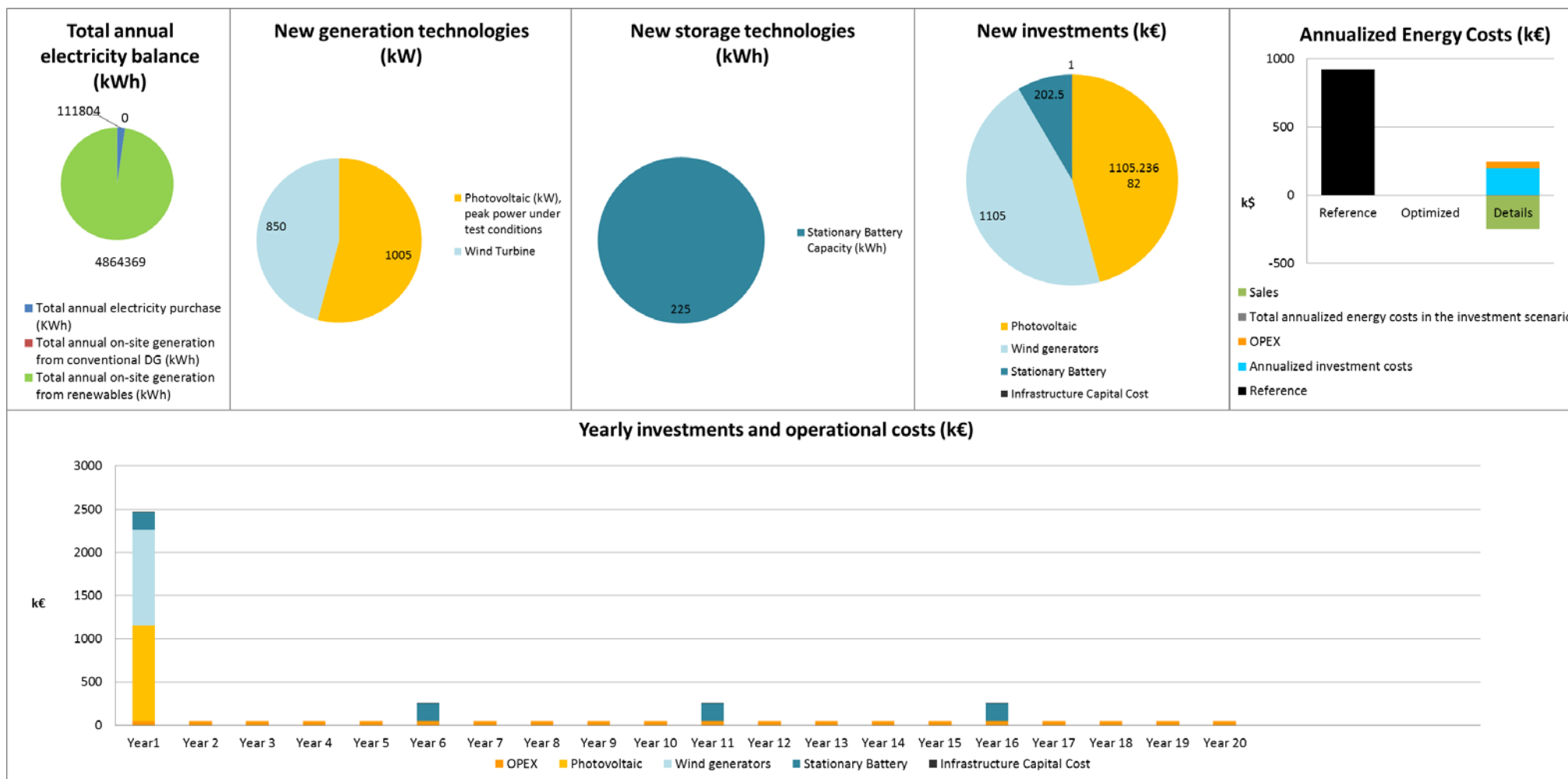
Key indicators	
Total Electricity Sales (k€)	84.25
Total annual electricity purchase (kWh)	33,129
Total annual on-site generation from renewables (kWh)	3,652,441
RES Share of total electric load	113%
Estimated total annual fuel consumption* (kWh)	585,742

Το Σχήμα 3-3 απεικονίζει τις αποφάσεις επενδύσεων, τις νέες τεχνολογίες που θα εγκατασταθούν, καθώς και το ετήσιο ενεργειακό κόστος σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς. Είναι προφανές ότι η ικανότητα του RES έχει περιοριστεί. Η νέα προτεινόμενη επένδυση περιλαμβάνει τώρα ισχύ 450kW φωτοβολταϊκών και 750 kW ανεμογεννητριών. Το νέο μοντέλο περιλαμβάνει 225kWh στάσιμων συσσωρευτών, και αυτή είναι και η ελάχιστη χωρητικότητα που έχει οριστεί.

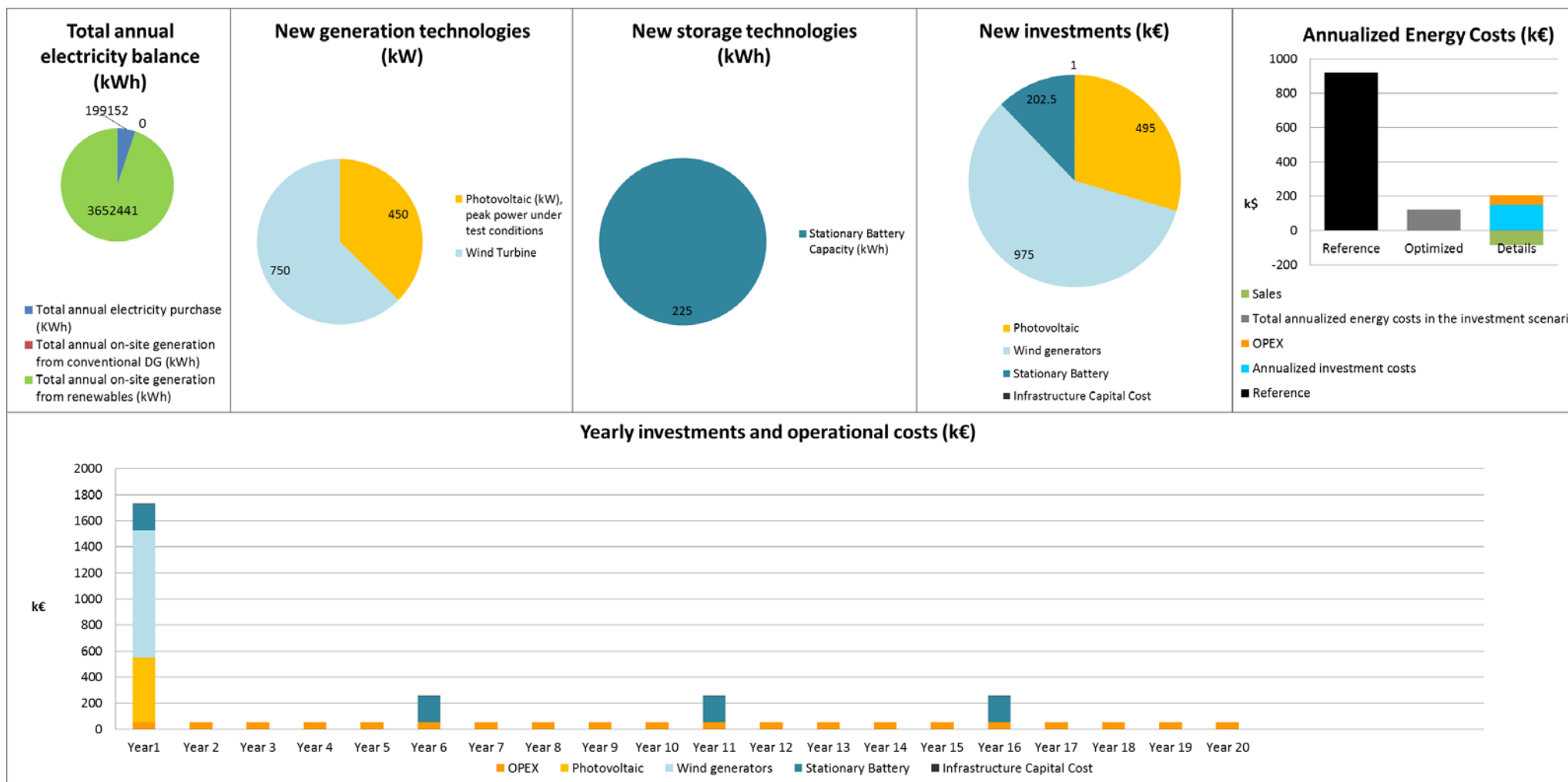
Παρά το γεγονός ότι, οι νέες δαπάνες κεφαλαίου για νέες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προτείνονται, οι ετήσιες λειτουργικές δαπάνες είναι χαμηλότερες και η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται είναι αρκετή για να υπάρχει θετική επιστροφή στις επενδύσεις εντός των ορίων που ορίζονται από τους οικονομικούς περιορισμούς.

Εκτός από τα λειτουργικά έξοδα, δραματική μείωση παρατηρήθηκε στις εκπομπές CO₂. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι περιορισμοί που προβλέπει το προηγούμενο

σει σχετικά με τις διαθέσιμες τεχνολογίες επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν μόνο ανανεώσιμοι πόροι. Έτσι, το υπόλοιπο 6,2% των εκπομπών CO₂, οφείλεται στο μικρό ποσό των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας που εξακολουθούν να υπάρχουν σε αυτό το μοντέλο.



Σχήμα 0-3. Περιληπτικά αποτελέσματα βέλτιστης λύσης. Πηγή: DER-CAM results report, 2016

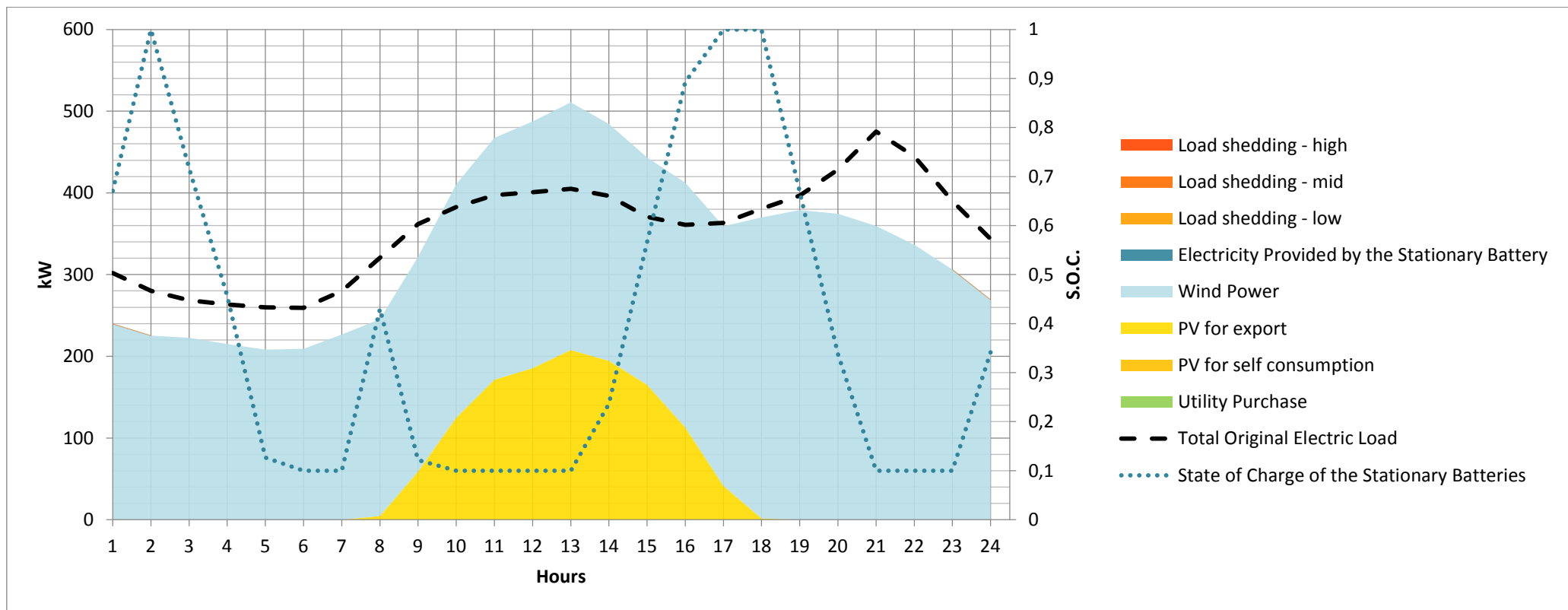


Σχήμα 0-4. Περιληπτικά αποτελέσματα βέλτιστης λύσης συμπεριλαμβανομένων των περιορισμών χρήσεως γης. Πηγή : DER-CAM, 2016

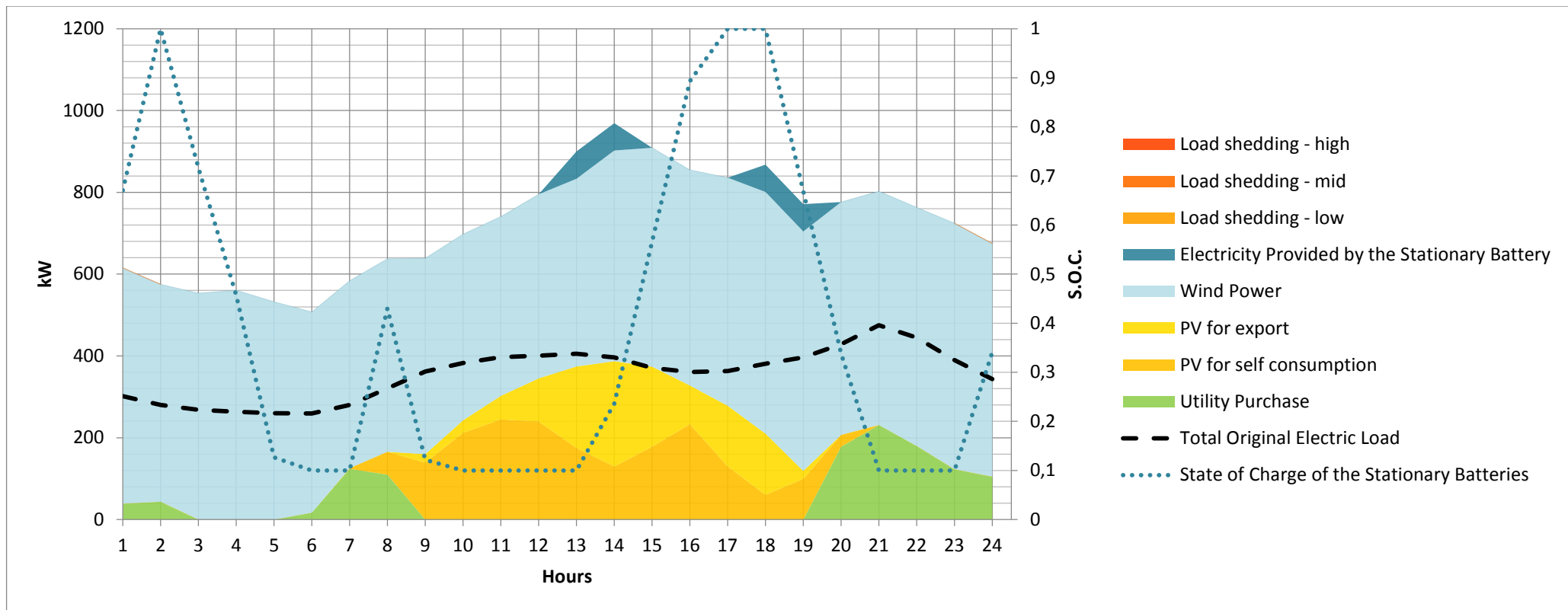
Το Σχήμα 3-4 απεικονίζει την βέλτιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στην ιδανική λύση. Όπως βλέπουμε, το μεγαλύτερο μέρος του αρχικού ηλεκτρικού φορτίου καλύπτεται από τεχνολογίες DER. Ενώ η ανάγκη ηλεκτρικού φορτίου είναι μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις γεννήτριες DER, η ισορροπία εξασφαλίζεται με συμμετοχή είτε από σταθερές/στατικές μπαταρίες, είτε από το κεντρικό δίκτυο.

Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε μια καθημερινή ημέρα του Αυγούστου απεικονίζεται το Σχήμα 3-5. Ακόμη και το μήνα Αύγουστο, που οι ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια είναι οι μεγαλύτερες του έτους, αυτές καλύπτονται επαρκώς. Κάποιες ώρες της ημέρας, το μικροδίκτυο εισάγει ενέργεια από το βοηθητικό, προκειμένου να ανταποκριθεί στη ζήτηση, ενώ άλλες φορές εξάγει ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά προς το δίκτυο. Η εξαγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συμπίπτει με την κορύφωση της ενεργειακής απαίτησης και τις τιμές ΤΟΥ. Οι σταθερές/στατικές μπαταρίες μπορούν να παράσχουν ενέργεια όταν κριθεί απαραίτητο, για να καλυφθεί η ζήτηση ή για να ενισχυθεί η καλύτερη δυνατή παροχή ενέργειας.

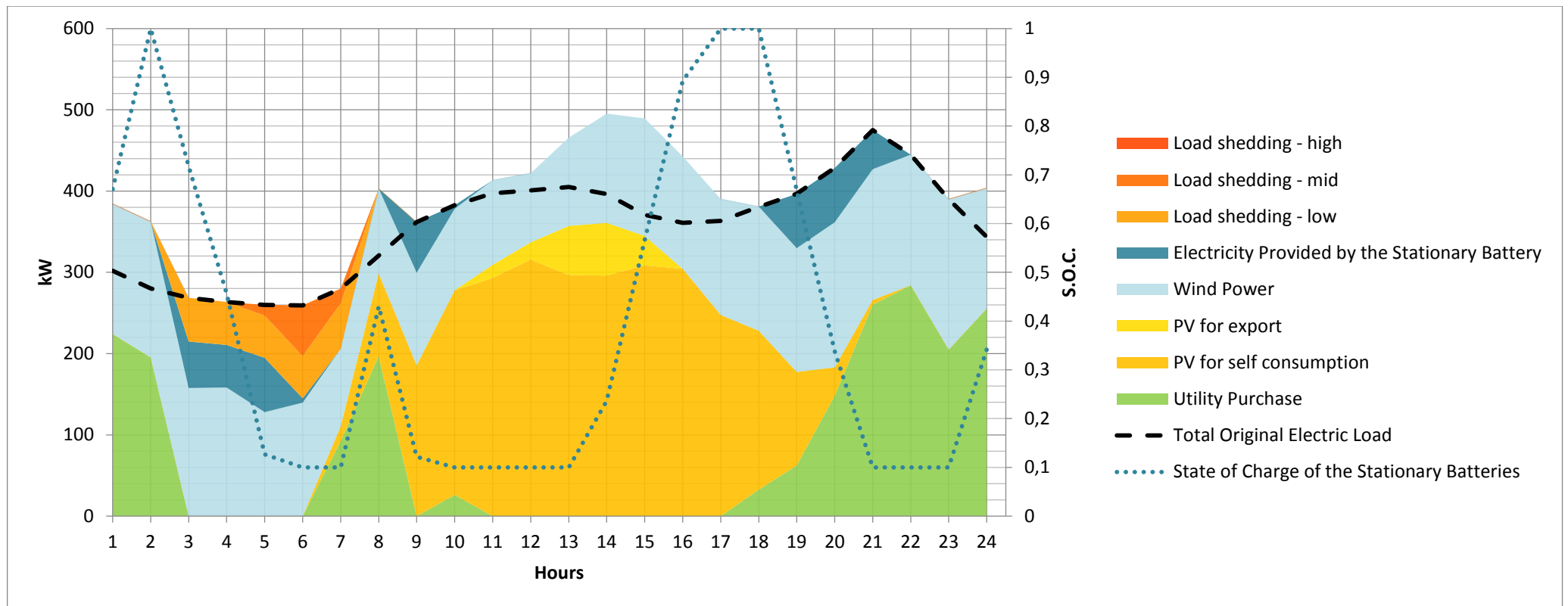
Το Σχήμα 3-6 αναπαριστά το τι συνέβη όταν προέκυψε μια διακοπή ρεύματος και οι γεννήτριες δεν επαρκούσαν για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Εφαρμόστηκαν περικοπές παροχής κατά προτεραιότητα όταν κρίθηκε απαραίτητο: την ημέρα εκείνη η διακοπή διήρκεσε τρεις ώρες, κατά τη διάρκεια των οποίων χρειάστηκε να γίνουν διακοπές σε χαμηλής και μέσης προτεραιότητας ανάγκες.



Σχήμα 0-5. Βέλτιστο μοντέλο έγχυσης παραγόμενης ενέργειας, 24 ώρη βάση. Πηγή: DER-CAM , 2016



Σχήμα 0-6. Βέλτιστο μοντέλο έγχυσης παραγόμενης ενέργειας (Αύγουστος-καθημερινή). Πηγή: **DER-CAM, 2016**



Σχήμα 0-7. Βέλτιστο μοντέλο έγχυσης παραγόμενης ενέργειας (Μάϊος –κατάσταση έκτακτης ανάγκης). **Πηγή : DER-CAM, 2016**

Ελαχιστοποίηση εκπομπών CO₂

Η μείωση των εκπομπών CO₂ έχει και οικονομική διάσταση καθώς το κόστος παραγωγής εκπομπών CO₂ σε ποσότητα μεγαλύτερη του επιτρεπτού ορίου, υπολογίζεται σε περίπου 8.000 €. Η τιμή αυτή είναι περίπου 1,67 % του συνολικού οριακού κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (εξαιρούνται τα έξοδα διακοπής). Επίσης, οι εκπομπές CO₂ έχουν κυρίως πληθυσμιακές επιπτώσεις ιδιαίτερα όταν μιλάμε για τις κοινότητες που ζουν δίπλα σε μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Ακόμη, η μείωσή τους αποτελεί δέσμευση της κάθε χώρας προς την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Αυτό θεωρείται ένα ενιαίο ζήτημα από τη σκοπιά της κάθε τοπικής κοινότητας και κυβέρνησης ως κυρίως ενδιαφερόμενους στην ανάπτυξη των τεχνολογιών DER. Όλοι οι περιορισμοί που τέθηκαν προηγουμένως, βρίσκουν εφαρμογή στην εν λόγω ανάλυση βελτιστοποίησης, καθώς και. Το μόνο πράγμα που έχει αλλάξει είναι ο κύριος στόχος λειτουργίας. Ο κάτωθι πίνακας δείχνει τα κύρια οικονομικά και περιβαλλοντικά αποτελέσματα της λύσης βελτιστοποίησης εκπομπών CO₂.

Πίνακας 3-7. Ελαχιστοποίηση εκπομπών CO₂

	Annual Electricity costs (k€)	Annual outage events costs (k€)	Total Annual Energy Costs* (k€)	Total Annual CO2 emissions (metric tons)
Reference	472.16	440.57	921.86	1,997
Investment scenario	16.09	789.46	1,293.67	59
Total Savings (%)	96.6%	-79.2%	-40.3%	97.1%
OPEX Savings (%)			8.7%	

Στην περίπτωση αυτή, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επένδυση δεν είναι εφικτή, δεδομένου ότι το ετήσιο κόστος της επένδυσης είναι πολύ υψηλό και οι συνολικές ετήσιες δαπάνες είναι υψηλότερες από το σενάριο αναφοράς. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην πράξη δεν υπάρχει κανένας περιορισμός PBP, δεδομένου ότι έχει ρυθμιστεί

για 25 χρόνια. Εάν το μέγιστο PBP μειωνόταν ίσως είχαμε διαφορετικά αποτελέσματα ή και καθόλου αποτελέσματα (μη εφαρμόσιμη λύση).

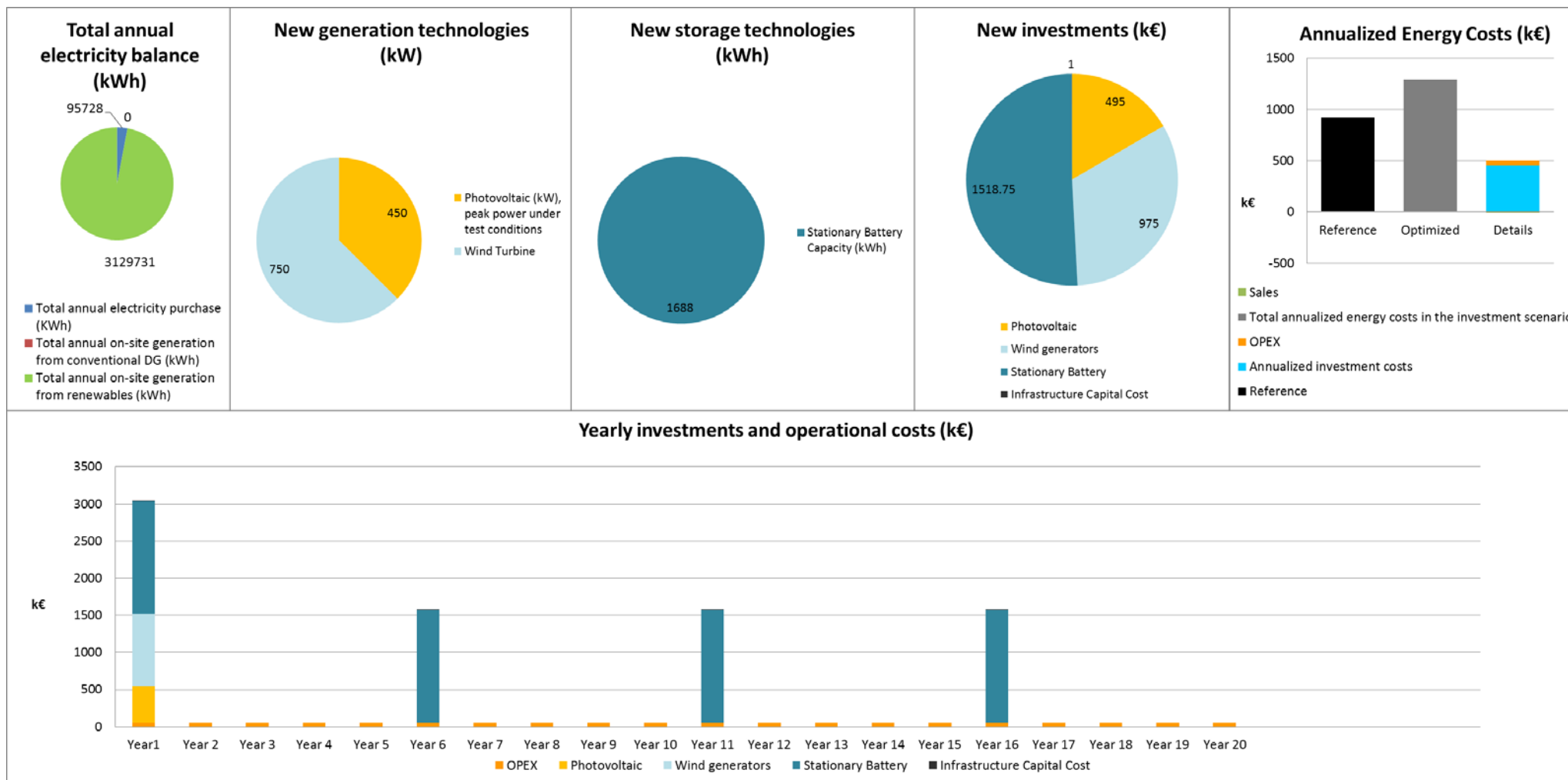
Η εξοικονόμηση από την μείωση εκπομπών CO₂ είναι 97,1 % αντί του 100 % που αναμενόταν. Αυτό μεταφράζεται ως 97 % αυτονομία για το νησί της Τήλου.

Παρόλο που αυτή η λύση περιλαμβάνει τεράστια ικανότητα αποθήκευσης, το κόστος από τις περικοπές φορτίων είναι πολύ μεγαλύτερο από εκείνο του προηγούμενου σεναρίου βελτιστοποίησης του κόστους. Αυτό συμβαίνει επειδή η βέλτιστη περιβαλλοντική λύση δεν καταδεικνύει τη σημασία της οικονομικής διάστασης των περικοπών φορτίου.

Πίνακας 3-8. Κόστος φορτιού περικοπής (k€)

	LowCR	MidCR	HighCR	Total
Load curtailment costs (k€)	55.72	541.56	192.18	789.46
Unservd energy (kWh)	18,574	36,104	7,687	62,366

Στο Σχήμα 3-7 μπορεί να φανεί το αποτέλεσμα όπως περιεγράφηκε παραπάνω, στο διάγραμμα ετήσιου ενεργειακού κόστους. Ο διαχωρισμός μεταξύ του κόστους επένδυσης ανά έτος και του OPEX διαφέρει από την πλευρά ελαχιστοποίησης του κόστους.



Σχήμα 0-8. Περίληψη αποτελεσμάτων βέλτιστης λύσης μείωσης CO₂. Πηγή: DER-CAM, 2016

3.1.1 Πολλαπλοί στόχοι

Μετά τη διεξαγωγή της βελτιστοποίησης του κόστους, των διαδικασιών βελτιστοποίησης CO₂ και την εύρεση διαφόρων λύσεων από διαφορετικές οπτικές γωνίες, η πολυ-αντικειμενική διαδικασία βελτιστοποίησης μπορεί να ξεκινήσει. Αυτή η διαδικασία θα αποφέρει πολλαπλές λύσεις με την αλλαγή των συντελεστών βαρύτητας των αντικειμενικών δαπανών και του στόχου του CO₂, λαμβάνοντας υπόψιν τις διάφορες πτυχές του προβλήματος και την εξεύρεση το συμβιβαστικής λύσης μεταξύ μη συμβατών στόχων.

Τέλος, λαμβάνεται μια συμβιβαστική και αμοιβαία επωφελής λύση για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς.

Για να ξεκινήσουμε με βάση μια ανάλυση βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων, το μέγιστο ετήσιο κόστος και οι μέγιστες ετήσιες εκπομπές CO₂ που επιτρέπονται από την ανωτέρω ανάλυση πρέπει να καθοριστούν. Οι τιμές αυτές θεωρούνται ως οι συντελεστές βαρύτητας των πολλαπλών στόχων βελτιστοποίησης και λαμβάνονται με την εύρεση του κόστους της μείωσης εκπομπών του CO₂.

Συνεπώς και πριν την εφαρμογή διαδικασίας βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων, οι συντελεστές βαρύτητας των στόχων του κόστους και του CO₂ πρέπει να καθοριστούν. Αυτοί οι παράγοντες αντικατοπτρίζουν την προτίμηση του κάθε εμπλεκόμενου στο όλο επιχείρημα.

Σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να εκτελεστούν αρκετές δοκιμές βελτιστοποίησης. Στον παρακάτω πίνακα παραθέτοντας όλοι οι συνδυασμοί των συντελεστών βαρύτητας που έχουν ληφθεί υπόψιν.

Πίνακας 0-5. Συνδυασμός συντελεστών βαρύτητας

Wcost	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
WCO₂	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1

Η σταθμισμένη συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε είναι:

$$\min f = MultiObjectiveWcost \times \left(\frac{Total\ annual\ cost}{MultiObjectiveMaxCost} \right) + MultiObjectiveWCO2 \times \left(\frac{Total\ annual\ CO2}{MultiObjectiveMaxCO2} \right)$$

Προκειμένου να παρουσιασθούν τα αποτελέσματα της πολυστόχου βελτιστοποίησης, θα υιοθετήσουμε ένα σενάριο με συντελεστές βαρύτητας 0.7 για τον κόστος και 0.3 για το CO₂.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις συνολικές ετήσιες εξοικονομήσεις που είναι 80,6 % και τις εξοικονομήσεις OPEX που είναι 103,3%. Συγκρίνοντας με το κόστος της βέλτιστης λύσης, το κόστος ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ελαφρώς υψηλότερο, ενώ η εξοικονόμηση του κόστους από τις διακοπές ενέργειας φτάνει το 100%.

Πίνακας 3-10. Πολυπαραγοντικό σενάριο βελτιστοποίησης (70/30)

	Annual Electricity costs (k€)	Annual outage events costs (k€)	Total Annual Energy Costs* (k€)	Total Annual CO2 emissions (metric tons)
Reference	472.16	440.57	921.86	1,997
Investment scenario	28.70	0.74	178.79	114
Total Savings (%)	93.9%	99.8%	80.6%	94.3%
OPEX Savings (%)			103.3%	

Πίνακας. 0-6 Περικοπές κόστους , πολύ παραγοντική προσέγγιση (70/7812)

	LowCR	MidCR	HighCR	Total
Load curtailment costs (k€)	0.74	0.00	0.00	0.74
Unserved energy (kWh)	7,812	0	0	7,812

Στο Σχήμα 3-8 παραθέτοντας όλα τα πιθανά αποτελέσματα από την υιοθέτηση της λύσης βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων με συντελεστές βαρύτητας (70/30) για το κόστος και το CO₂ αντίστοιχα. Η κύρια διαφορά από τις προηγούμενες λύσεις που αποσκοπούσαν σε βελτιστοποίηση μιας μόνο παραμέτρου, είναι ότι η δυνατότητα

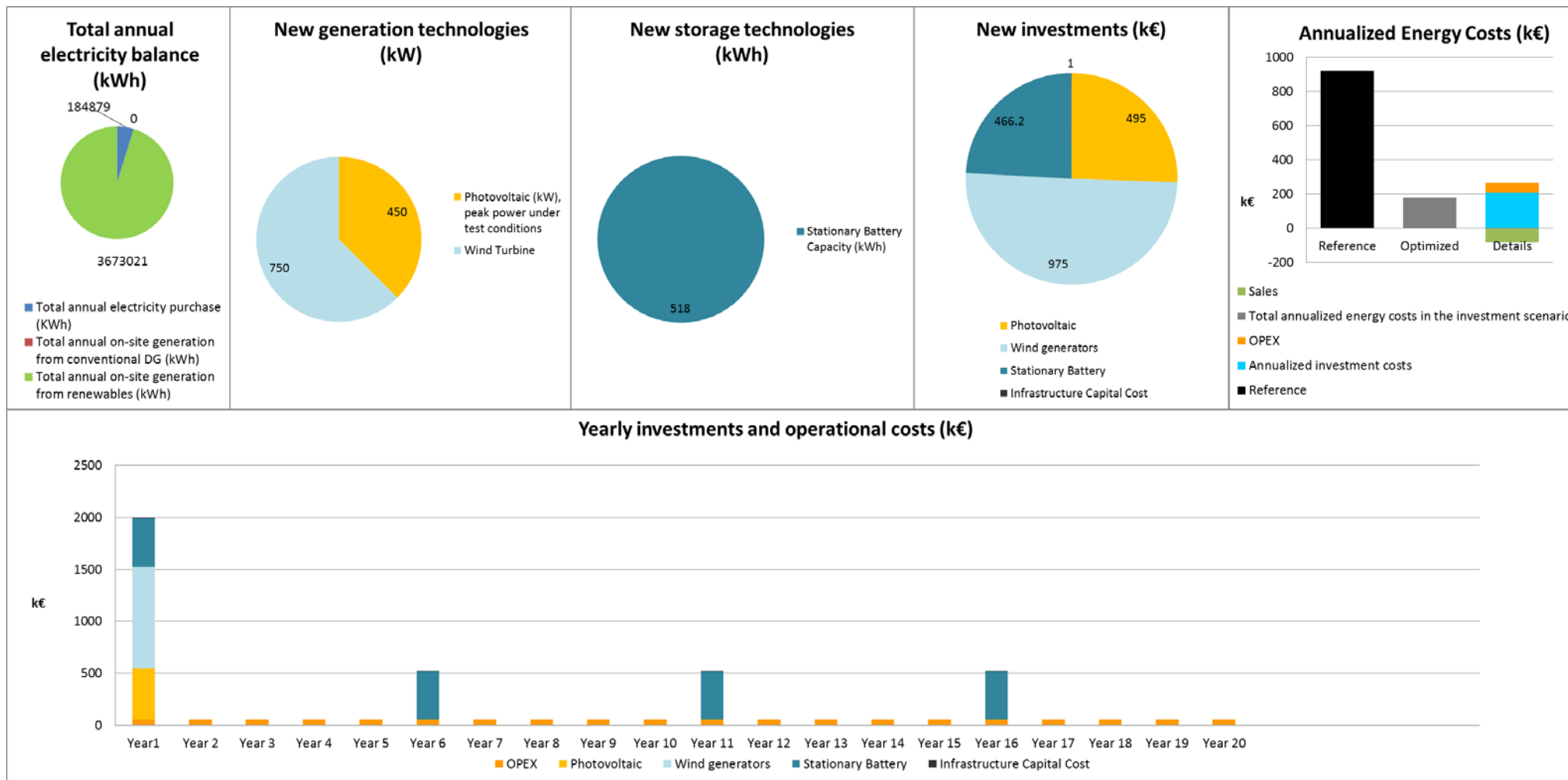
αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας από στατικές μπαταρίες είναι υψηλότερη (518kWh). Αυτό αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος, μειώνοντας τις διακοπές ρεύματος καθώς και τα αντίστοιχα έξοδα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή των μπαταριών αναμένεται να μειωθεί αρκετά στα προσεχή χρόνια, και αυτό το κόστος θα πρέπει να αναπροσαρμοστεί.

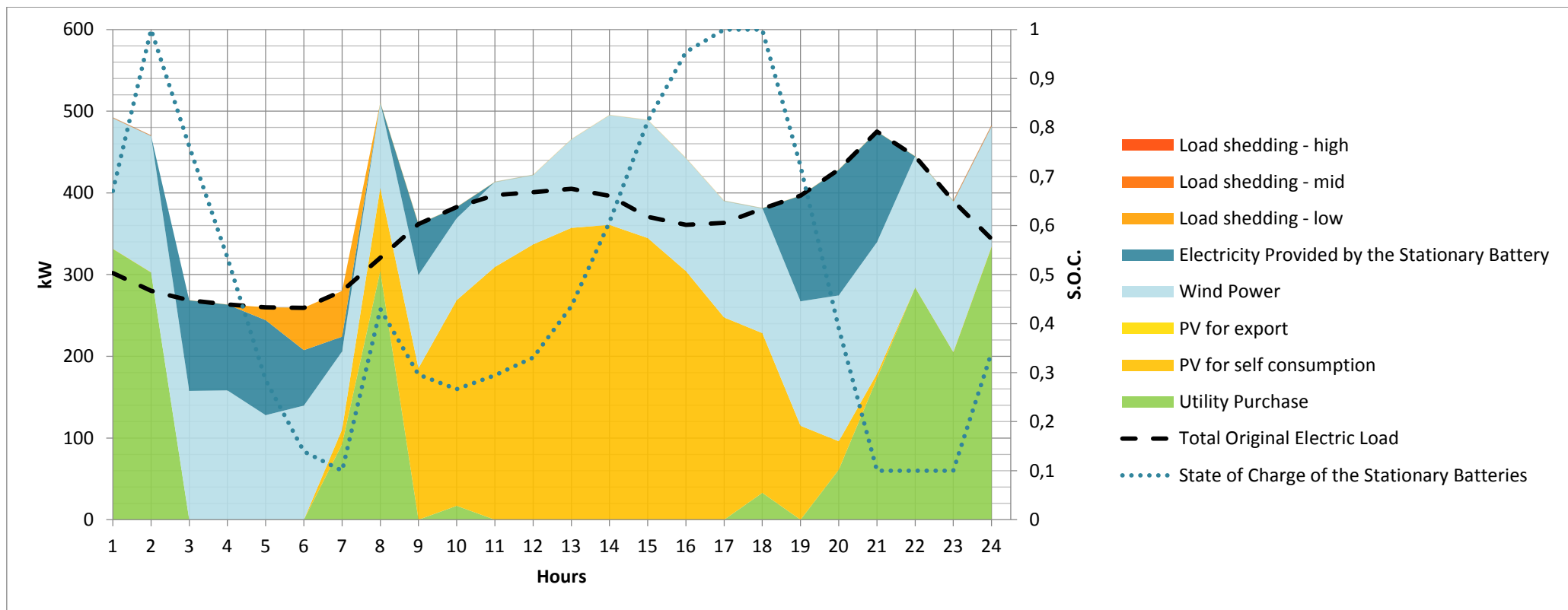
Το μείζονος σημασίας ζήτημα της ανθεκτικότητας του μικροδικτύου σε διακοπές παροχής απαντάται στην Εικόνα 3-9. Όταν μια διακοπή παροχής λαμβάνει χώρα και η ζήτηση ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την ικανότητα τοπικής παραγωγής ενέργειας και τα διαθέσιμα αποθεματικά, η τακτική της περικοπής φορτίου εφαρμόζεται σε χαμηλής προτεραιότητας ανάγκες, προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτή η κατάσταση. Διαφορετικά εάν δεν υπάρχει δυνατότητα τοπικής παραγωγής ενέργειας και αποθήκευσης αυτής (όπως στο σενάριο αναφοράς) θα προκύψει διακοπή παροχής ενέργειας με όλα τα συνακόλουθα μειονεκτήματα που περιεγράφηκαν πιο πάνω.

Συγκρίνοντας με την Εικόνα 3-6, για την ίδια ημέρα, με τα ίδια φορτία και για τις ίδιες 3 ώρες σε περίπτωση διακοπής, η λύση αυτή φαίνεται να είναι πιο αξιόπιστη, δίνοντας την καλύτερη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της υψηλότερης χωρητικότητας των σταθερών ηλεκτρικών στηλών, για τα ίδια αποθεματικά ενέργειας φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών. Σε αυτή την περίπτωση, περικοπή φορτίου εφαρμόζεται μόνο σε χαμηλής προτεραιότητας ανάγκες.

Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι σε αυτή τη βέλτιστη λύση, η περικοπή φορτίου που απεικονίζεται στο Σχήμα 3-9 εκδηλώνεται μόνο μία ημέρα του έτους.



Σχήμα 3-8. Περίληψη αποτελεσμάτων για την πολυπαραγοντική βέλτιστη λύση (70/30). Πηγή: DER-CAM,2016



Σχήμα 3-9. Βέλτιστη κατανομή – πολυπαραγοντική προσέγγιση (70/30), Μάιος κατάσταση ανάγκης Πηγή: DER-CAM, 2016

Στην συνέχεια επαναλήφθηκε η διαδικασία δέκα φορές για όλους τους συνδυασμούς όπως αναφέρονται στον Πίνακα 3-9, τα κάτωθι αποτελέσματα ελήφθησαν:

Πίνακας 3-12. Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής βελτιστοποίησης για διαφορετικούς συνδυασμούς συντελεστών βαρύτητας.

Wcost	WCO ₂	Energy cost (k€)	Electricity cost (k€)	CO ₂ emissions (tn)	Total load outage costs from load curtailments (k€)	Total load curtailments during outage events (kWh)
1	0	129.3	122.8	138.5	6.5	1,421
0.9	0.1	130.4	122.6	112.8	7.8	1,129
0.8	0.2	149.4	147.7	103.1	1.7	543
0.7	0.3	186.9	186.1	90.4	0.7	247
0.6	0.4	275.5	275.5	72.8	0.0	0
0.5	0.5	342.0	342.0	65.8	0.0	0
0.4	0.6	365.2	365.2	65.4	0.0	0
0.3	0.7	466.3	466.3	59.7	0.0	0
0.2	0.8	503.0	503.0	59.7	0.0	0
0.1	0.9	600.5	600.5	58.9	0.0	0
0	1	1,293.7	1,293.7	58.9	0.0	0
Cost optimization		124.2	119.3	123.0	4.9	878
Reference case		921.9	481.3	1,996.8	440.6	33,465

Όπως ήταν αναμενόμενο, καθώς ο συντελεστής βαρύτητας του CO₂ τείνει στο 1 και αντίστοιχα του παράγοντα κόστους τείνει στο μηδέν, τόσο αυξάνεται το κόστος της ενέργειας και μειώνονται οι εκπομπές CO₂ αντίστοιχα. Επίσης, οι περικοπές φορτίου από το Wcost 0.6/ WCO₂ είναι στο 0.4 και στη συνέχεια, γίνονται μηδέν.

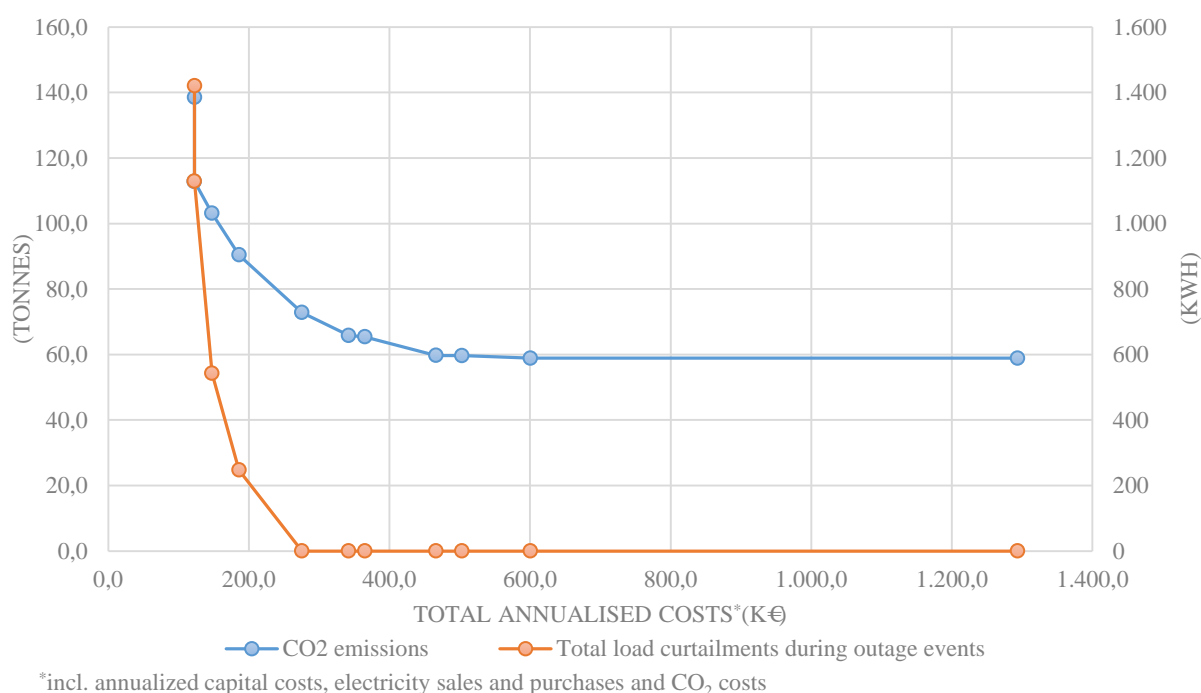
Τα ευρήματα αυτά αναπαριστώνται γραφικώς στα επόμενα δύο Σχήματα 3-10 και 3-11. Στους δύο κάθετους άξονες, αντιστοιχούν ό, τι η κάθε τοπική κοινότητα και κυβέρνηση θεωρούν ως βασικό στόχο, ενώ στον οριζόντιο άξονα αντιστοιχεί ό, τι ο δημιουργός της DER θεωρεί ως κύριο στόχο, είτε είναι ένας επενδυτής ή το DSO.

Στο αριστερό κάθετο άξονα, τοποθετούνται οι εκπομπές CO₂ που είναι ένα βασικό κριτήριο τόσο για τους φορείς χάραξης πολιτικής που στοχεύουν να φτάσουν τους ενεργειακούς στόχους της ΕΕ για το 2020, καθώς και για τις κοινότητες, ως δείκτη της ρύπανσης του περιβάλλοντος

Οι εκπομπές CO₂ έχουν επίσης μια οικονομική διάσταση που έχει συμπεριληφθεί στο συνολικό κόστος της ενέργειας, αλλά δεν θεωρείται από αυτή την άποψη.

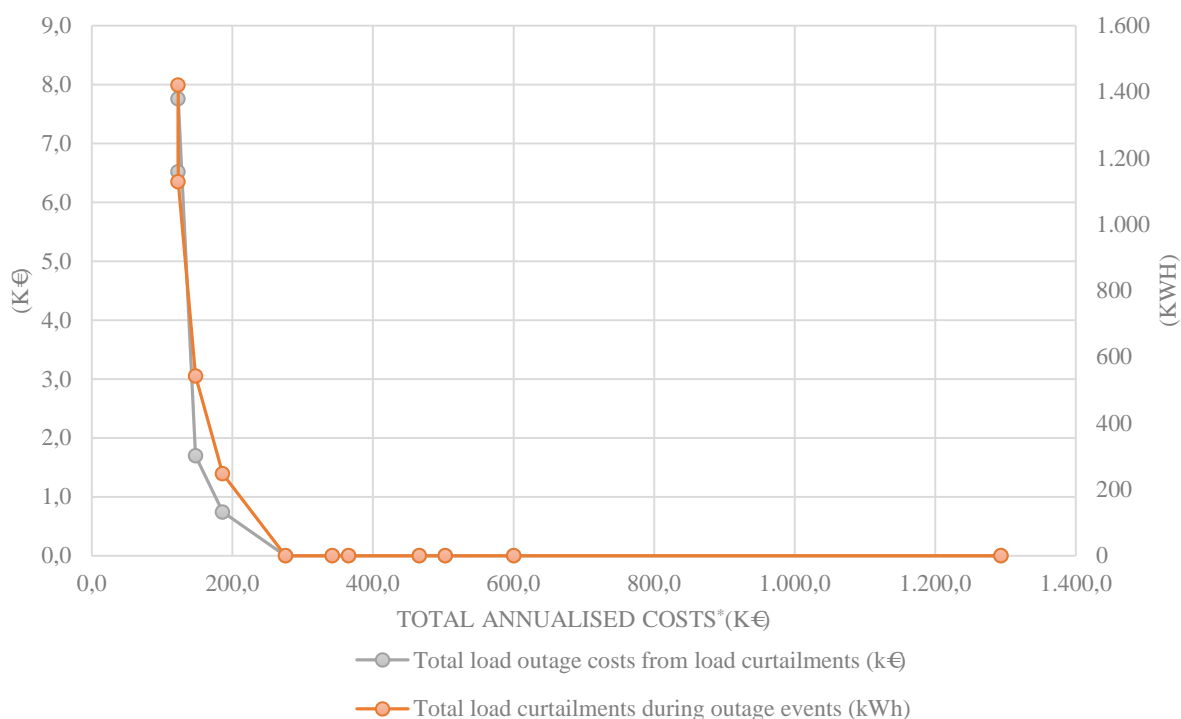
Ο δεξιός κάθετος άξονας αναπαριστά τις περικοπές φορτίου κατά τη διάρκεια μιας διακοπής σε KWh. Αντικατοπτρίζει την αξιοπιστία, ασφάλεια και ποιότητα ισχύος του μικροδικτύου. Όσο περισσότερη η μη διαθέσιμη ενέργεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναξιπιστία και αφερεγγυότητα του μικροδικτύου και κατά συνέπεια η ικανοποίηση του τελικού χρήστη.

Ο οριζόντιος άξονας υποδεικνύει το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου του κόστους κεφαλαίου ανα έτος, τις πωλήσεις και αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και το κόστος των εκπομπών CO₂. Με άλλα λόγια, το συνολικό κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος λειτουργίας για τον δημιουργό του έργου DER προκειμένου να ανταποκριθεί στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του τοπικού μικροδικτύου.



Σχήμα 3-10. Μη-κυρίαρχη βέλτιστη λύση σχεδιασμού και λειτουργίας υπό διαφορετικές πλευρές

Στο Σχήμα 3-11, παρουσιάζονται τόσο η τεχνική όσο και η και οικονομική πτυχή του κείριου ζήτηματος της αξιοπιστίας του μικροδικτύου. Στον αριστερό άξονα, τοποθετούνται οι οικονομικές επιπτώσεις από τις περικοπές φορτίου, συμπεριλαμβανομένων ζητημάτων όπως διακοπή των υπηρεσιών, απώλεια πωλήσεων, αλλοιωμένα εμπορεύματα, κεφάλαια που δαπανήθηκαν για την αγορά εφεδρικών γεννητριών κλπ. Αυτό το ζήτημα προσεγγίζεται μόνο από την πλευρά του πελάτη, γιατί μέχρι τώρα ο διαχειριστής του συστήματος δεν είναι υποχρεωμένος από το νόμο να πληρώσει για αυτές τις δαπάνες.



*incl. annualized capital costs, electricity sales and purchases and CO₂ costs

Σχήμα 3-11. Μη κυρίαρχη βέλτιστη λύση λαμβάνοντας υπόψη τους οικονομικούς στόχους.

Από τη σκοπιά του δημιουργού του DER οι προτιμότερες βέλτιστες λύσεις θα ήταν η δύο πρώτες, ενώ από την πλευρά της κάθε τοπικής κοινότητας - κυβέρνησης ιδανικές λύσεις φαίνεται να είναι τα δύο τελευταία.

Μια αμοιβαία επωφελής λύση για όλους τους ενδιαφερόμενους θα μπορούσε να είναι η πέμπτη στη σειρά, με συντελεστές βαρύτητας 0.6 για το κόστος και 0.4 για το CO₂ αντίστοιχα καθώς παρουσιάζει υψηλή αξιοπιστία χωρίς περικοπές φορτίου, αρκετά μειωμένες εκπομπές (96,3 % εκπομπές CO₂, εν συγκρίσει με το σενάριο αναφοράς)

και ικανοποιητικά κέρδη για τον επενδυτή που πραγματοποιεί την επένδυση, καθιστώντας την εφικτή και αρκετά ελκυστική.

Αν και σε αυτήν τη λύση η μείωση εκπομπών CO₂ (96.3%) δεν είναι η μέγιστη που θα μπορούσε να είναι, δεν υπάρχει αισθητή διαφορά μεταξύ της μέγιστης δυνατής εξοικονόμησης που είναι 97,1 % και της προτιμώμενης λύσης, ενώ συγκρίνοντας τις δύο προαναφερθείσες λύσεις, το συνολικό ετήσιο κόστος είναι υπερδιπλάσιο στην δεύτερη περίπτωση.

3.2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα παραπάνω ευρήματα δείχνουν ότι υπάρχουν περισσότερες από μία αμοιβαίως επωφελείς λύσεις για όλα τα ενδιαφερόμενα μέλη. Η τελική προτίμηση εξαρτάται από ποια οπτική γωνία προσεγγίζει κανείς το πρόβλημα.

Όσον αφορά τον επενδυτή, η επένδυση DER φαίνεται να είναι αρκετά ελκυστική με μια σύντομη PBP, αν υποτεθεί ότι μπορεί να πωλήσει ηλεκτρική ενέργεια με βάση το υφιστάμενο οριακό περιθώριο κέρδους συν τα κόστη που σχετίζονται με την εκπομπή του CO₂, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που έχουν τεθεί σχετικά με τη μέγιστη χωρητικότητα των εξαγωγών και τη μέγιστη παραγωγή DER ως μερίδιο της συνολικής ζήτησης σε ετήσια βάση.

Ειδικά αν ο δημιουργός DER είναι το DSO, εκτός από την εξοικονόμηση OPEX, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλα εξωτερικά οφέλη, όπως η μείωση των απωλειών διανομής, η καθυστέρηση ή αναβολή των επενδύσεων T&D, καθώς και η βελτίωση της ποιότητας ενέργειας.

Από την πλευρά της κάθε τοπικής κοινότητας, το όφελος είναι ένα πιο αξιόπιστο δίκτυο χωρίς διακοπές και τις επιπτώσεις τους που περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπό την προϋπόθεση ότι η κοινότητα θα εγκρίνει την τεχνική διαχείριση περικοπής φορτίου (κατά προτεραιότητα).

Σχετικά με την προτεινόμενη από το συγγραφέα λύση, μπορεί να παρατηρηθεί ότι δεν υπάρχουν διακοπές φορτίου, αν λάβουμε υπόψη τη βέλτιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, σε άλλες λύσεις που είναι τοποθετημένες στα αριστερά της προτεινόμενης λύσης στα παραπάνω διαγράμματα, ο περιορισμός φορτίου εμφανίζεται μόνο για ανάγκες με χαμηλή προτεραιότητα και για ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-9.

Κεφάλαιο 4

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Εσωτερική Συζήτηση

Όπως προαναφέρθηκε, διερευνάται η δυνατότητα αντικατάστασης των υφιστάμενων αυτόνομων μονάδων παραγωγής ενέργειας από άλλων με βάση ΑΠΕ, παράλληλα με τις κατάλληλες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας.

Ο βέλτιστος σχεδιασμός και λειτουργία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που διανέμεται, είναι ένα πολυπαραγοντικό ζήτημα που μπορεί να προσεγγιστεί από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Ο τελικός σκοπός της μελέτης αυτής είναι το να βρούμε την καλύτερη λύση για κάθε φορέα ξεχωριστά, και στη συνέχεια να οδηγήσει σε μια αμοιβαία επωφελή λύση για όλους τους ενδιαφερόμενους.

Το DER-CAM χρησιμοποιεί την κλασική προσέγγιση για την αντιμετώπιση των προβλημάτων με πολλαπλούς στόχους βελτιστοποίησης. Το DER - CAM χρησιμοποιεί το πρόγραμμα μικτών ακέραιων γραμμικών (MILP) που βρίσκει τη βέλτιστη επένδυση. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι και σταθμικού αθροίσματος, όταν εκτελείται η πολυπαραγοντική βελτιστοποίηση και η περιορισμένη μέθοδος, όταν εφαρμόζεται σε μονόπλευρους στόχους, όπως το κόστος η βελτιστοποίηση CO₂, που περιεγράφηκαν προηγουμένως. Με την αλλαγή, είτε των συντελεστών βαρύτητας των στόχων, είτε τον βασικό στόχο, προκύπτουν αρκετές βέλτιστες λύσεις που ονομάζονται σύνολο Pareto. Σε αυτή την προσέγγιση η λήψη αποφάσεων ακολουθεί τη διαδικασία βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων, με την αξιολόγηση των πιθανών λύσεων και την κατάληξη στην πλέον προτιμητέα.

Η κλασική μέθοδος προσέγγισης απαιτεί βαθιά γνώση του προβλήματος που διερευνάται από τον σχεδιαστή DER όταν διενεργεί την ανάλυση βελτιστοποίησης, δεδομένου ότι πρέπει να ορίσει πολλούς περιορισμούς, έτσι ώστε να καθορίζεται ένα ρεαλιστικό μοντέλο του υπάρχοντος δικτύου.

Σε αυτή τη μελέτη της περίπτωσης της Τήλου, έχουν γίνει πολλές υποθέσεις και αρκετές τεχνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις έχουν οριστεί προκειμένου να δημιουργήσει ένα αρκετά ρεαλιστικό μοντέλο DER που λαμβάνει υπόψη τις εξειδικευμένες συνθήκες.

Δεδομένου ότι ο κύριος στόχος αυτού του εργαλείου είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους και η αξιοπιστία και τα οφέλη της ποιότητας ισχύος δεν λαμβάνονται άμεσα υπόψη, όταν ένας σχεδιαστής DER θεωρεί ότι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, πρέπει να το προσεγγίσει μόνο με οικονομικά κριτήρια. Για παράδειγμα, όταν κάποιος μελετήσει το πρόβλημα βελτιστοποίησης DER από τη σκοπιά της DSO ο κύριος στόχος είναι η μείωση του OPEX. Εξωτερικά οφέλη, όπως η μείωση των απωλειών διανομής, η καθυστέρηση των επενδύσεων σχετιζόμενων με την βελτίωση του δικτύου καθώς και η βελτίωση της ποιότητας ισχύος δεν λαμβάνονται υπόψη.

Υπό την προοπτική αυτή, όταν το ίδιο ζήτημα είναι υπό διερεύνηση από τους επενδυτές, θεωρείται ότι μπορούν να πωλήσουν την ηλεκτρική ενέργεια με βάση τις τιμές των Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ). Στην περίπτωση της Τήλου οι τιμές συναλλάγματος έχουν οριστεί με βάση το οριακό κόστος ανά MWh συν τα περιθώρια των τιμών εκπομπών CO₂. Με άλλα λόγια, θεωρείται ότι στον σχεδιαστή DER θα καταβάλλεται αντίτιμο για κάθε MWh που παράγεται από DER στην ίδια τιμή που η ίδια ποσότητα ενέργειας θα κόστιζε να παραχθεί από υπάρχουσα υποδομή θερμοηλεκτρικού σταθμού. Έτσι, η συνολική εξοικονόμηση από το ετήσιο ενεργειακό κόστος επενδύσεων στο παρόν σενάριο, (συμπεριλαμβανομένων του ετήσιου κόστους του κεφαλαίου, των αγορών και πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και το κόστος του CO₂), εν συγκρίσει με την υπάρχουσα κατάσταση, θεωρείται ως ετήσιο έσοδο για τον επενδυτή.

Όταν ο κύριος στόχος από την σκοπιά των νησιωτών είναι η ιδανική αξιοπιστία και η ανθεκτικότητα του τοπικού μικροδικτύου, θα πρέπει να διερευνηθεί πάνω σε οικονομικές βάσεις.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι:

- Οι υφιστάμενες διακοπές παροχής έχουν οικονομικές επιπτώσεις στην τοπική κοινότητα , η οποία έχει συμφωνήσει για το επίπεδο προτεραιότητας του κάθε φορτίου, όπως αναφέρεται στον Πίνακα 2-7.
- Τόσο το DSO όσο και οι πελάτες λαμβάνουν υπόψη το κόστος από τις διακοπές .
- Η τεχνική περικοπής φορτίου έχει υιοθετηθεί τόσο από τον σχεδιαστή του DER όσο και από τους τελικούς χρήστες, αυτή εφαρμόζεται με βάση τις προτεραιότητες του φορτίου που έχουν παρουσιαστεί πιο πάνω

Η μόνη εξαίρεση είναι όταν ως κύριος στόχος έχει οριστεί η ελαχιστοποίηση των εκπομπών CO₂.

Επίσης, θεωρείται ότι η ενεργή διαχείριση εφαρμόζεται τόσο στο DER όσο και στην πλευρά του δικτύου, το οποίο επιτρέπει τη βέλτιστη ενεργειακή παροχή.

Επιπλέον, αρκετοί τεχνολογικοί και περιβαλλοντικοί περιορισμοί έχουν ληφθεί υπόψιν έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ρεαλιστικό μοντέλο που αντιπροσωπεύει την υφιστάμενη κατάσταση, λαμβάνοντας υπόψη τεχνικούς και φυσικούς περιορισμούς στη διαδικασία σχεδιασμού DER. Οι κύριοι περιορισμοί που ελήφθησαν υπόψιν είναι οι εξής:

- Τεχνολογικός περιορισμός: χρησιμοποιούνται μόνο φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες μαζί με σταθερές μπαταρίες.
- Ελάχιστη ετήσια παραγωγή DER : 0.8 της συνολικής ενεργειακής ζήτησης
- Μέγιστη ετήσια παραγωγή DER : 1.5 της ετήσιας ζήτησης ενέργειας .
- Μέγιστη χωρητικότητα για εξαγωγή: 1000kW λόγω τεχνικών περιορισμών .
- Ελάχιστη αποθήκευσης ενέργειας. Λόγω της διαλείπουσας φύσεως της αιολικής ενέργειας. Οι πωλήσεις από την παραγωγή αιολικής ενέργειας δεν επιτρέπονται χωρίς αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας Η ελάχιστη χωρητικότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας έχει οριστεί έτσι, ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στο φορτίο

υψηλού επιπέδου προτεραιότητας για 1,5 ώρες, που ήταν ο μέση διάρκεια διακοπής για την Τήλο το έτος 2015.

- Περιορισμός στην χρήση έκτασης: Υπάρχει περιορισμένος διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών μονάδων και ανεμογεννητριών

Επιπλέον, προκειμένου να περιοριστεί η οπτική επίδραση των ανεμογεννητριών και για την αύξηση της ικανότητας αποθήκευσης, μικρές ανεμογεννήτριες των 50kW έχουν οριστεί.

Δεδομένου ότι η ακρίβεια της λύσης MILP που το λογισμικό DER - CAM αποτυπώνει χρησιμοποιεί 1 % και μετά τις προαναφερθείσες παραδοχές και περιορισμούς που ελήφθησαν υπόψη έχει οριστεί το σύνολο των προτεινόμενων λύσεων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και θεωρούνται ως ρεαλιστικές λύσεις για το πραγματικό πρόβλημα.

Το γεγονός ότι οι επτά από τις έντεκα συνολικά προτεινόμενες λύσεις είναι οικονομικά εφικτές, δείχνει ότι οι επενδύσεις DER βασισμένες σε τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να εφαρμοστούν σε μεγάλη κλίμακα και να είναι επωφελείς για όλους τους ενδιαφερόμενους.

Παρά το γεγονός ότι στην παρούσα μελέτη δεν τα λιγότερο άμεσα οφέλη μιας τέτοιας επένδυσης δεν αξιολογούνται, μπορούν ωστόσο να αναφερθούν πολλά από αυτά.

Από την πλευρά του DSO, αν οι ενεργειακές πηγές που διανέμουν ενέργεια έχουν αναπτυχθεί σε πολλές περιοχές, θα μπορούν να υποστηρίξουν το δίκτυο παροχής, ώστε να αυξήσει την αξιοπιστία του να βελτιώσει την ποιότητας ισχύος. Επίσης, τα κόστη T&D θα μπορούσαν να μειωθούν ή να αποφευχθούν.

Επίσης, ο σχεδιασμός DER, αποφέρει πολλά πρόσθετα οφέλη για τις τοπικές κοινότητες, ενώ παράλληλα μπορούν γίνουν πιο ενεργειακά ανεξάρτητες. Η βελτίωση της ποιότητας ισχύος και της αξιοπιστία του συστήματος παροχής ενέργειας μπορεί να έχει πολλαπλά οικονομικά οφέλη από την πλευρά των εμπορικών δραστηριοτήτων.

Βέβαια, όταν μεγάλος αριθμός παραγόντων πρέπει να ληφθεί υπόψιν και οι δυο μέθοδοι είναι χρονοβόροι.

4.2 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Υπάρχουν αρκετές μελέτες που διερευνούν τη δυνατότητα αντικατάστασης των υφιστάμενων θερμικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα Ελληνικά μη διασυνδεδεμένα νησιά του Αιγαίου αρχιπελάγους, διότι σε αυτόν τον χώρο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι διαθέσιμες σε αφθονία. Οι περισσότερες από αυτές διερευνούν τη βέλτιστη ικανότητα ενός συγκεκριμένου τύπου ανανεώσιμης πηγής ενέργειας για τις προκαθορισμένες τοποθεσίες, προκειμένου να επιτευχθεί αυτόνομη λειτουργία (Kaldellis 2004, Kaldellis et al., 2010, Kaldellis et al., 2012).

Άλλες μελέτες αφορούν τη βέλτιστη ικανότητα των ΑΠΕ συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, για λειτουργία σε νησί (Kaldellis, 2008), ενώ κάποιες άλλες διερευνούν τόσο τεχνικές όσο και οικονομικές πτυχές (Kaldellis et al., 2009).

Η έρευνα αυτή εισάγει μια νέα προσέγγιση στο πρόβλημα του βέλτιστου/ιδανικού σχεδιασμού DER. Διερευνά διάφορες αλληλοσυγκρουόμενες πτυχές αυτού του προβλήματος, από εντελώς διαφορετικές οπτικές γωνίες. Οι κύριοι παράμετροι του προβλήματος βελτιστοποίησης που έχουν μελετηθεί σε αυτή την εργασία, είναι οικονομικού, περιβαλλοντικού και τεχνικού χαρακτήρα. Τα ζητήματα αυτά έχουν αντιμετωπιστεί με τον καθορισμό της κατάλληλης τεχνολογίας, την ιδανική χωρητικότητα στην εγκατάσταση αυτής καθώς και τη βέλτιστη ενεργειακή διανομή.

Παρά το γεγονός ότι οι διακοπές ρεύματος που αντιμετωπίζουν αυτά τα μικρά μη διασυνδεδεμένα νησιά έχουν υποδειχθεί σε πολλές μελέτες, αυτή είναι η πρώτη φορά

που αυτές οι διακοπές κοστολογούνται και συμμετέχουν στη διαδικασία βελτιστοποίησης.

Επιπλέον καθορίζεται η βέλτιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να αυξηθεί η εξοικονόμηση κόστους και να αποφευχθούν οι περικοπές φορτίου που οφείλονται σε διακοπές παροχής.

Ο τελικός στόχος αυτής της μελέτης είναι να βρεθεί η βέλτιστη λύση για κάθε στόχο ξεχωριστά και στη συνέχεια να προτείνει μια κοινώς επωφελή λύση για όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη.

Το γεγονός ότι υπάρχουν περισσότερες από μία επωφελείς για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς λύσεις, υποδηλώνει το εύρος για την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων και σε άλλα νησιά που αντιμετωπίζουν τα ίδια προβλήματα.

Κεφάλαιο 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΣΚΟΠΟΙ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΠΙΤΕΥΧΘΕΙ

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, όλοι οι αρχικοί στόχοι έχουν επιτευχθεί . Η προτεινόμενη λύση για την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε μικρά μη διασυνδεδεμένα νησιά διάσπαρτα στο Αιγαίο αρχιπέλαγος έλαβε υπόψη όλα τα θεμελιώδη προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι κάτοικοι των περιοχών αυτών.

Αν υλοποιηθεί επένδυση DER, θα υπάρξουν πολλαπλά οφέλη για τις τοπικές κοινότητες. Ένα πιο αξιόπιστο δίκτυο χωρίς διακοπές και τις οικονομικές τους επιπτώσεις (που περιγράφονται στα προηγούμενα κεφάλαια) αναμένεται να εφαρμοστεί . Σε ένα τέτοιο ενεργειακό περιβάλλον, πολλές εμπορικές δραστηριότητες θα μπορούσαν να αναπτυχθούν, ανοίγοντας παράλληλα και κάποιες νέες θέσεις εργασίας για τους κατοίκους της περιοχής. Επίσης, δεν θα υπάρχουν περιορισμοί για την ανάπτυξη του τουριστικού τομέα, δεδομένου ότι οι γεωδυναμικές τεχνολογίες είναι αρθρωτές (αποτελούνται από υπομονάδες) και εύκολα επεκτάσιμες απλά με την προσθήκη νέων υπομονάδων στο σύστημα, εάν κριθεί αναγκαίο στο μέλλον.

Όσον αφορά την κυβέρνηση, μια ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων DER σε μεγάλη κλίμακα σε πολλά νησιά, θα βοηθήσει για την επίτευξη των ενεργειακών στόχων που έχει δεσμευτεί. Επίσης, οι εισαγωγές καυσίμων θα περιοριστούν καθώς οι υφιστάμενοι σταθμοί παραγωγής ενέργειας καταναλώνουν είτε βαρύ πετρέλαιο ή πετρέλαιο ντίζελ.

Τέλος, καθώς η Τήλος είναι ένα αντιπροσωπευτικό μικρό μη διασυνδεδεμένο νησί, αυτή η εργασία καταδεικνύει ότι οι επενδύσεις DER μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμες και θα μπορούσαν να εφαρμοστούν ευρέως και σε άλλα νησιά.

5.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Τα κύρια ζητήματα που εξετάζονται στην παρούσα έρευνα είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους, η ελαχιστοποίηση των εκπομπών, CO₂, καθώς και η μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας των DER.

Ωστόσο, το DER - CAM εργαλείο βελτιστοποίησης που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εργασία έτσι ώστε να προβάλλει την περίπτωση της Τήλου ως παράδειγμα και να καθορίσει την βέλτιστη λύση προσεγγίζει τους στόχους αυτούς μόνο με οικονομικά κριτήρια, καθώς θα πρέπει να εφαρμοστεί υπό την έγκριση του πελάτη.

Για τον λόγο αυτό, οι διακοπές παροχής έπρεπε να κοστολογηθούν έτσι ώστε να ενσωματωθούν/ενταχθούν/συμπεριληφθούν στη διαδικασία βελτιστοποίησης. Επιπροσθέτως, πολλαπλά οφέλη και επιπτώσεις της ανάπτυξης DER δεν λαμβάνονται υπόψη.

Η ανάπτυξη ενός εξειδικευμένου/αποκλειστικού/ εξελικτικού αλγόριθμου που θα λαμβάνει υπόψη πολλαπλά κριτήρια και πολλούς εξωγενείς παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν το πολύ - παραγοντικό πρόβλημα της ένταξης DER σε μη διασυνδεδεμένα νησιά θα μπορούσε να αποτελεί το αντικείμενο για μια μελλοντική εργασία.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ- ΠΗΓΕΣ

Ackermann, T., Andersson, G., Söder, L., (2001). Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, 57(3), pp.195–204. [Online]. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779601001018> [Cited January 24, 2016].

Ahn, S.-J.et al., 2010. Power-Sharing Method of Multiple Distributed Generators Considering Control Modes and Configurations of a Microgrid. *IEEE Trans. Power Delivery*, 25(3), pp. 2007-2016. [Cited 17 November 2014].

Alarcon-Rodrigues, A. Ault, G., Galloway, S. (2012). Multi-objective planning of distributed energy resources: A review of the state-of-the-art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(5), pp1353-1366. Available from www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110000146 [Cited 22 November 2016].

Bayod Rújula, A.A., Mur Amanda, J., Bernal Agustin, J.L., Yusta Loyo, J.M., Dominguez Navarro, J.A. (2012). Definitions for Distributed Generation: a revision. [Online]. Available from: <http://www.icrepq.com/full-paper-icrep/295-bayod.pdf> [Cited 08 March 2016]

[CIA] Central Intelligence Agency (2016) *The World Factbook*. [Online]. Available from: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/gr.html> [Cited 17 March 2014].

[DOE] Department of Energy U.S., (2016). *Water Power Information Resources*. [Online]. Available from: <http://energy.gov/eere/water/water-power-information-resources> [Cited 16 March 2016].

[DOE] Department of Energy U.S., (2016a). Interruption Cost Estimate (ICE) Calculator - BETA. [online] Available at: <http://www.icecalculator.com/> [Cited 5 March, 2016].

Hellenic Statistical Authority (2016). 2011 Population-Housing Census. [online] Available at: <http://www.statistics.gr/en/2011-census-pop-hous> [Accessed 30 Mar. 2016].

Dulău, L.I., Abrudean, M., Bică, D., (2014). Distributed Generation Technologies and Optimization. *Procedia Technology*, 12, pp.687–692. [Online] Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017313007354> [Cited 12 March 2016]

[EEA] Energy efficiency in transformation (2011) - Assessment published Aug 2011. [Online] Available at: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/energy-efficiency-in-transformation/energy-efficiency-in-transformation-assessment-2> [Cited 17 November 2014].

[EIA] Energy Information Administration, (2013). *Today in Energy*. [Online]. Available from: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=12251> [Cited 18 February 2015]

[EIA] Energy Information Administration (2014a). *How much electricity is lost in transmission and distribution in the United States?* [Online] Available at: <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=105&t=3>. [Cited 17 November 2014].

[EIA] Energy Information Administration (2014b). Annual Energy Outlook 2014, s.l.: Available from: <http://www.eia.gov> [Cited 18 February 2015]

[EIA] Energy Information Administration (2014). *How much electricity is lost in transmission and distribution in the United States?* [Online] Available at: <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=105&t=3> [Cited 17 November 2014].

[EPA] United States Environmental Protection Agency (2016). *Combined Heat and Power (CHP) Partnership*. [Online] Available from: <https://www.epa.gov/chp> [Cited 12 March 2016]

[EPIA] European Photovoltaic industry Association (2013). Global Market Outlook for Photovoltaics 2013 – 2017. [Online]. Available from: <http://www.fotovoltaica.com/fv-look.pdf>. [Cited 16 February 2016].

EUROCOAL, (2012). EUROCOAL. [Online] Available at: <http://www.euracoal.be> [Cited 28 February 2015].

European Commission, 2011a. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, s.l.: s.n.

European Commission, 2011c. The Commission's new Energy Efficiency Plan, s.l.: s.n.

European Commission, 2013. Progress by Member States towards Nearly Zero-Energy Buildings, s.l.: s.n.

European Commission, 2014a. Climate Action. [Online]. Available from: http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm[Cited 17 November 2014].

European Commission, 2014b. Climate Action. [Online] Available from: http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/index_en.htm [Cited 17 November 2014].

European Parliament, 2009a. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union, 23 April, 140(16), pp. 16-62.

Eurostat, (2016). File:Households consumption of electricity per capita, MWh per capita, 2013.png Statistics Explained. [online] Available at: http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/File:Households_consumption_of_electricity_per_capita_MWh_per_capita_2013.png

[Accessed 30 Mar. 2016].

Eurostat, 2014a. Energy production and imports. [Online] Available from: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Energy_production_and_imports# [Cited 16 November 2014].

Eurostat, 2014b. Energy Dependence.[Online]. Available from: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/mapToolClosed.do?tab=map&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdcc310&toolbox=types> [Cited 16 November 2014].

Fazelpour, F., Soltani, N. & Rosen, M. A., 2014. Feasibility of satisfying electrical energy needs with hybrid systems for a medium-size hotel on Kish Island, Iran. *Energy*, August, Volume 73, pp. 856-865.

Gonzalez-Longatt, F., Fortoul, C. (2005), Review of the Distributed Generation Concept: Attempt of Unification, paper no 275, ICREPQ'05. [Online]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/228630017_Review_of_Distributed_Generation_Concept_Attempt_of_Unification [Cited 06 March 2016]

Hardesty (2014). Energy Manager Today. [Online] Available from: <http://www.energymanagertoday.com/whats-a-nanogrid-099702/> [Cited 17 November 2014].

[HEDNO S.A.] Hellenic Electricity Distribution Network Operator S.A. Issues of the Operator for the non-Interconnected Islands. [Online]. Available from: <http://www.deddie.gr/en/miniaia-deltia-ape-kai-thermikus-paragwgis-sta-mi-diasundedemena-nisia/2015> [Cited 07 March 2016].

Huang, W., Lu, M., Zhang, L., (2011). Survey on Microgrid Control Strategies. *Energy Procedia*, Volume 12, pp. 206-212. [Cited 17 November 2015].

[IEA], International Energy Agency (2002). Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets, Paris, p.128. [Online]. Available from: <http://www.iea.com> [Cited 13 March 2016].

[IEA] International Energy Information (2012). Renewables Information. . [Online]. Available from: http://www.iea.org/media/training/presentations/statisticsmarch/renewables_information.pdf [Cited 19 March 2016].

[IEA] International Energy Agency (2013). *Resources to Reserves 2013: Oil, Gas and Coal Technologies for the Energy Markets of the Future*. s.l.:OECD Publishing. [Cited 17 November 2014].

Jenkins, N. (2000). Embedded Generation. *Power & Energy*. Volume 31 Edition. The Institution of Engineering and Technology.

Kaldellis, J.K., (2008). Integrated electrification solution for autonomous electrical networks on the basis of RES and energy storage configurations. *Energy Conversion and Management*, **49**(12), pp. 3708-3720. Available

at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890408002586> [Cited 11 December 2015].

Kaldellis J.K., (2004). Optimum technoeconomic energy autonomous photovoltaic solution for remote consumers throughout Greece. *Energy Conversion and Management*, **45**(17), pp. 2745-2760. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890403003741> [Cited 05 March 2016].

Kaldellis, J.K., Gikaki, A., Kaldelli, E., Kapsali, M. (2012). Investigating the energy autonomy of very small non-interconnected islands. *Energy for Sustainable Development*, **16**(4), pp.476–485. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S097308261200052X> [Cited 07 March 2016]

Kaldellis, J.K., Kavadias, K.A. & Kondili, E., (2004). Renewable energy desalination plants for the Greek islands—technical and economic considerations. *Desalination*, **170**(2), pp.187–203. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916404800109> [Cited 05 March 2016]

Kaldellis, J.K., Simotas, M., Zafirakis, D., Kondili, E., (2009). Optimum autonomous photovoltaic solution for the Greek islands on the basis of energy pay-back analysis. *Journal of Cleaner Production*, **17**(15), pp. 1311-1323. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652609001528> [Cited 05 March 2016].

Kaldellis, J.K. & Zafirakis, D., 2007. Present situation and future prospects of electricity generation in Aegean Archipelago islands. *Energy Policy*, **35**(9), pp.4623–4639. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421507001425> [Cited 07 March 2016]

Kaldellis, J.K., Zafirakis, D., Kondili, E., (2010). Optimum sizing of photovoltaic-energy storage systems for autonomous small islands. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, **32**(1), pp. 24-36. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061509001021> [Cited 05 March 2016].

Kapsali, M., Kaldellis, J.K., (2010) Combining hydro and variable wind power generation by means of pumped-storage under economically viable terms. *Applied Energy*, **87**(11), pp. 3475-3485. [Online] Available from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261910002126>. [Cited 22 March 2016].

Lombardo, T. (2013). Technical Benefits of Distributed Energy Generation. [Online] Available from: <http://www.engineering.com/ElectronicsDesign/Electronics>

[DesignArticles/ArticleID/5924/Technical-Benefits-of-Distributed-Energy-Generation.aspx](#)

[Cited 13 March 2016].

[MEECC] Ministry of Environment, Energy and Climate Change (2010). *Accelerating the development of Renewable Energy Sources to deal with climate change and other regulations addressing issues under the authority of the Ministry of Environment, Energy and Climate Change*. [Online] Available from: <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=qtW90JJLYs%3D&tabid=37>. [Cited 17 November 2014].

McLarty, D., Brouwer, J., Ainscough, C. (2015). Development of an open access tool for design, simulated dispatch, and economic assessment of distributed generation technologies. *Energy and Buildings*, 105, pp.314–325. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815301808> [Cited 14 March 2016].

Mentis, D., Karalis, G., Zervos, A., Howells, M., Taliotis, C., Bazilian, M., Rogner, H. (2016). Desalination using renewable energy sources on the arid islands of South Aegean Sea. *Energy*, 94, pp.262–272. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215015248> [Cited 05 March 2016]

[MI] Microgrid Institute. (2016). *About Microgrids*. [Online] Available from: <http://www.microgridinstitute.org/about-microgrids.html> [Cited 16 March 2016].

[MBL] Microgrids at Berkeley Lab (2016). *Distributed Energy Resources Customer Adoption Model (DER-CAM)*. [Online] Available from: <https://building-microgrid.lbl.gov/projects/der-cam>. [Cited 21 March 2016].

[NREL] National Renewable Energy Laboratory (2016). National Center of Photovoltaics. [Online]. Available from: <http://www.nrel.gov/ncpv/>. [Cited 21 March 2016].

[NEZEH] NEZero Energy Hotels, 2014. [nezeh.eu](http://www.nezeh.eu). [Online]. Available from: <http://www.nezeh.eu/home/index.html> [Cited 17 November 2014].

[NGSC] National Grid USA Service Company, (2004.) *Managing Energy Costs in Full-Service Hotels*. [Online]. Available at: https://www.nationalgridus.com/non_html/shared_energyeff_hotels.pdf [Cited 18 February 2015].

Pepermans, G., Driesen, J., Haeseldonckx, D. (2005). Distributed generation: definition, benefits and issues. *Energy Policy*, 33(6), pp.787–798. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421503003069> [Cited 9 July 2014].

Petchers, N. (2003). *Combined heating, cooling & power handbook*. Lilburn, GA: Fairmont Press.

[PGEC] Pacific Gas and Electric Company (2016). *My Rate Plan Choices PG&E*. [Online] Available from: <http://www.pge.com/en/myhome/saveenergymoney/plans/index.page> [Cited 16 March 2016].

[RAE] Regulatory Authority of Energy. *Non-interconnected Islands*. [Online]. Available from: http://www.rae.gr/site/categories_new/electricity/market/mdn.csp [Cited 7 March 2016].

[RAE] Regulatory Authority of Energy, (2013). “ΑΠΟΦΑΣΗ ΡΑΕ ΥΠ’ ΑΡΙΘΜ. 468/2013. Υπολογισμός του μέσου μεταβλητού κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μονάδες στα Μη διασυνδεδεμένα Νησιά, στο πλαίσιο των διατάξεων του άρθρου 143 του ν. 4001/2011, προϋπολογιστικά για το δεύτερο εξάμηνο του έτους 2013” in Greek, 7 October 2013

Skittides, F.Ch. & Koilliari, P.El., (2006). *Introduction in Technological Research Paper methodology*, Sinchroni Ekdotiki: Athens

Tsakiris, F.R. (2010). Energy Development in the Non-Connected Islands of the Aegean Sea. Internship Report, EDIN Steering Committee. [Online]. Available from: <http://www.os.is/gogn/Skyrslur/OS-2010/OS-2010-08.pdf>. [Cited 11 March 2016].

Viral, R., Khatod, D.K., (2012). Optimal planning of distributed generation systems in distribution system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), pp.5146–5165. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112003498> [Cited 5 February 2016].

Wolf-Gerrit.F. & Stitides F., (2013) Specifications for the Preparation of Masters Dissertations

Wolf-Gerrit.F., Mallick T. K., Crighton O., Hunter A., (2013a). *Renewable Energy Technologies. Course code B51GE*. UK: Heriot Watt University

Yonghong K., Yongjun Z., Bin Z., Canbing L., Yijia C., Lijuan L., Long Z., (2016). Reliability and economic evaluation of power system with renewables: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **59**, pp.537–547. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211501727X> [Cited 19 February, 2016].

Zafirakis, D., Chalvatzis, K.J., Baiocchi, G., Daskalakis. G. (2013). Modeling of financial incentives for investments in energy storage systems that promote the large-scale integration of wind energy. *Applied Energy*, 105pp. 138-154. [Online] Available from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912008823>. [Cited 22 March 2016].

Zafirakis, D., Kaldellis, J.K.(2010) Autonomous dual-mode CAES systems for maximum wind energy contribution in remote island networks. *Energy Conversion and Management*, 51(11), pp. 2150-2161. [Online] Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890410001159>. [Cited 21 March 2016].

Zafirakis D., (2016). *TILOS project measurement*. [online] {Sent March 2016}.

УВ