



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Αξιολόγηση τεχνολογικών λύσεων και έργων για την αύξηση της
διείσδυσης των ΑΠΕ στο δίκτυο διανομής των ΜΔΝ (Μη
Διασυνδεδεμένων Νησιών) μέσω δεικτών KPIs**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θεόδωρος Δ. Καρνάρος

Επιβλέπων : Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Άρης Δημέας

Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

Δέσποινα Κουκουλά

Υποψήφια Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

Αθήνα, Νοέμβριος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Αξιολόγηση τεχνολογικών λύσεων και έργων για την αύξηση της
διείσδυσης των ΑΠΕ στο δίκτυο διανομής των ΜΔΝ (Μη
Διασυνδεδεμένων Νησιών) μέσω δεικτών KPIs**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θεόδωρος Δ. Καρνάρος

Επιβλέπων : Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Άρης Δημέας

Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

Δέσποινα Κουκουλά

Υποψήφια Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 7^η Νοεμβρίου 2013.

.....
Ν. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γ. Κορρές
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Π. Γεωργιλάκης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2013

.....
Θεόδωρος Δ. Καρνάρος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Θεόδωρος Δ. Καρνάρος, 2013.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η υλοποίηση προτάσεων-σεναρίων για την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης και η αξιολόγηση αυτών μέσω των δεικτών KPIs. Οι επενδύσεις αυτές εστιάζονται στον έλεγχο του οικιακού φορτίου με την διαχείριση οικιακών συσκευών. Πιο αναλυτικά, αρχικά, περιγράφεται η έννοια του ευφυούς δικτύου (smart grid) και τα πλεονεκτήματα του έναντι του υπάρχοντος δικτύου. Επίσης, αναφέρονται οι τεχνολογικές εφαρμογές που συναντούνται στα smart grids, καθώς και ορισμένα από τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί για την ορθή λειτουργία τους. Η σύνδεση των ευφύων δικτύων με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι αναπόσπαστη, γι' αυτό το λόγο μελετάται η δυνατότητα αύξησης της διείσδυσης των ΑΠΕ (μελλοντικός στόχος Ευρωπαϊκής Ένωσης) και τα εμπόδια που υπάρχουν σ' αυτό το εγχείρημα. Στη συνέχεια, γίνεται εκτενής αναφορά στους δείκτες αξιολόγησης KPIs (Key Performance Indicators). Δίνεται ο ορισμός, η δομή και οι επιμέρους κατηγορίες των δεικτών που έχει ορίσει η EEGI (European Electricity Grid Initiative). Ακολουθεί η περιγραφή των τεχνικών παραμέτρων του ηλεκτρικού συστήματος, όπως είναι οι περιορισμοί διείσδυσης, η καμπύλη κόστους καυσίμου και ο συντελεστής εκπομπών CO₂ και έπειτα περιγράφεται συγκεκριμένα το ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης και τα τεχνικά του χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια, δίνονται αναλυτικά οι ορισμοί και οι τύποι υπολογισμού των KPIs που χρησιμοποιήσαμε για την αξιολόγηση των επενδύσεων καθώς και τα σενάρια που προβήκαμε για τη βελτίωση του ηλεκτρικού συστήματος. Θεωρώντας ως έτος βάσης το έτος 2012, η ετήσια ανά ώρα ζήτηση του θα αποτελέσει το σενάριο αναφοράς-BAU. Το πρώτο σενάριο που μελετήθηκε αφορά την αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος μέχρι ο συντελεστής χρησιμοποίησης (capacity factor) να λάβει μία οριακή τιμή. Στο δεύτερο και στο τρίτο σενάριο μελετάται και αναλύεται ο έλεγχος της λειτουργίας του πλυντηρίου ρούχων και του κλιματιστικού αντίστοιχα. Αφού ελεγχθεί το μέγιστο δυνατό φορτίο αυτών των δύο οικιακών συσκευών, υπολογίσαμε τους δείκτες KPIs και αξιολογήσαμε την τελική κατάσταση του ηλεκτρικού συστήματος της Κρήτης. Όλα τα σενάρια υλοποιήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab.

Λέξεις-κλειδιά: Ευφύες δίκτυο, δείκτες KPIs, έλεγχος πλυντηρίων ρούχων, έλεγχος κλιματιστικών, διαχείριση οικιακών συσκευών, ηλεκτρικό σύστημα Κρήτης

Abstract

The purpose of this diploma thesis is the implementation of technical solutions-suggestions for the increase of the RES penetration in Cretan electrical system and their evaluation through KPIs indicators. These investments are focused on the control of the household load by managing household appliances. More thoroughly: the concept of smart grid is described and its advantages versus the existing grid are presented. Moreover, the technological applications that are applicable in smart grids are also mentioned, as well as certain standards that have been developed to ensure their proper function. The relation of the smart grids with the renewable energy resources is integral, and that is why the possibility of increase of the penetration of the RES (future goal of the European Union) and the obstacles that exist in this project are studied. Then there is an extensive reference to the KPI (Key Performance Indicators). There, we give the definition, the structure and the sub-categories of the indicators that have been stated by the EEGI (European Electricity Grid Initiative). The description of the technical parameters of the electrical system is given, such as the restrictions of penetration, the curve of fuel cost and the emission coefficient CO₂ and then the Cretan electrical system and its technical features is specifically described. Thereafter, the definitions and the types of calculation of the KPIs that we used for the evaluation of the investments are given in detail as well as the scenarios we proceeded with, for the improvement of the electrical system. Regarding 2012 as a year of base, its annual search per hour will constitute the Business-As-Usual scenario (BAU). The first scenario that has been studied is about the increase of the installed wind power capacity until the capacity factor takes a limit value. In the second and third scenario of the washing machine and the air-conditioning functional control is studied and analysed. After the maximum load manipulation of these two household appliances, we calculated the KPI indicators and evaluated the final condition of the Cretan electrical system. All scenarios were implemented using the Matlab program.

Key-words: smart grid, KPI indicators, control of the washing machine, control of the air conditioning, control of household appliances, Cretan electrical system

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνετέλεσαν σε αυτή.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Καθηγητή κ. Ν. Χατζηαργυρίου για τη δυνατότητα που μου έδωσε, μέσω της ανάθεσης αυτής της διπλωματικής εργασίας, να ασχοληθώ με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και τους δείκτες KPIs.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την υποψήφια Διδάκτορα Δέσποινα Κουκουλά για τη συνεχή καθοδήγηση, την επίβλεψη και τη βοήθεια σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω το Δρ. Δημέα Άρη για την πολύτιμη βοήθειά του.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, την αδερφή μου και τη γιαγιά μου για την αγάπη και τη συμπαράσταση που ανιδιοτελώς μου προσφέρουν από την πρώτη στιγμή, καθώς και για την υπομονή και την κατανόηση που έδειξαν σε όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω τους φίλους και τις φίλες μου, τους οποίους ευχαριστώ για όλη τη στήριξη τους από τα μαθητικά έως και τα φοιτητικά μου χρόνια.

Αφιερώνεται στη μνήμη του παιδικού μου φίλου Βαγγέλη.

Περιεχόμενα

1	Smart grid	15
1.1	Εισαγωγή.....	15
1.2	Ορισμός του Smart Grid.....	15
1.3	Πλεονεκτήματα του Smart Grid.....	17
1.4	Αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ	20
1.4.1	Αναγκαιότητα αύξησης των ΑΠΕ.....	20
1.4.2	Εμπόδια στην αύξηση της διείσδυσης.....	21
1.4.3	Μελλοντικοί στόχοι.....	22
2	KPIs	25
2.1	Εισαγωγή - Ορισμός.....	25
2.2	European Electricity Grid Initiative - EEGI	27
2.2.1	Εισαγωγή	27
2.2.2	Ρόλος των KPIs.....	29
2.2.3	Ανάλυση των implementation effectiveness KPIs.....	30
2.2.4	Ανάλυση των expected impact KPIs.....	31
3	Τεχνικές παράμετροι.....	37
3.1	Περιορισμοί διείσδυσης.....	37
3.2	Καμπύλη κόστους καυσίμου	41
3.3	Συντελεστής εκπομπής CO ₂	42
3.4	Ηλεκτρικό σύστημα Κρήτης.....	42
3.5	Στοιχεία για το σύστημα της Κρήτης.....	46
4	Περιγραφή KPIs	49
4.1	Μέσο μεταβλητό κόστος.....	49
4.2	Reduced CO ₂ emissions	50
4.3	Απόσβεση του CAPEX.....	51
4.4	Increased RES penetration	53
4.5	Increased RES hosting capacity	54
4.6	Reduced energy curtailment of RES.....	55
4.7	Increased system flexibility	56
5	Περιγραφή σεναρίων	57
5.1	Εκτενής παρουσίαση σεναρίων	57
5.1.1	Σενάριο Business As Usual-BAU	57

5.1.2	Σενάριο 1 ^ο Αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος	57
5.1.3	Σενάριο 2 ^ο Ελέγξιμο φορτίο: πλυντήρια ρούχων.....	63
5.1.4	Σενάριο 3 ^ο Ελέγξιμο φορτίο: κλιματιστικά.....	71
6	Παρουσίαση αποτελεσμάτων	77
6.1	Αποτελέσματα για το σενάριο αναφοράς – BAU.....	77
6.2	Αποτελέσματα για το σενάριο 1 ^ο	78
6.2.1	Υπολογισμός δεικτών KPIs	79
6.2.2	Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων	80
6.3	Αποτελέσματα για το σενάριο 2 ^ο	83
6.3.1	Υπολογισμός δεικτών KPIs	84
6.3.2	Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων	84
6.4	Αποτελέσματα για το σενάριο 3 ^ο	87
6.4.1	Υπολογισμός δεικτών KPIs	88
6.4.2	Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων	90
7	Συμπεράσματα	95
7.1	Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	95
7.2	Μελλοντικές επεκτάσεις	98
7.3	Επίλογος	98
8	Βιβλιογραφία.....	101

Εικόνες

Εικόνα 1: Σχέση τεχνολογικών λύσεων με τους βασικούς τομείς-στόχους του Smart Grid (4)	20
Εικόνα 2: Δραστηριότητες έρευνας και καινοτομίας για το EEGI Roadmap 2013-2022 (14).	28
Εικόνα 3: Χαρακτηριστικά των expected impact KPIs (14)	29
Εικόνα 4: Implementation Effectiveness Indicator από το project ENTSO-E “Monitoring R&D Roadmap” (14)	31
Εικόνα 5: Δομή των expected impact KPIs (14)	31
Εικόνα 6: Σχέση των θεμελιωδών KPIs με τους τρεις πυλώνες της ενεργειακής πολιτικής της Ε.Ε. (14)	33
Εικόνα 7: Σχέση των ειδικών KPIs με τους τρεις πυλώνες της ενεργειακής πολιτικής της Ε.Ε. (14)	35
Εικόνα 8: Σχέση μεταξύ KPIs ειδικού σκοπού και Project KPIs (14)	36
Εικόνα 9: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Κρήτη (19)	45
Εικόνα 10: Γεωπληροφοριακός χάρτης ΡΑΕ - αιολικά πάρκα Κρήτης (20)	46
Εικόνα 11: Διάγραμμα ροής 1 για το σενάριο 1 ^ο	60
Εικόνα 12: Διάγραμμα ροής 2 για το σενάριο 1 ^ο	61
Εικόνα 13: Διάγραμμα ροής 3 για το σενάριο 1 ^ο	62
Εικόνα 14: Διαθεσιμότητα της start-time delay ή pre-select function (23)	63
Εικόνα 15: Συχνότητα χρήσης της start-time delay λειτουργίας (23)	64
Εικόνα 16: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ώρας έναρξης της λειτουργίας του πλυντηρίου ρούχων για 10 χώρες της Ευρώπης (23)	65
Εικόνα 17: Διάγραμμα ροής 1 για το σενάριο 2 ^ο	68
Εικόνα 18: Διάγραμμα ροής 2 για το σενάριο 2 ^ο - προσέγγιση Α	69
Εικόνα 19: Διάγραμμα ροής 3 για το σενάριο 2 ^ο – προσέγγιση Β	70
Εικόνα 20: Σύγκριση της μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας με το μέσο φορτίο κλιματισμού χώρου ολόκληρο το χρόνο (24)	71
Εικόνα 21: Μετρήσεις της ενεργειακής κατανάλωσης των κλιματιστικών συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας (24)	72
Εικόνα 22: Καμπύλες ενεργειακής κατανάλωσης κλιματιστικών	72
Εικόνα 23: Διάγραμμα ροής 1 για το σενάριο 3 ^ο	74
Εικόνα 24: Διάγραμμα ροής 2 για το σενάριο 3 ^ο	75
Εικόνα 25: Καμπύλη διάρκειας ποσοστιαίας αύξησης της αιολικής παραγωγής	80
Εικόνα 26: Διείσδυση αιολικής παραγωγής για το σενάριο BAU και το σενάριο 1 ^ο την 81 ^η ημέρα του έτους	80
Εικόνα 27: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 1 ^ο την 81 ^η ημέρα του έτους (καθημερινή Μαρτίου, χαμηλή ζήτηση, υψηλά επίπεδα ανέμου)	81
Εικόνα 28: Διείσδυση αιολικής παραγωγής για το σενάριο BAU και το σενάριο 1 ^ο την 261 ^η ημέρα του έτους	82
Εικόνα 29: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 1 ^ο την 261 ^η ημέρα του έτους (καθημερινή Σεπτεμβρίου, μεσαία ζήτηση, χαμηλά επίπεδα ανέμου)	82
Εικόνα 30: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 1 ^ο την 64 ^η ημέρα του έτους (Σ/Κ Μαρτίου, χαμηλή ζήτηση, μεσαία επίπεδα ανέμου)	84

Εικόνα 31: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 2 ^ο Α την 64 ^η ημέρα του έτους.....	85
Εικόνα 32: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 1 ^ο την 353 ^η ημέρα του έτους (Καθημερινή Δεκεμβρίου, μεσαία ζήτηση, υψηλά επίπεδα ανέμου).....	85
Εικόνα 33: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 2 ^ο Α την 353 ^η ημέρα του έτους.....	86
Εικόνα 34: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 2 ^ο Β την 64 ^η ημέρα του έτους.....	86
Εικόνα 35: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 2 ^ο Β την 353 ^η ημέρα του έτους.....	87
Εικόνα 36: Εσωτερικός βαθμός απόδοσης – IRR	90
Εικόνα 37: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 1 ^ο την 357 ^η ημέρα του έτους (Σ/Κ Δεκεμβρίου, χαμηλή ζήτηση, υψηλά επίπεδα ανέμου)	90
Εικόνα 38: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 2 ^ο Α την 357 ^η ημέρα του έτους.....	91
Εικόνα 39: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 3 ^ο Α την 357 ^η ημέρα του έτους.....	91
Εικόνα 40: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 1 ^ο την 14 ^η ημέρα του έτους (Σ/Κ Ιανουαρίου, μεσαία ζήτηση, υψηλά επίπεδα ανέμου).....	92
Εικόνα 41: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 2 ^ο Β την 14 ^η ημέρα του έτους.....	92
Εικόνα 42: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 3 ^ο Β την 14 ^η ημέρα του έτους.....	93

Πίνακες

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά σταθμών παραγωγής Κρήτης (18).....	43
Πίνακας 2: Τεχνικά ελάχιστα ανά τύπο μονάδας (18)	45
Πίνακας 3: Τιμές καυσίμων (18).....	47
Πίνακας 4: Τιμές ΠΜΚ ανά τρίμηνο (18).....	47
Πίνακας 5: Πιθανότητα έναρξης ανά ώρα	65
Πίνακας 6: Ετήσια ζήτηση, παραγωγή και απόρριψη στο σύστημα της Κρήτης για το έτος 2012.....	77
Πίνακας 7: Τιμές παραμέτρων συστήματος.....	77
Πίνακας 8: Συντελεστές εκπομπών CO ₂ ανά τύπο μονάδας.....	78
Πίνακας 9: Ετήσια ζήτηση, παραγωγή και απόρριψη στο σύστημα της Κρήτης για το σενάριο 1 ^ο	78
Πίνακας 10: Τιμές παραμέτρων συστήματος	79
Πίνακας 11: Συντελεστές εκπομπών CO ₂ ανά τύπο μονάδας.....	79
Πίνακας 12: Υπολογισμός KPIs.....	79
Πίνακας 13: Ετήσια ζήτηση, παραγωγή και απόρριψη στο σύστημα της Κρήτης για το σενάριο 2 ^ο	83
Πίνακας 14: Τιμές παραμέτρων συστήματος	83
Πίνακας 15: Συντελεστές εκπομπών CO ₂ ανά τύπο μονάδας.....	83
Πίνακας 16: Υπολογισμός KPIs.....	84
Πίνακας 17: Ετήσια ζήτηση, παραγωγή και απόρριψη στο σύστημα της Κρήτης για το σενάριο 3 ^ο	87
Πίνακας 18: Τιμές παραμέτρων συστήματος	88
Πίνακας 19: Συντελεστές εκπομπών CO ₂ ανά τύπο μονάδας.....	88
Πίνακας 20: Υπολογισμός KPIs.....	88
Πίνακας 21: Υπολογισμός οικονομικών δεικτών NPV-ETA.....	89
Πίνακας 22: Παράμετροι συστήματος για την αρχική και την τελική κατάσταση του συστήματος	95
Πίνακας 23: KPIs τελικής-αρχικής κατάστασης του συστήματος	95
Πίνακας 24: Συγκεντρωτικός πίνακας των παραμέτρων του συστήματος για όλα τα στάδια.....	97

1 Smart grid

1.1 Εισαγωγή

Οι σύγχρονες απαιτήσεις της εποχής και ο σημερινός τρόπος ζωής του ανθρώπου του 21^{ου} αιώνα δεν θα μπορούσαν να μην επηρεάσουν και τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας όσον αφορά την παραγωγή, τη διανομή και τη μεταφορά της. Σημαντικές καινοτομίες εμφανίζονται και αρχίζουν να εφαρμόζονται με απώτερο σκοπό τη βιώσιμη ανάπτυξη, την αξιόπιστη ηλεκτροδότηση και την αποκέντρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτή η ανάγκη για άμεσες αλλαγές προήλθε από το γεγονός ότι τα τωρινά δίκτυα ηλεκτρισμού είναι κυρίως βασισμένα σε τεχνολογίες των προηγούμενων 30 χρόνων. Πρόκειται λοιπόν για δίκτυα που είναι σχεδιασμένα να υποστηρίζουν τη μονόδρομη ροή ενέργειας από τους μεγάλους κεντρικούς, πλήρως ελεγχόμενους, σταθμούς παραγωγής (αφετηρία της διαδρομής), προς τον τελικό καταναλωτή που βρίσκεται στο άλλο άκρο του δικτύου (τέλος διαδρομής). Στο πλαίσιο της εν λόγω διάταξης των δικτύων είναι φανερό ότι ο καταναλωτής περιοριζόταν σ' έναν παθητικό ρόλο μη μπορώντας να επηρεάσει την παραγωγή και τη ζήτηση προσδιορίζοντας το ενεργειακό του προφίλ μόνο με βάση τις ανάγκες του και προς όφελος του. Εκτός από την αδυναμία πρωτοβουλίας των καταναλωτών, ύψιστης σημασίας κρίθηκε το γεγονός ότι η ποσότητα καυσίμων που απαιτείται και τα αέρια που εκπέμπονται οδηγούν σε ταχύτερη απομύζηση των πρώτων υλών και σε μεγαλύτερα επίπεδα μόλυνσης του περιβάλλοντος καθώς και ότι το σύστημα δεν μπορεί σε μεγάλο βαθμό να υποστηρίξει την παράλληλη ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που αποτελούν τη λύση του μείζονος προβλήματος της κλιματικής αλλαγής.

Επομένως, αυτές οι σημαντικές αδυναμίες του τρέχοντος ηλεκτρικού δικτύου έδωσαν το έναυσμα για τον επανασχεδιασμό και τη δημιουργία ενός σύγχρονου δικτύου που θα είναι σε θέση να ανταποκριθεί στις ολοένα και αυξανόμενες απαιτήσεις του σημερινού καταναλωτή, αλλά και στην ενσωμάτωση διεσπαρμένων πηγών παραγωγής σε μεγαλύτερη κλίμακα. Στο νέο αυτό δίκτυο οι τεχνολογίες της επικοινωνίας και της πληροφορικής διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο σε όλα τα επιμέρους στάδια από την παραγωγή μέχρι την κατανάλωση. Έτσι φτάσαμε στην ιδέα και στην υλοποίηση του Smart Grid (ευφυές δίκτυο).

1.2 Ορισμός του Smart Grid

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία δίνονται τέσσερις διαφορετικές προσεγγίσεις για τον ορισμό του Smart Grid:

Σύμφωνα με το Electric Power Research Institute (ERPI) το Smart Grid παρουσιάζεται ως «μία ευφυής υποδομή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία υποστηρίζεται από τις τελευταίες τεχνολογίες στον τομέα της επικοινωνίας, του

υπολογισμού και της ηλεκτρονικής προκειμένου να ανταποκριθεί στις μελλοντικές απαιτήσεις της κοινωνίας σε ηλεκτρική ενέργεια». (1)

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το Smart Grid παρουσιάζεται ως «ένα εξελιγμένο ηλεκτρικό δίκτυο, του οποίου αναπόσπαστο κομμάτι είναι η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ παραγωγού και καταναλωτή και τα ευφυή συστήματα μέτρησης και παρακολούθησης της λειτουργίας του». (2)

Σύμφωνα με το European Commission Task Force for Smart Grid το Smart Grid παρουσιάζεται ως «ένα ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο με αποδοτικό τρόπο μπορεί να ενσωματώσει τη συμπεριφορά και τις δράσεις όλων των παραγόντων που βρίσκονται συνδεδεμένοι σε αυτό –παραγωγοί, καταναλωτές ή και καταναλωτές που παράγουν ενέργεια – ώστε να διασφαλίσει ένα οικονομικά αποδοτικό, βιώσιμο σύστημα ενέργειας με χαμηλές απώλειες και υψηλής ποιότητας υπηρεσία, σε ένα ασφαλές και αξιόπιστο δίκτυο». (3)

Σύμφωνα με το U.S. Department of Energy το Smart Grid παρουσιάζεται ως «ένα εκσυγχρονισμένο ηλεκτρικό δίκτυο που χρησιμοποιεί τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών για να συλλέξει και να επεξεργαστεί τις πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά των προμηθευτών και των καταναλωτών, με έναν αυτοματοποιημένο τρόπο, ώστε να βελτιώσει την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία, την οικονομία και τη βιωσιμότητα της παραγωγής και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας». (3)

Όπως παρατηρούμε από τους ανωτέρω ορισμούς το νέο ευφυές δίκτυο εκμεταλλευόμενο τις νέες τεχνολογίες στους τομείς της πληροφορικής και των επικοινωνιών, θα χαρακτηρίζεται από την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης, καθιστώντας τον καταναλωτή ενεργό στοιχείο του συστήματος, δίνοντας του τη δυνατότητα να προσδιορίζει την ενεργειακή του συμπεριφορά αλλά ακόμα και να παράγει και να εγγείει στο σύστημα ενέργεια (prosumer).

Κυρίαρχοι στόχοι του δικτύου παραμένουν η εξασφάλιση αξιοπιστίας (reliability), ασφάλειας (security) και προστασίας (safety), η επίτευξη της μέγιστης δυνατής αποδοτικότητας (efficiency), η οικονομικότερη παροχή των υπηρεσιών (economics) και η προστασία του περιβάλλοντος (environmental care). Η αξιοπιστία έγκειται στο τρόπο που θα σχεδιαστεί το σύστημα για τον εντοπισμό και την επιδιόρθωση ολικών ή μερικών βλαβών χωρίς να κινδυνεύει η υπόλοιπη λειτουργία του συστήματος. Έτσι θα αποφευχθούν σε σημαντικό βαθμό τα blackouts τα οποία έχουν σημαντικό αντίκτυπο σε οικονομικό αλλά και σε κοινωνικό επίπεδο. Η ασφάλεια και η προστασία θα επιτευχθούν μέσω πιο λεπτομερούς ελέγχου και παρακολούθησης της διαδικασίας της μεταφοράς και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Η αποδοτικότητα μέσω της αξιοποίησης εναλλακτικών μορφών ενέργειας για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ενέργειας αλλά και μέσω της ενεργού συμμετοχής του πελάτη στη διαδικασία εξοικονόμησης ενέργειας γεγονός το οποίο μπορεί να επιτευχθεί μέσω ευέλικτων προγραμμάτων demand-response. Η οικονομία θα επιτευχθεί διατηρώντας χαμηλά τα τιμολόγια της

ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και το ποσό που καταβάλλει ο καταναλωτής σε σύγκριση με το "business as usual" (BAU) δίκτυο. Τέλος η προστασία του περιβάλλοντος θα επιτευχθεί αυξάνοντας τη διείσδυση των ΑΠΕ στην παραγωγή η οποία θα οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών ρυπογόνων ουσιών.

1.3 Πλεονεκτήματα του Smart Grid

Το National Institute of Standards and Technology - NIST των ΗΠΑ και η Smart Grid Coordination Group - SG-CG, ως αντιπρόσωπος τριών οργανισμών European Committee for Standardization (CEN), the European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) and the European Telecommunications Standards Institute (ETSI) εξέδωσαν κοινή ανακοίνωση το Σεπτέμβριο του 2011 με την οποία ξεκινά η στενή συνεργασία τους για την ανάπτυξη κοινών προτύπων για τη σχεδίαση και λειτουργία των Smart Grids ώστε να επιτευχθεί η μεταξύ τους διαλειτουργικότητα. Ακολουθώντας τα συγκεκριμένα πρότυπα που θεσπίστηκαν, διαφαίνονται και τα πλεονεκτήματα που θα μας παρέχει το ευφυές δίκτυο τα οποία είναι τα εξής (4) :

- Επιτρέπει την ενεργή συμμετοχή των καταναλωτών. Ο καταναλωτής έχει τη δυνατότητα της επιλογής και έτσι αυξάνεται η αλληλεπίδραση με το δίκτυο γεγονός που αποφέρει απτά οφέλη τόσο για το δίκτυο όσο και για το περιβάλλον ενώ μειώνεται και το κόστος της διανεμόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Φιλοξενεί όλους τους δυνατούς τρόπους παραγωγής και αποθήκευσης. Η δυνατότητα για συνδέσεις τοποθέτησης και άμεσης λειτουργίας (plug and play) διαφορετικών πόρων πολλαπλασιάζει τις επιλογές για την παραγωγή και την αποθήκευση, συμπεριλαμβανομένων νέων τεχνολογιών που επιτρέπουν την αποτελεσματικότερη και καθαρότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Επιτρέπει τη δημιουργία νέων προϊόντων, υπηρεσιών και αγορών. Η ανοικτή αγορά (ελεύθερης πρόσβασης) φανερώνει τυχόν σπατάλες και αναποτελεσματικότητα και βοηθά να εξαλειφθούν βγάζοντας τες έξω από το σύστημα, ενώ παράλληλα προσφέρει νέες επιλογές στον καταναλωτή. Επιπλέον μειώνει τη συμφόρηση κατά τη μεταφορά της ενέργειας οδηγώντας σε πιο αποτελεσματικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.
- Βελτιστοποιεί τη χρήση του υπάρχοντος εξοπλισμού και λειτουργεί αποτελεσματικότερα. Επιτυγχάνει την επιθυμητή λειτουργικότητα με το ελάχιστο δυνατό κόστος και επιτρέπει την πληρέστερη αξιοποίηση του υπάρχοντος εξοπλισμού. Επίσης, το γεγονός ότι ακολουθείται ένα πιο στοχευμένο και αποτελεσματικό πρόγραμμα συντήρησης του δικτύου, οδηγεί σε λιγότερες αστοχίες στον εξοπλισμό και σε ασφαλέστερη λειτουργία.
- Προβλέπει και ανταποκρίνεται αυτόνομα στις διαταραχές του συστήματος («λειτουργεί αυτοάνοσα»). Το Smart Grid εκτελεί συνεχείς αυτοαξιολογήσεις για τον εντοπισμό και την ανάλυση της αίτιας του προβλήματος ώστε να

μπορεί να ανταποκριθεί και να επαναφέρει ή να παρακάμψει το σφάλμα είτε σε ένα στοιχείο του δικτύου, είτε σε ένα τμήμα του.

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι το Smart Grid θα μας παρέχει την απαιτούμενη ποιότητα στην παροχή υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και την επιθυμητή ευελιξία στην παραγωγή και την κατανάλωση, ώστε να καλύψουμε τις τωρινές αλλά και τις μελλοντικές μας ανάγκες.

Αναπόσπαστο κομμάτι του ευφυούς δικτύου είναι η χρήση της τεχνολογίας. Χαρακτηριστικά θα αναφέρουμε ορισμένες εφαρμογές της που συναντάμε σε ένα Smart Grid και που μας μαρτυρούν τις δυνατότητες του (4) .

- Προηγμένες υποδομές μέτρησης (Advanced Metering Infrastructure-AMI)
- Συστήματα εξυπηρέτησης καταναλωτή (Customer Side Systems-CS)
- Σύστημα διαχείρισης της ζήτησης (Demand Response-DR)
- Διαχείριση του συστήματος διανομής/ διανομή αυτοματισμών (Distribution Management System/Distribution Automation-DMS)
- Εφαρμογές ενίσχυσης του συστήματος μεταφοράς (Transmission Enhancement Applications-TA)
- Βελτιστοποίηση των περιουσιακών στοιχείων (εξοπλισμού) και του συστήματος (Asset/System Optimization-AO)
- Τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής (Distributed Energy Resources-DER)
- Τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (Information and Communications Technologies-ICT)

Στο σημείο αυτό αξίζει να παρουσιαστούν και ορισμένα πρότυπα που, όπως προαναφέρθηκε, έχουν αναπτυχθεί για την ορθή λειτουργία των Smart Grids. Τα πρότυπα αυτά είναι πολυάριθμα και ποικίλουν ανάλογα με τον τομέα στον οποίο αναφέρονται. Γι' αυτό το λόγο θα παρουσιαστούν ενδεικτικά τρία πρότυπα. Αφορούν στον τομέα διαχείρισης της ενέργειας, στον τομέα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας και στα μετρητικά συστήματα αντίστοιχα.

Πρότυπο IEC 61970

Η σειρά προτύπων IEC 61970 (5) ασχολείται με τις εφαρμογές προγραμματιστικών περιβαλλόντων στα συστήματα διαχείρισης ενέργειας (Energy Management System-EMS). Παρέχει ένα σύνολο κατευθυντήριων γραμμών και προτύπων ώστε να διευκολυνθεί:

- Η ενσωμάτωση στο κέντρο ελέγχου ενέργειας, χωρίς την παρουσίαση προβλημάτων συμβατότητας, εφαρμογών που προέρχονται από διαφορετικούς προμηθευτές.
- Η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ εξωτερικών συστημάτων, που σχετίζονται με την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, με

το κέντρο ελέγχου, δίνοντας παράλληλα τη δυνατότητα ακόμα και για ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

- Η παροχή των κατάλληλων διασυνδέσεων-διεπαφών για την ανταλλαγή δεδομένων με όλα τα μέρη του συστήματος, καθώς και με νέα συστήματα.

Πρότυπο IEC 61968

Η σειρά προτύπων IEC 61968 (6) βρίσκεται σε στάδιο ανάπτυξης και σκοπός της είναι να καθορίσει τον τρόπο με τον οποίο θα πραγματοποιείται η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των συστημάτων διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, μέσω αυτής της σειράς προτύπων επιτυγχάνεται:

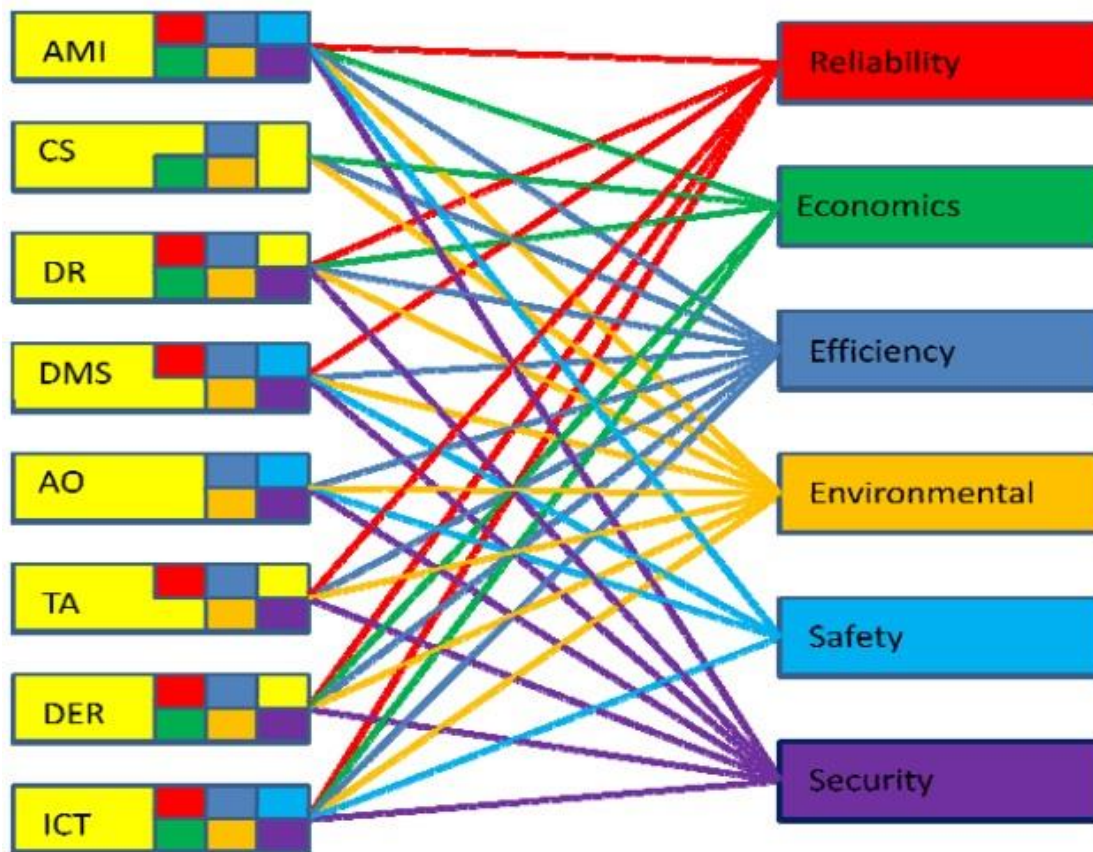
- Η ενσωμάτωση στο σύστημα διαφορετικών εφαρμογών συλλογής δεδομένων, οι οποίες μπορεί να έχουν διαφορετικά προγραμματιστικά και υπολογιστικά περιβάλλοντα.
- Ο καθορισμός όλων των σημαντικών στοιχείων της αρχιτεκτονικής των διασυνδέσεων, που χρειάζονται τα συστήματα διαχείρισης της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας για την εύρυθμη λειτουργία τους.

Πρότυπο IEC 62056

Η σειρά προτύπων IEC 62056 (7) περιγράφει το hardware και τις προδιαγραφές πρωτοκόλλου για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τοπικών μετρητών. Επιπλέον, η σειρά αυτή προσδιορίζει και τη λειτουργία των συσκευών που αποτιμούν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και έτσι επιτυγχάνεται:

- Η ηλεκτρική διασύνδεση των συσκευών μέτρησης και των συσκευών εξαγωγής του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η ανάγνωση και η συλλογή των μετρήσεων που απαιτούνται και ο προγραμματισμός των συσκευών κόστους.
- Η ηλεκτρική απομόνωση και η ασφάλεια των δεδομένων που συλλέγονται.
- Η συμβατότητα των νέων συσκευών με τον υπάρχον εξοπλισμό.

Η εφαρμογή των παραπάνω τεχνολογικών λύσεων, ακολουθώντας τα θεσπισμένα πρότυπα, αναμένεται να παρουσιάσει βελτιώσεις σε όλους τους στόχους του Smart Grid, αλλά και την επιθυμητή ομοιομορφία στις προτεινόμενες μελλοντικές λύσεις.



Εικόνα 1: Σχέση τεχνολογικών λύσεων με τους βασικούς τομείς-στόχους του Smart Grid (4)

Η εικόνα 1 προσδιορίζει τις σχέσεις μεταξύ των τεχνολογικών λύσεων που περιγράψαμε και των βασικών τομέων-στόχων του Smart Grid. Οι πολλές διασυνδέσεις που υπάρχουν απεικονίζουν τη στενή σχέση μεταξύ των λύσεων που προσφέρει το ευφυές δίκτυο, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν κατά το σχεδιασμό και την εφαρμογή του ώστε να έχουμε τα μέγιστα δυνατά οφέλη σε όλους τους τομείς.

1.4 Αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ

1.4.1 Αναγκαιότητα αύξησης των ΑΠΕ

Η στροφή προς τις ΑΠΕ είναι απολύτως αναγκαία για να αποφευχθούν οι δυσμενείς συνέπειες σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης ζωής. Η τεράστια εξάρτηση της Ευρώπης από τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακας) συνεχώς εντείνεται. Το γεγονός αυτό μας θέτει πολυάριθμα προβλήματα, μεταξύ των οποίων είναι η τιμή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου που επηρεάζουν την οικονομία μας και τη ζωή εκατομμυρίων επιχειρήσεων, η ρύπανση προφανώς, και τέλος, ελλοχεύει ο κίνδυνος κοινωνικών ταραχών όταν οι αγορές βρίσκονται σε κρίση. Οι παραπάνω λόγοι δημιουργούν ένα φάσμα περιορισμών που επηρεάζει πολλές εκφάνσεις της σημερινής κοινωνίας. Τέτοιοι είναι:

Οι γεωπολιτικοί περιορισμοί οι οποίοι βαρύνουν σε τεράστιο βαθμό τον τομέα της ενέργειας. Η Ευρώπη εξαρτάται κατά 50% από τις εισαγωγές της. Το ποσοστό αυτό θα ανέλθει σε 70% γύρω στο 2030. Οι εισαγωγές αυτές μάλιστα συνδέονται σχεδόν αποκλειστικά με τα ορυκτά καύσιμα.

Οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί που αρχίζουν να γίνονται αισθητοί στην καθημερινή μας ζωή. Ο σύγχρονος άνθρωπος οφείλει να δημιουργήσει τις προϋποθέσεις ώστε η παραγωγή ενέργειας και η μετακίνηση να γίνεται κατά τρόπο πιο συμβατό με το περιβάλλον. Τα ορυκτά καύσιμα θέτουν πολυάριθμα περιβαλλοντικά προβλήματα που συνδέονται με την καύση τους και τη μεταφορά τους, με σημαντικότερο από όλα την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Οι γεωοικονομικοί περιορισμοί που μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι σε πενήντα χρόνια τα κοιτάσματα πετρελαίου ή φυσικού αερίου θα έχουν σχεδόν εξαντληθεί. Ή ότι η εξόρυξή τους θα είναι πολύ δαπανηρή, και δεν θα έχει καμία σχέση με τις σημερινές τιμές. Με άλλα λόγια, αυτοί οι πόροι υπάρχουν στη φύση σε πεπερασμένες ποσότητες και η αλόγιστη σπατάλη τους θα αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα για την ανάπτυξη της κοινωνίας μας στο μέλλον.

1.4.2 Εμπόδια στην αύξηση της διείσδυσης

Η περιγραφή των παραπάνω περιορισμών καταδεικνύει ξεκάθαρα την αναγκαιότητα για μεγαλύτερη εκμετάλλευση των ΑΠΕ. Ωστόσο, η αύξηση της διείσδυσης τους στο σύστημα είναι μία διαδικασία η οποία συναντά αρκετά εμπόδια κυρίως λόγω του απαρχαιωμένου σχεδιασμού και των τεχνικών χαρακτηριστικών του δικτύου αλλά και λόγω της φύσεως των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες εξαρτώνται από παράγοντες που δεν είναι πλήρως ελέγξιμοι.

Συγκεκριμένα, το δίκτυο λειτουργεί βασισμένο σε μεγάλους κεντρικούς ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς οι οποίοι είναι χτισμένοι σε στρατηγικά σημεία και συνδέονται με συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης για να στηρίζουν την ηλεκτροδότηση μεγάλων περιοχών. Ο σχεδιασμός αυτός έχει ως επακόλουθο την ύπαρξη μεγάλων κέντρων παραγωγής ενέργειας και έτσι δεν υποστηρίζεται η διεσπαρμένη παραγωγή, γεγονός που αναμφίβολα αποτελεί τροχοπέδη για την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ.

Οι ΑΠΕ που είναι προσφορότερες για εκμετάλλευση σε μεγάλη κλίμακα στην Ελλάδα είναι η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Η ηλιοφάνεια στην περιοχή διαρκεί αρκετές ώρες ανά μέρα και αρκετές μέρες ανά χρόνο, καθιστώντας έτσι σε μεγάλο βαθμό προβλέψιμη και σχετικά σταθερή την παραγωγή ηλεκτρισμού από συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας, αν και οι παροδικές νεφώσεις θα μπορούσαν να δημιουργήσουν προβλήματα σε περίπτωση που υπάρχουν εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας στην ίδια περιοχή. Αντίθετα, ο άνεμος από τη φύση του παρουσιάζει μεγαλύτερη μεταβλητότητα, με αποτέλεσμα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες να μην είναι σταθερή, ως προς την παραγόμενη ενέργεια και τα

χαρακτηριστικά του ρεύματος. Έτσι η ενσωμάτωση αιολικών πάρκων σε μεγάλη κλίμακα (>30%) σε ένα ηλεκτρικό σύστημα απαιτεί επανεξέταση του σχεδιασμού του συστήματος και του τρόπου λειτουργίας του. Σε κάθε περίπτωση, τα προβλήματα που προκύπτουν δεν είναι μόνο τεχνικής φύσης, αλλά και οικονομικής σε μεγάλο βαθμό.

Αυτή η αδυναμία του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου να ενσωματώσει με επιτυχία τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας (οι οποίες εξαρτώνται από τοπικές και καιρικές συνθήκες) στο δίκτυο με τρόπο που να μην επηρεάζει την αξιοπιστία του συστήματος (η οποία τώρα εξασφαλίζεται από την χρήση των μη ανανεώσιμων μη μεταβλητών πηγών ενέργειας οι οποίες εγγυημένα θα δώσουν το ζητούμενο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας) έχει παράλληλα και σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, η ρύπανση του οποίου αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα σήμερα.

Ένα άλλο πρόβλημα αποτελεί το γεγονός ότι υπάρχει περιορισμένη πρωτοβουλία στην ενσωμάτωση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στις ευρωπαϊκές αγορές ηλεκτρισμού. Όμως, η ευρεία ένταξη των ΑΠΕ στα συστήματα οδηγεί σε αυξημένες ανάγκες για εφεδρεία, μέρος των οποίων θα μπορούσε να καλυφθεί από τα μέσα αποθήκευσης ενέργειας, τα οποία δυστυχώς δεν υποστηρίζονται από το υπάρχον δίκτυο κι έτσι χάνεται η δυνατότητα για περαιτέρω αύξηση.

1.4.3 Μελλοντικοί στόχοι

Στο ευρωπαϊκό στρατηγικό σχέδιο ενεργειακών τεχνολογιών (Σχέδιο ΣΕΤ), «η πορεία προς τις χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα» (8) προβλέπεται:

- Μια ευρωπαϊκή πρωτοβουλία για την επικέντρωση στην ανάπτυξη ενός ευφυούς συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο θα συμπεριλαμβάνει και συστήματα αποθήκευσης.
- Οι εργασίες να στραφούν στην κατανόηση της αναγκαιότητας διαχείρισης του ηλεκτρικού δικτύου και των ρυθμιστικών απαιτήσεων ώστε να υλοποιηθούν μελλοντικά σχέδια αποθήκευσης ενέργειας, καθώς υπάρχουν σημαντικά ρυθμιστικά και άλλα εμπόδια στην αγορά που κάνουν αδύνατη την πλήρη αξιοποίηση των συστημάτων αποθήκευσης στο δίκτυο ηλεκτροδότησης.
- Ειδικότερα για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται: α) 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 β) 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας και γ) 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας. (Σχέδιο Δράσης 20-20-20) (9)
- Βασική πρόκληση είναι η ευσταθής λειτουργία των ευρωπαϊκών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας υπό υψηλή διείσδυση ΑΠΕ παράλληλα με τους στόχους για το 2020 και το 2050. Στο πλαίσιο αυτό η πρόταση ενός πλήθους σεναρίων για τη στοχαστική παραγωγή, την αποθήκευση και τη μεταφορά είναι απαραίτητη.

- Η αξιοποίηση όλων των θεσμικών αλλαγών που έχουν ήδη υλοποιηθεί ή δρομολογούνται ώστε να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας μέσω βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και υιοθέτησης πολιτικών ορθολογικής χρήσης ενέργειας σε όλους τους τομείς.
- Η ανάπτυξη συγκεκριμένων τεχνολογιών, όπως οι αντλίες θερμότητας, καθώς και η ενίσχυση και περαιτέρω ανάπτυξη εφαρμογών από θερμικά ηλιακά συστήματα και βιομάζα τόσο στον οικιακό και τριτογενή τομέα, όσο και στη βιομηχανία.

Οι καίριες τεχνολογικές προκλήσεις που θα αντιμετωπίσει η Ε.Ε. την επόμενη δεκαετία για την επίτευξη των στόχων του 2020 είναι:

- να καταστεί δυνατό ένα ενιαίο, ευφυές ευρωπαϊκό διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, ικανό να δέχεται σε μαζική κλίμακα την ένταξη ανανεώσιμων και αποκεντρωμένων ενεργειακών πηγών.
- να προσφέρονται σε μεγάλη κλίμακα στην αγορά αποδοτικότερες συσκευές και συστήματα για τη μετατροπή και για την τελική κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια, τις μεταφορές και τη βιομηχανία, όπως η συμπαραγωγή και οι κυψέλες καυσίμων.

Οι καίριες τεχνολογικές προκλήσεις που θα αντιμετωπίσει η Ε.Ε. την επόμενη δεκαετία για την επίτευξη των στόχων του 2050 είναι (10) :

- να καταστεί ανταγωνιστική στην αγορά η επόμενη γενιά τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- να επιτευχθεί πρόοδος στην οικονομική απόδοση των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας.
- να καταστρωθούν εναλλακτικά σενάρια και στρατηγικές μετάβασης για την ανάπτυξη διευρωπαϊκών ενεργειακών δικτύων και άλλων συστημάτων που είναι απαραίτητα για τη στήριξη της μελλοντικής οικονομίας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Ήδη από το 2008 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ξεκίνησε μια ευρωπαϊκή πρωτοβουλία αναφορικά με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία εστιάζει στην ανάπτυξη ενός ευφυούς ηλεκτρικού συστήματος που θα περιλαμβάνει και αποθήκευση. Επίσης το ίδιο έτος η Ευρωπαϊκή Επιτροπή άρχισε μια δράση αναφορικά με την κατασκευή δικτύων και την οργάνωση της μετάβασης των συστημάτων με στόχο την βελτιστοποίηση της ανάπτυξης ενός ενιαίου δικτύου χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρώπη καθώς και εργαλείων και μοντέλων σε ευρωπαϊκό επίπεδο σε πεδία όπως ευφυή αμφίδρομα ηλεκτρικά δίκτυα.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το Smart Grid αποτελεί σημαντικό κομμάτι του σχεδίου για την υπέρβαση των εμποδίων που έχουν παρουσιαστεί, δίνοντας την επιθυμητή δυνατότητα για την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ σε σημαντικό βαθμό και με ασφαλή τρόπο.

2 KPIs

2.1 Εισαγωγή - Ορισμός

Όπως έχει περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, η Ε.Ε. έχει καταστρώσει το σχέδιο για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που έχουν προκύψει από την ανάπτυξη του ευφυούς δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Το σχέδιο αυτό βασίζεται κυρίως σε υλοποίηση στόχων που αφορούν τον εκσυγχρονισμό και την αναβάθμιση του τρέχοντος ηλεκτρικού συστήματος. Ωστόσο, ο βαθμός επίτευξης αυτών των στόχων δεν μπορεί να γίνει κατανοητός αν δεν τους ποσοτικοποιήσουμε. Γι' αυτό το λόγο γεννήθηκε η ανάγκη για την ανάπτυξη ορισμένων δεικτών ικανών να μετρήσουν επιδόσεις. Αυτοί οι δείκτες ονομάζονται Key Performance Indicators-KPIs, δηλαδή βασικοί δείκτες απόδοσης.

Μία εταιρία ή ένας οργανισμός μπορεί να χρησιμοποιεί τους KPIs για να εκτιμήσει την επιτυχία της/του ή ακόμα και για να αξιολογήσει την επιτυχία μιας συγκεκριμένης δραστηριότητας στην οποία εμπλέκεται. Μερικές φορές η επιτυχία ορίζεται με βάση την επίτευξη προόδου προς την κατεύθυνση των στρατηγικών στόχων, αλλά συχνά η επιτυχία είναι απλώς η επαναλαμβανόμενη, περιοδική επίτευξη ενός επιπέδου του στόχου που έχουμε θέσει. Ως εκ τούτου, η επιλογή του σωστού KPI βασίζεται σε μια λεπτομερή ανάλυση του τι είναι σημαντικό για την εταιρία ή τον οργανισμό. Επομένως, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον εντοπισμό των τομέων την πρόοδο των οποίων θέλουμε να αξιολογήσουμε μέσω των KPIs. Οι εκτιμήσεις των δεικτών απόδοσης είναι πιθανό να μας οδηγήσουν σε πιθανές πρωτοβουλίες που πρέπει να αναληφθούν για να έχουμε βελτίωση του ποσοστού επίτευξης του στόχου μας. (11)

Όταν, λοιπόν, ένας οργανισμός έχει αναλύσει την αποστολή του, έχει προσδιορίσει όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη και έχει καθορίσει τους στόχους του, χρειάζεται έναν τρόπο για τη μέτρηση της προόδου προς την κατεύθυνση των στόχων αυτών. Επομένως, βλέπουμε ότι η χρήση των KPIs δεν περιορίζεται ούτε στον τύπο του οργανισμού, ούτε στο αντικείμενο που πραγματεύεται. Γι' αυτό το λόγο οι KPIs χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ενεργειών στο χώρο της οικονομίας, της πληροφορικής και της τεχνολογίας, της βιομηχανίας, της ενέργειας κ.α.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ορισμένα παραδείγματα της ευρείας χρήσης των δεικτών (12) :

- Μια επιχείρηση μπορεί να έχει ως έναν από τους βασικούς δείκτες απόδοσης της το ποσοστό των εσόδων της, που προέρχεται από τους πελάτες που είχαν σταματήσει να αγοράζουν για ένα χρονικό διάστημα το αγαθό που προσφέρει η επιχείρηση και οι οποίοι επέστρεψαν στην αγορά του και πάλι (return customers).
- Ένα σχολείο μπορεί να έχει ως έναν από τους βασικούς δείκτες απόδοσης τα ποσοστά αποφοίτησης των μαθητών του.

- Ένα τμήμα εξυπηρέτησης πελατών μπορεί να έχει ως έναν από τους βασικούς δείκτες απόδοσης το ποσοστό των κλήσεων των πελατών που απαντήθηκαν μέσα στο πρώτο λεπτό.
- Μία οργάνωση παροχής κοινωνικών υπηρεσιών μπορεί να έχει ως έναν από τους βασικούς δείκτες απόδοσης τον αριθμό των πελατών που έλαβαν βοήθεια κατά τη διάρκεια του έτους.

Παρ' όλα αυτά η χρήση ενός KPI χωρίς συγκεκριμένο σκοπό δημιουργεί σύγχυση και δε βοηθά στην εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων για την ενέργεια ή το έργο που επιθυμούμε να αξιολογήσουμε. Κατά συνέπεια ένας KPI πρέπει να έχει καθοριστεί με τέτοιο τρόπο που να τον κάνει κατανοητό, ουσιαστικό και μετρήσιμο. Δείκτες που καθορίζονται με ασαφή τρόπο και που εξαρτώνται από παράγοντες που κρίνονται μη ελέγξιμοι αγνοούνται από τους οργανισμούς ή τις εταιρίες.

Τη λύση σ' αυτό το πρόβλημα δίνει η ακολουθία των πρότυπων κριτηρίων SMART. Το SMART είναι ένας μνημονικός κανόνας που ορίζει τα κριτήρια που απαιτούνται για τον καθορισμό στόχων. Κάθε ένα από τα κεφαλαία γράμματα αντιστοιχεί σ' ένα διαφορετικό κριτήριο για την αξιολόγηση ενός στόχου (13) .

- **S** : Specific – Το πρώτο κριτήριο τονίζει την ανάγκη για τον καθορισμό ενός συγκεκριμένου στόχου αντί ενός στόχου γενικού περιεχομένου. Αυτό σημαίνει ότι ο στόχος πρέπει να είναι σαφής και ξεκάθαρος, χωρίς ιδιομορφίες και κοινοτυπίες. Για να κάνουμε ένα στόχο συγκεκριμένο θα πρέπει να έχουμε πλήρη γνώση για το τι αναμένεται απ' το στόχο αυτό, γιατί είναι σημαντικός, ποια είναι τα ενδιαφερόμενα μέρη που εμπλέκονται στην επίτευξη του, σε ποιο τομέα εστιάζεται και ποια είναι τα σημαντικά του χαρακτηριστικά.
- **M** : Measurable - Το δεύτερο κριτήριο τονίζει την ανάγκη για διακριτά κριτήρια για τη μέτρηση της προόδου προς την επίτευξη του στόχου. Η σκέψη πίσω από αυτό είναι ότι, αν ένας στόχος δεν είναι μετρήσιμος, δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε αν έχει πραγματοποιηθεί πρόοδος προς την επιτυχή ολοκλήρωση του.
- **A** : Attainable - Το τρίτο κριτήριο τονίζει τη σημασία των στόχων που είναι ρεαλιστικοί και επιτεύξιμοι. Ένας στόχος δεν πρέπει να είναι ακραίος, παρ' όλο που μπορεί να απαιτεί σημαντική προσπάθεια για την υλοποίησή του. Δηλαδή δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ εύκολος, ούτε ακατόρθωτος διότι σ' αυτές τις περιπτώσεις χάνει το νόημα του. Αφού, λοιπόν, προσδιορίσουμε ένα στόχο που είναι σημαντικός πρέπει να ελέγξουμε τους τρόπους που θα μας βοηθήσουν να τον φέρουμε εις πέρας. Επομένως, απαιτείται η ανάπτυξη των κατάλληλων συμπεριφορών, ικανοτήτων και δεξιοτήτων καθώς και εύρεση των οικονομικών πόρων για την ολοκλήρωση ενός στόχου.
- **R** : Relevant - Το τέταρτο κριτήριο υπογραμμίζει τη σημασία της επιλογής των στόχων που έχουν σημασία. Οι σχετικοί στόχοι (όταν πληρούνται)

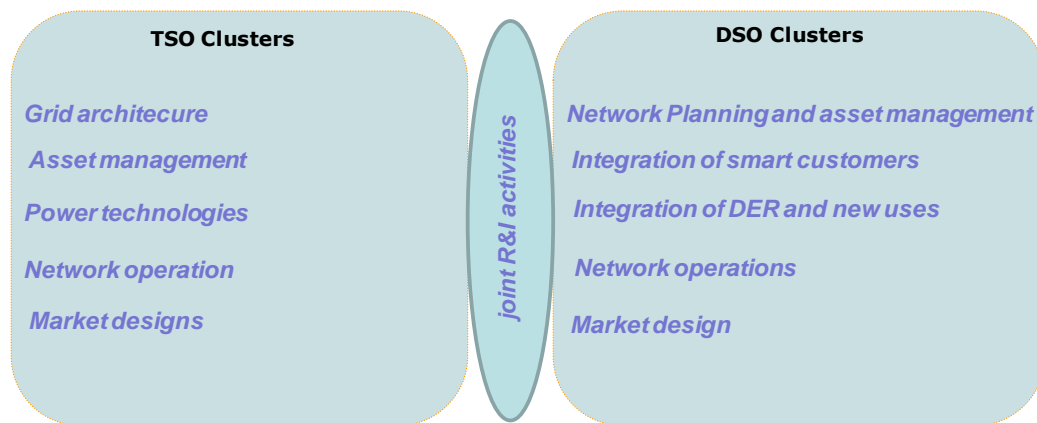
οδηγούν την ομάδα, το τμήμα και τον οργανισμό προς τα εμπρός. Ένας στόχος που υποστηρίζει ή είναι σε ευθυγράμμιση με άλλους στόχους θα μπορούσε να θεωρηθεί σχετικός.

- **T : Time-Bound** - Το πέμπτο κριτήριο τονίζει τη σημασία της θέσπισης στόχων μέσα σε ένα χρονικό διάστημα, δίνοντάς τους μια ημερομηνία-στόχο. Η δέσμευση σε μια προθεσμία βοηθά μια ομάδα να επικεντρώσει τις προσπάθειές της στην ολοκλήρωση του στόχου κατά ή πριν από την ημερομηνία λήξης της προθεσμίας. Αυτό κρίνεται αναγκαίο ώστε να δημιουργείται η αίσθηση του επείγοντος κι έτσι να μην παρουσιάζεται αναβλητικότητα στην επίτευξη ενός στόχου.

2.2 European Electricity Grid Initiative - EEGI

2.2.1 Εισαγωγή

Η χρήση των KPIs, λοιπόν, δίνει τη δυνατότητα στους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου να διαχωρίσουν και να εξετάσουν τις υπάρχουσες αλλά και νέες καινοτόμες προτάσεις. Αρχικά εξετάζεται ένα "Business As Usual" (BAU) σενάριο. Πρόκειται για μία προσέγγιση στην οποία ακολουθούνται υπάρχουσες μέθοδοι και τεχνολογίες για την επίτευξη ενός στόχου ή την επίλυση ενός προβλήματος. Συγκεκριμένα, η εξέταση και ανάλυση μίας "Business As Usual" (BAU) προσέγγισης για τη βελτίωση του υφιστάμενου Ευρωπαϊκού δικτύου μεταφοράς και διανομής οδήγησε στο συμπέρασμα ότι θα περιορίσει την εφαρμογή προσιτών τρόπων και μέσων για την επίτευξη των στόχων της κλιματικής και ενεργειακής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Γι' αυτό το λόγο το τμήμα Έρευνας και Καινοτομίας (Research & Innovation - R&I) της EEGI (European Electricity Grid Initiative – Ευρωπαϊκή Πρωτοβουλία Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας) έχει προσδιορίσει ένα συνεκτικό σύνολο R&I δραστηριοτήτων για την επίτευξη του στόχου "20-20-20" καθώς και του στόχου για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ως το 2050. Όλες αυτές οι ενέργειες περιγράφονται στον EEGI Roadmap 2010-2018 (χάρτης πορείας της έρευνας και της καινοτομίας της EEGI), ο οποίος έχει αναθεωρηθεί από το τέλος του 2012 σ' έναν νέο EEGI R&I Roadmap 2013-2022, ο οποίος περιλαμβάνει clusters (ομάδες ή ενότητες) των λειτουργικών στόχων τόσο των εταιριών μεταφοράς όσο και των εταιριών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και μία σειρά από κοινές R&I δραστηριότητες (Εικόνα 2). (14)



Εικόνα 2: Δραστηριότητες έρευνας και καινοτομίας για το EEGI Roadmap 2013-2022 (14)

Πρωταρχικό στόχο του EEGI R&I Roadmap 2013-2022 αποτελεί: **“να μπορούν τα Ευρωπαϊκά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας να παρέχουν συνεχώς αποτελεσματικές και ευέλικτες δυνατότητες για την ενσωμάτωση δράσεων των χρηστών του δικτύου σε προσιτό κόστος”**.

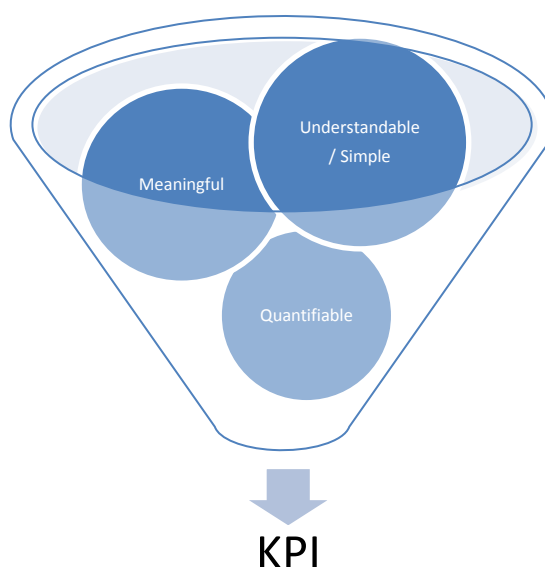
Επειδή ο στόχος αυτός είναι σύνθετος με αρκετές παραμέτρους που ορίζουν την επιτυχή υλοποίηση του κρίθηκε αναγκαίος ο προσδιορισμός ενός συνόλου KPIs που θα βοηθήσουν στην ποσοτικοποίηση της συνεισφοράς αυτών των R&I δραστηριοτήτων στους γενικούς στόχους του EEGI R&I Roadmap. Συνάμα θα αναδείξουν και τον καταλυτικό ρόλο που θα διαδραματίσουν οι εταιρίες εκμετάλλευσης του δικτύου.

Αυτό το σύνολο των KPIs έχει ορισθεί και αναλυθεί στα πλαίσια των παρακάτω projects:

- KPIs of the European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSOE) cost-benefit analysis method defined to quantify contributions of projects of the Ten Year Network Development Plan (TYNDP) 2012.
- KPIs and criteria for selection of Projects of Common Interest (PCI) in the field of smart grids defined in the framework of the Smart Grid Task Force (SGTF) – Expert Group 4.
- KPIs defined by on-going R&I projects in Europe (GRID4EU, EcoGridEU, InovGrid, TWENTIES, etc.).
- Criteria defined in the CEER 4th Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply.

Οι καινοτομίες που συμβάλλουν στον EEGI Roadmap θα πρέπει να υποστηρίζονται από δύο είδη των KPIs (14):

- Οι implementation effectiveness KPIs (αποτελεσματικής εφαρμογής KPIs) που μετρούν την πρόοδο των δραστηριοτήτων έρευνας και καινοτομίας, σαν ένα ποσοστό ολοκλήρωσης ενός λειτουργικού στόχου ή ενός συνόλου λειτουργικών στόχων ενός cluster που ορίζει ο EEGI Roadmap.
- Οι expected impact KPIs (αναμενόμενων επιπτώσεων KPIs) που εκτιμούν τη συμβολή των νέων R&I επιτευγμάτων που δημιουργούνται μέσω του EEGI Roadmap.



Εικόνα 3: Χαρακτηριστικά των expected impact KPIs (14)

2.2.2 Ρόλος των KPIs

Σύμφωνα με την EEGI οι προτεινόμενοι KPIs έχουν τρεις κύριους ρόλους (14):

1. Την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την αξιολόγηση των R&I δραστηριοτήτων που εφαρμόζονται. Σκοπός είναι να μπορεί να εξεταστεί, μέσω των KPIs, ο βαθμός επίτευξης των γενικών στόχων που έχει θέσει ο EEGI roadmap.
2. Την υποστήριξη των νέων καινοτόμων μεθόδων και τεχνικών που προκύπτουν μέσω των R&I δραστηριοτήτων, καθώς και την περαιτέρω ανάπτυξη τους ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικότερα και αν είναι εφικτό και με χαμηλότερο κόστος σε μελλοντικά έργα (τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο).
3. Την δυνατότητα σύγκρισης των διαφορετικών R&I δραστηριοτήτων που πρόκειται να εφαρμοστούν για την υλοποίηση των πρωταρχικών στόχων της EEGI. Για παράδειγμα οι KPIs επιπτώσεων αποσκοπούν να κατατάξουν τα

αποτελέσματα των R&I δραστηριοτήτων που υλοποιούνται για την επίτευξη των μακροπρόθεσμων στόχων για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Τα αποτελέσματα αυτών των KPIs μπορούν να συγκριθούν και να αξιολογηθούν καταλλήλως, ώστε να βοηθήσουν τους πολιτικούς φορείς, τις ρυθμιστικές αρχές και τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου να ετοιμάσουν το σχέδιο για την εφαρμογή, σε ευρεία κλίμακα, των καινοτόμων λύσεων στο δίκτυο.

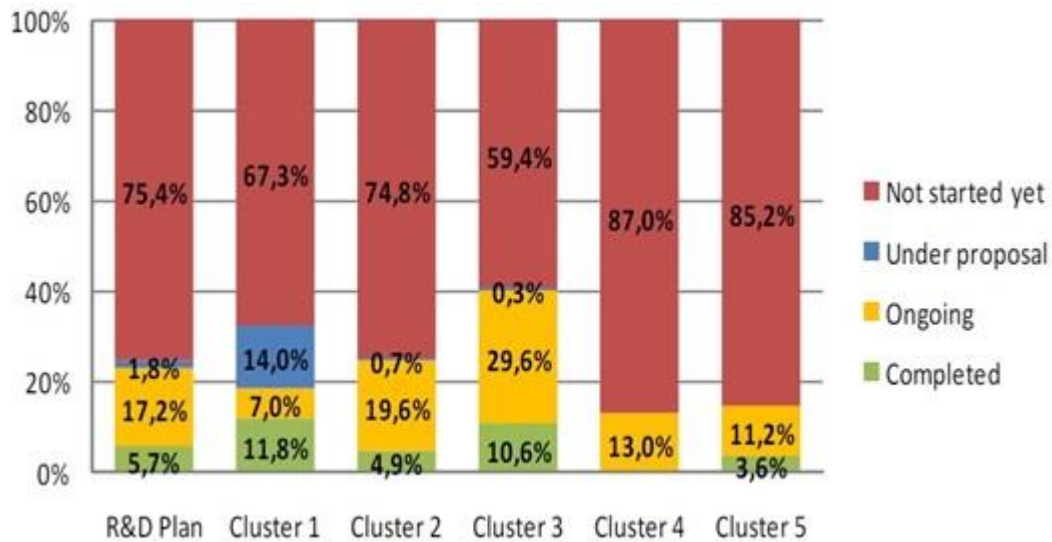
2.2.3 Ανάλυση των implementation effectiveness KPIs

Στα πλαίσια του πρώτου EEGI Roadmap του 2010, καθώς και του τρέχοντος Roadmap, έχει ξεκινήσει η υλοποίηση των έργων ευρείας κλίμακας για τη βελτίωση του δικτύου. Ωστόσο, αναγκαία κρίνεται η εκτίμηση της κατάστασης των R&I έργων ώστε στη συνέχεια να αξιολογηθεί η αποτελεσματική εφαρμογή των δραστηριοτήτων του EEGI Roadmap προκειμένου να συλλέξουμε τα στοιχεία εξέλιξης και προόδου που απαιτούνται ενόψει της επόμενης αναθεώρησης του EEGI Roadmap. Μ' αυτό τον τρόπο θα εντοπιστούν οι τομείς που χρειάζονται περαιτέρω ανάπτυξη και θα καθοριστούν οι νέες τρέχουσες προτεραιότητες της EEGI για την επίτευξη του στόχου "20-20-20". (14)

Όπως προαναφέραμε, ο implementation effectiveness KPI μετρά το ποσοστό ολοκλήρωσης των R&I στόχων που ορίζονται από τον EEGI Roadmap. Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό αυτού του είδους KPI περιλαμβάνει την αξιολόγηση των δραστηριοτήτων που:

- έχουν ολοκληρωθεί (completed)
- η υλοποίηση τους έχει ξεκινήσει αλλά δεν έχει ολοκληρωθεί (ongoing)
- είναι υπό συζήτηση (under proposal)
- δεν έχουν ξεκινήσει ακόμα (not started yet)

Τα αποτελέσματα μπορούν να συγκεντρωθούν από cluster σε cluster για όλο τον R&I Roadmap. Ενδεικτικά παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα (Εικόνα 4) τα αποτελέσματα για το project ENTSO-E "Monitoring R&D Roadmap":



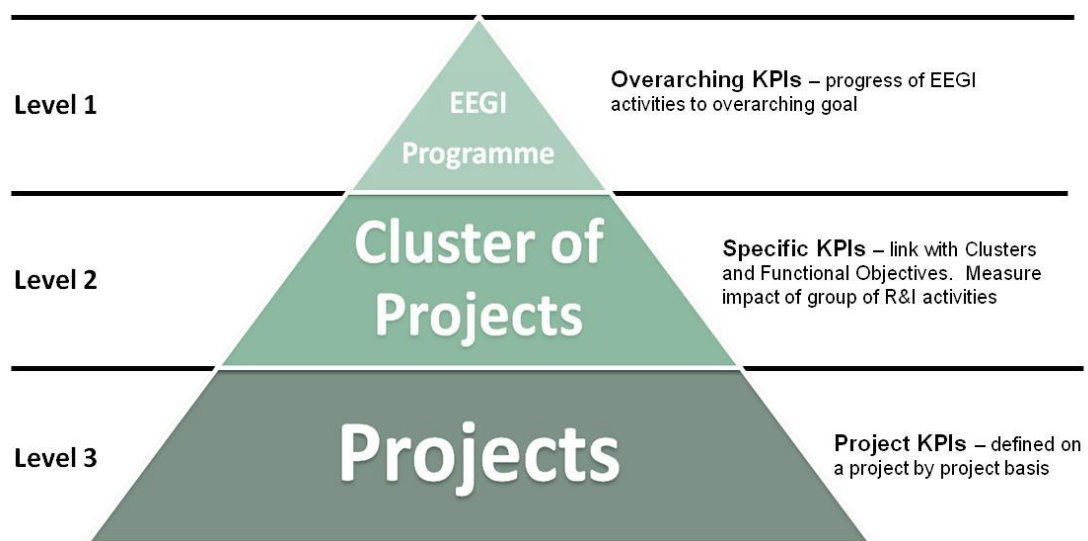
Εικόνα 4: Implementation Effectiveness Indicator από το project ENTSO-E “Monitoring R&D Roadmap” (14)

Ο στόχος γι’ αυτόν τον KPI είναι η 100% ολοκλήρωση σε κάθε cluster αλλά και σε όλο τον EEGI Roadmap μέχρι το 2022.

2.2.4 Ανάλυση των expected impact KPIs

Όπως προαναφέραμε οι expected impact KPIs μετρούν τα οφέλη που προκύπτουν από τα Ευρωπαϊκά R&I έργα.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η δομή που έχει καθοριστεί από την EEGI (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Δομή των expected impact KPIs (14)

Παρατηρούμε ότι οι expected impact KPIs χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες (14):

- 1^ο επιπέδου - Θεμελιώδεις KPIs
Πρόκειται για ένα περιορισμένο σύνολο δεικτών απόδοσης του δικτύου και του συστήματος που μας δείχνει τη σαφή πρόοδο που προέκυψε από τις δραστηριότητες της EEGI για την υλοποίηση του πρωταρχικού στόχου. Αποστολή τους είναι να παρέχουν ένα υψηλό επίπεδο κατανόησης των οφελών που θα επιτευχθούν μέσω των Ευρωπαϊκών έργων, αξιολογώντας τα σε επίπεδο συστήματος.
- 2^ο επιπέδου – Ειδικό KPIs
Παρέχουν μία επισκόπηση των άλλων τεχνικών παραμέτρων που σχετίζονται με τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου, προκειμένου να επιτευχθούν με αξιοπιστία οι πρωταρχικοί στόχοι. Ως εκ τούτου, δεν είναι άμεσα συνδεδεμένοι με τους πρωταρχικούς στόχους αλλά με τα διαφορετικά clusters καινοτομίας και τους λειτουργικούς στόχους του EEGI Roadmap.
- 3^ο επιπέδου – Project KPIs
Καθορίζονται από το κάθε ξεχωριστό R&I έργο του EEGI Roadmap. Τα αποτελέσματα των Project KPIs θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των θεμελιωδών και ειδικών KPIs.

Οι θεμελιώδεις και οι ειδικοί KPIs θεωρούνται EEGI Programme KPIs, δηλαδή σχετίζονται με τον EEGI R&I Roadmap. Η ορθή αξιολόγηση αυτών των KPIs, για σκοπούς ανάπτυξης, απαιτεί υπολογιστικές μεθοδολογίες που υποστηρίζονται από μελέτες επεκτασιμότητας και επαναληψιμότητας, οι οποίες έχουν ως δεδομένα τους τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν στα μεμονωμένα R&I έργα.

Θεμελιώδεις KPIs

Σημαντική κρίνεται η δυνατότητα των ηλεκτρικών δικτύων να ενσωματώσουν την παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (βιωσιμότητα), εξασφαλίζοντας επαρκή ευελιξία για τη λειτουργία του συστήματος και εξυπηρετώντας τους πελάτες με προσιτή τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας (ανταγωνιστικότητα της αγοράς). Παράλληλα, όμως πρέπει να διατηρείται η αξιοπιστία του συστήματος σε επίπεδα συμβατά με τις κοινωνικές ανάγκες (εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού). Η δυνατότητα αύξησης της διείσδυσης των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης, που αποτελεί και το στόχο της παρούσας εργασίας, σχετίζεται με τους δύο παρακάτω θεμελιώδεις KPIs (14):

- A1. Αύξηση της φέρουσας ικανότητας του δικτύου με προσιτό κόστος
- A2. Αύξηση της ευελιξίας του συστήματος με προσιτό κόστος

“Προσιτό κόστος” είναι ένας όρος που είναι σκόπιμα ευέλικτος, διότι ένα κόστος μπορεί να θεωρηθεί προσιτό για ένα διαχειριστή συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας - Transmission System Operator (TSO) ή για μία περιοχή αλλά μπορεί για έναν άλλο TSO ή μία άλλη περιοχή να μην θεωρηθεί προσιτό. Επίσης, είναι ξεκάθαρο ότι το αποτέλεσμα των R&I δραστηριοτήτων αναμένεται να παρέχει ένα σημαντικό αριθμό από οφέλη. Αυτά τα οφέλη μπορεί μερικές φορές να οδηγήσουν σε μείωση του κόστους (κεφαλαιουχικού-CAPEX και λειτουργικού-OPEX) αφού κερδίζουμε σε αποδοτικότητα, αλλά μπορεί και κάποιες άλλες φορές να οδηγήσουν σε μεγαλύτερο κόστος διότι απαιτούνται νέες λειτουργίες και βελτιωμένες δυνατότητες στο σύστημα που κοστίζουν.

Το προσιτό κόστος θα προέλθει από τη λεπτομερή ανάλυση κόστους-οφέλους που επιτελείται μέσω των μελετών επεκτασιμότητας και επαναληψιμότητας που πραγματοποιούνται από τους ρυθμιστικούς φορείς πριν την υλοποίηση ενός έργου. Έτσι, όλες οι R&I δραστηριότητες του EEGI Roadmap πρέπει να οδηγήσουν στην εύρεση νέων λύσεων οι οποίες θα συνεισφέρουν στην αύξηση της φέρουσας ικανότητας του δικτύου και της ευελιξίας του συστήματος.

Η εικόνα 6 δείχνει τη σχέση των θεμελιωδών KPIs με τους τρεις πυλώνες της ενεργειακής πολιτικής της Ε.Ε. (βιωσιμότητα – ανταγωνιστικότητα της αγοράς – εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού).

EEGI Overarching KPIs		Compliance with EU energy policy goals			Network operators	
		Sustainability	Market competitiveness	Security of supply	TSOs	DSOs
A.1	<i>Increased network capacity at affordable cost.</i>	X	X	X	X	X
A.2	<i>Increased system flexibility at affordable cost.</i>	X	X	X	X	X

Εικόνα 6: Σχέση των θεμελιωδών KPIs με τους τρεις πυλώνες της ενεργειακής πολιτικής της Ε.Ε.
(14)

KPIs ειδικού σκοπού

Η αύξηση της φέρουσας ικανότητας του δικτύου (A.1) ή της ευελιξίας του συστήματος (A.2) μπορεί να εξεταστεί περαιτέρω μέσω επτά ειδικών KPIs, εκ των οποίων οι έξι είναι κοινοί για τους TSOs και τους DSOs (Distribution System Operators – Διαχειριστές Δικτύων Διανομής) ενώ ο ένας αφορά μόνο τους DSOs. Αυτή η εξέταση ακολουθεί την ανεπτυγμένη μεθοδολογία των KPIs με μία από πάνω προς τα κάτω (top-down) προσέγγιση με τους ειδικούς KPIs οι οποίοι παρέχουν τις μετρήσεις που καθορίζουν την πρόοδο των διάφορων τεχνικών παραμέτρων που σχετίζονται με τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου. Έτσι, μπορούμε να επιτύχουμε τους πρωταρχικούς μας στόχους με αξιόπιστο τρόπο. (14)

Οι KPIs ειδικού σκοπού, όπως ορίζονται στο project GRID+ για την EEGI, είναι οι ακόλουθοι:

- B1. Αύξηση του μέγιστου ορίου διεύθυνσης της ισχύος των ΑΠΕ και της διεσπαρμένης παραγωγής ως προς τη συνολική ισχύ παραγωγής του συστήματος
- B2. Μείωση της περικοπής της ενέργειας που προέρχεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τη διεσπαρμένη παραγωγή
- B3. Ποιότητα ισχύος και ποιότητα παροχής
- B4. Επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού
- B5. Αύξηση της ευελιξίας των ενεργειακών παιχτών
- B6. Βελτίωση της ανταγωνιστικότητας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας
- B7. Αύξηση του μέγιστου ορίου διεύθυνσης της ισχύος που προορίζεται για τα ηλεκτρικά οχήματα και για άλλα φορτία ως προς τη συνολική ισχύ παραγωγής του συστήματος

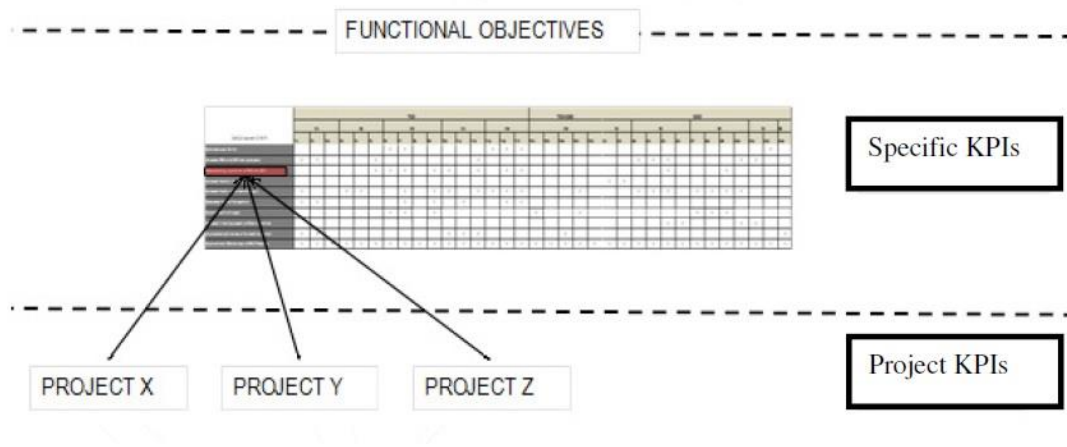
Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η σχέση των ειδικών KPIs που αναφέραμε με τους τρεις πυλώνες της ενεργειακής πολιτικής της Ε.Ε.

EEGI Specific KPIs		Compliance with EU energy policy goals			Network operators	
		Sustainability	Market competitiveness	Security of supply	TSOs	DSOs
B.1	<i>Increased RES and DER hosting capacity.</i>	X	X	X	X	X
B.2	<i>Reduced energy curtailment of RES and DER.</i>	X	X	X	X	X
B.3	<i>Power quality and quality of supply.</i>	X	X	X	X	X
B.4	<i>Extended asset life time.</i>			X	X	X
B.5	<i>Increased flexibility from energy players.</i>		X	X	X	X
B.6	<i>Improved competitiveness of the electricity market.</i>		X		X	X
B.7	<i>Increased hosting capacity for electric vehicles (EVs) and other new loads.</i>	X	X	X		X

Εικόνα 7: Σχέση των ειδικών KPIs με τους τρεις πυλώνες της ενεργειακής πολιτικής της Ε.Ε. (14)

Project KPIs

Οι project KPIs δείχνουν τα επιτεύγματα των μεμονωμένων R&I έργων στο πλαίσιο του EEGI Roadmap. Οι ορισμοί των project KPIs είναι διαφορετικοί για κάθε ξεχωριστό έργο και ως εκ τούτου, δεν μπορεί να δοθεί μία συγκεκριμένη μεθοδολογία που να ακολουθηθεί επακριβώς σε όλα τα έργα για τον ορισμό και τον υπολογισμό τους. Παρ' όλα αυτά, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πιθανό να υπάρξουν παρόμοια ή και ίδια project KPIs, τα οποία ενδέχεται να ταυτίζονται και με τα ειδικά KPIs που προαναφέραμε. Οι επιπτώσεις που προκύπτουν από τις διαφορετικές λύσεις που δοκιμάζονται στα διάφορα έργα επίδειξης (π.χ. Project X, Project Y, κ.λπ.) μπορούν να αξιολογηθούν μέσω των ειδικών KPIs, αφού πρώτα έχει γίνει κατάλληλη ανάλυση όσον αφορά την επεκτασιμότητα και την επαναληψιμότητα των λύσεων που προτείνονται. (14)



Εικόνα 8: Σχέση μεταξύ KPIs ειδικού σκοπού και Project KPIs (14)

3 Τεχνικές παράμετροι

3.1 Περιορισμοί διείσδυσης

Στην περίπτωση των αιολικών πάρκων που συνδέονται σε ηλεκτρικά συστήματα περιορισμένου μεγέθους, όπως είναι αυτό της Κρήτης, τότε το σύστημα και ειδικότερα οι συμβατικές μονάδες παραγωγής εισάγουν σημαντικούς περιορισμούς στη λειτουργία των ανεμογεννητριών (Α/Γ). Οι περιορισμοί αυτοί ονομάζονται περιορισμοί διείσδυσης και σχετίζονται με τα τεχνικά ελάχιστα των συμβατικών μονάδων και με τη δυναμική τους συμπεριφορά. (15)

A. Τεχνικά ελάχιστα των συμβατικών μονάδων παραγωγής

Το ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης απαρτίζεται, όπως περιγράψαμε παραπάνω, κυρίως από πετρελαϊκές μονάδες (ντηζελογεννήτριες) με καύσιμο μαζούτ ή ντήζελ οι οποίες δεν επιτρέπεται να υποφορτίζονται κάτω από ένα συγκεκριμένο ποσοστό της ονομαστικής τους ισχύος. Αυτό συμβαίνει για λόγους φθορών, αυξημένων αναγκών συντήρησης και αντιοικονομικής λειτουργίας των κινητήρων ντήζελ. Έτσι, σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας τίθεται ο ακόλουθος περιορισμός για κάθε συμβατική μονάδα παραγωγής:

$$P_{Dmin} \leq P_D \leq P_{Dn}$$

$$P_{Dmin} = c_T * P_{Dn}$$

Όπου:

- P_D η παραγόμενη ισχύς από τη μονάδα
- P_{Dn} η ονομαστική της ισχύς
- P_{Dmin} το τεχνικό ελάχιστο και
- c_T ο συντελεστής τεχνικού ελαχίστου, ως ποσοστό της ονομαστικής ισχύος της μονάδας

Αξίζει να σημειωθεί ότι στις παραπάνω σχέσεις, αντί της ονομαστικής ισχύος συχνά χρησιμοποιείται η αποδιδόμενη, η οποία εκφράζει την πραγματική ικανότητα παραγωγής των μονάδων και μπορεί να υπολείπεται σημαντικά της ονομαστικής για παλαιές και καταπονημένες μονάδες.

Ο συντελεστής τεχνικού ελαχίστου εξαρτάται σημαντικά από το είδος και την παλαιότητα της μονάδας και καθορίζεται κατά περίπτωση. Χαμηλότερες τιμές συναντούνται για μονάδες ελαφρού πετρελαίου ενώ υψηλότερες για μονάδες με καύσιμο μαζούτ.

Εάν P_L είναι η ισχύς του φορτίου, P_W η αιολική παραγωγή και P_D η παραγωγή των συμβατικών μονάδων, το ισοζύγιο ισχύος στο σύστημα επιβάλλει:

$$P_D = P_L - P_W$$

οπότε ο περιορισμός του τεχνικού ελαχίστου οδηγεί σε αντίστοιχο περιορισμό αιολικής διείσδυσης:

$$P_D \geq P_{Dmin} \rightarrow P_W \leq P_L - c_T * P_{Dn} = P_{Wmax,T}$$

δηλαδή η αιολική παραγωγή δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή $P_{Wmax,T}$, προκειμένου να μην υποφορτίζονται οι συμβατικές μονάδες παραγωγής. Προφανώς, όσο υψηλότερα είναι τα τεχνικά ελάχιστα (δηλαδή μεγαλύτερος ο συντελεστής c_T) και η ονομαστική ισχύς των εν λειτουργία συμβατικών γεννητριών, τόσο χαμηλότερο το προκύπτων όριο διείσδυσης των ανεμογεννητριών.

Εάν ο σταθμός περιλαμβάνει μονάδες με διαφορετικούς συντελεστές τεχνικού ελαχίστου, η παραπάνω σχέση τροποποιείται:

$$P_W \leq P_L - \Sigma (c_T * P_{Dn}) = P_{Wmax,T}$$

όπου η άθροιση γίνεται για το σύνολο των εν λειτουργία μονάδων του σταθμού.

Στρεφόμενη εφεδρεία

Παράλληλα με τον περιορισμό που εισάγουν τα τεχνικά ελάχιστα, πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν και την ανάγκη για ύπαρξη στρεφόμενης εφεδρείας (spinning reserve) κατά τη λειτουργία των συμβατικών μονάδων παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι η ονομαστική ισχύς των εν λειτουργία νηξελογεννητριών πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ισχύ εξόδου τους, ώστε να είναι σε θέση να αναλάβουν πρόσθετη ισχύ, αν αυτό απαιτηθεί. Η συνολική στρεφόμενη εφεδρεία καθορίζεται κατ' αρχήν από την εφεδρεία που τηρείται για την κάλυψη ενδεχόμενης απώλειας αιολικής παραγωγής σε χρόνους δευτερολέπτων ή λεπτών, εντός των οποίων δεν υπάρχει χρόνος για την εκκίνηση νέας συμβατικής μονάδας. Στην πράξη συνήθως τηρείται πλήρης εφεδρεία όσον αφορά την αιολική παραγωγή, δηλαδή οι εν λειτουργία μονάδες επαρκούν για την κάλυψη του φορτίου ακόμη και στο ενδεχόμενο πλήρους απώλειας της αιολικής ισχύος. Στην διαφορετική περίπτωση που η απώλεια αιολικής παραγωγής υπερβαίνει τη διαθέσιμη στρεφόμενη εφεδρεία των συμβατικών μονάδων θα απαιτηθεί περικοπή μέρους του φορτίου του συστήματος, κατάσταση μη επιθυμητή. Η τήρηση, λοιπόν, πλήρους εφεδρείας συνεπάγεται τον ακόλουθο περιορισμό στη μέγιστη δυνατότητα απορρόφησης αιολικής ισχύος (για την ευνοϊκότερη κατάσταση όπου $P_{Dn} = P_L$):

$$P_{Dn} \geq P_L \rightarrow P_{Wmax,T} \leq (1 - c_T) * P_L$$

Τονίζεται ότι στην πραγματικότητα το όριο διείσδυσης των αιολικών περιορίζεται ακόμα περισσότερο διότι η P_{Dn} μπορεί να είναι αρκετά μεγαλύτερη της P_L . Αυτό συμβαίνει διότι η ονομαστική ισχύς των μονάδων είναι «κβαντισμένο» μέγεθος και δεν μπορεί να παρακολουθεί τη συνεχή μεταβολή του φορτίου. Επιπλέον, η ασφαλής λειτουργία του αυτόνομου συστήματος προϋποθέτει την τήρηση ενός πρόσθετου ποσοστού εφεδρείας, που μπορεί να εκφράζεται ως ποσοστό επί της ισχύος του φορτίου. Μ' αυτόν τον τρόπο καλύπτονται αβεβαιότητες της πρόβλεψης φορτίου κατά τον προγραμματισμό της ένταξης των μονάδων. Επιπροσθέτως, για την αποφυγή περικοπής φορτίου επιβάλλεται η τήρηση «εφεδρείας της μεγαλύτερης μονάδος» ώστε να μπορεί να αντιμετωπιστεί πιθανή απώλεια οποιασδήποτε συμβατικής μονάδας. Ωστόσο, η συνολική στρεφόμενη εφεδρεία του συστήματος δεν ισούται αναγκαστικά με το άθροισμα της παραπάνω εφεδρείας και της εφεδρείας που απαιτείται για την κάλυψη της απώλειας ολόκληρης της αιολικής παραγωγής διότι η πιθανότητα παράλληλης απώλειας είναι αρκετά μικρή.

B. Δυναμικοί περιορισμοί

Όπως αναφέραμε παραπάνω η ισχύς του φορτίου $P_L = P_D + P_W$ παραμένει σταθερή με αποτέλεσμα οι έντονες διακυμάνσεις που παρατηρούνται στην ισχύ εξόδου των ανεμογεννητριών σε κλίμακα χρόνου δευτερολέπτων να μεταβάλλει την ισχύ των συμβατικών μονάδων. Άμεση συνέπεια αυτών των μεταβολών είναι η εμφάνιση διακυμάνσεων στη συχνότητα του συστήματος, η τιμή της οποίας ρυθμίζεται από τους ρυθμιστές στροφών των συμβατικών μονάδων. Σε περίπτωση που η ποσότητα της αιολικής ενέργειας αποτελεί μεγάλο μέρος του φορτίου, συναντώνται σημαντικές αποκλίσεις στη συχνότητα και κινδυνεύει η ευστάθεια του συστήματος. Βέβαια, αυτό το ενδεχόμενο μπορεί να προέλθει από πιθανά σφάλματα του δικτύου ή από ανέμους υψηλών ταχυτήτων που υπερβαίνουν την ταχύτητα αποσύνδεσης των ανεμογεννητριών γεγονός που δεν κρίνεται ιδιαίτερα πιθανό.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω καταλήγουμε στους δυναμικούς περιορισμούς διείσδυσης:

$$P_W \leq c_D * P_{Dn} = P_{W_{\max,D}}$$

όπου c_D ο συντελεστής μέγιστης διείσδυσης αιολικής ισχύος.

Αναφέρουμε ότι οι τιμές του συντελεστή μέγιστης διείσδυσης αιολικής ισχύος c_D κυμαίνονται από 25-40% και διαφοροποιούνται ανάλογα με το σύστημα κι έτσι δεν υπάρχει κάποιο όριο γενικής εφαρμογής.

Αυτό ισχύει διότι ο c_D εξαρτάται από:

- τα χαρακτηριστικά των συμβατικών μονάδων και των ρυθμιστών τους
- το είδος των αιολικών πάρκων
- τη γεωγραφική διασπορά των αιολικών πάρκων
- τις ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας του συστήματος

Επίσης, επισημαίνεται ότι η τήρηση υψηλής στρεφόμενης εφεδρείας συμβατικών μονάδων οδηγεί σε χαλάρωση των δυναμικών περιορισμών διείσδυσης της αιολικής ισχύος.

Όσον αφορά το σύστημα της Κρήτης ο συντελεστής c_D ισούται με 35%.

Συνολικοί περιορισμοί διείσδυσης και κατανομή τους στα αιολικά πάρκα

Ο συνολικός περιορισμός απορρόφησης αιολικής ισχύος προκύπτει από την παράλληλη εξέταση και του περιορισμού που εισάγουν τα τεχνικά ελάχιστα και του περιορισμού που εισάγει το δυναμικό όριο διείσδυσης. Ανάλογα με το είδος και τα χαρακτηριστικά των συμβατικών μονάδων, άλλοτε υπερισχύει ο ένας και άλλοτε ο άλλος περιορισμός. Σε κάθε περίπτωση, όμως, αυτός που υπερισχύει είναι ο αυστηρότερος δηλαδή:

$$P_W \leq P_{W \max} = \min \{ P_{W \max, T}, P_{W \max, D} \}$$

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι περιορισμοί διείσδυσης γίνονται πιο ελαστικοί σε καταστάσεις αυξημένου φορτίου (όπου λειτουργεί μεγάλος αριθμός συμβατικών γεννητριών). Τέτοιες καταστάσεις συναντούνται τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου η προσέλευση των τουριστών στα νησιά της χώρας μας και ειδικά στην Κρήτη είναι τόσο μεγάλη που αυξάνει το ημερήσιο φορτίο που απαιτείται για την κάλυψη των καθημερινών αναγκών. Το υψηλό φορτίο, λοιπόν, σε συνδυασμό με τις ευνοϊκότερες συνθήκες ανέμου που επικρατούν το καλοκαίρι, αυξάνουν τις δυνατότητες απορρόφησης αιολικής ισχύος.

Σε γενικές γραμμές, το στιγμιαίο όριο διείσδυσης αιολικής ισχύος σε ένα σύστημα καθορίζεται ως συνάρτηση:

- της εκάστοτε ισχύος του φορτίου
- των παραμέτρων των εν λειτουργία συμβατικών γεννητριών

Οι δύο αυτοί παράγοντες αποτελούν χαρακτηριστικά του συστήματος και όχι των αιολικών πάρκων.

Όλα τα προαναφερθέντα ισχύουν όταν υπάρχει ένα αιολικό πάρκο στο σύστημα που εξετάζουμε. Γενικεύοντας τη συλλογιστική μας και θεωρώντας την λειτουργία περισσότερων του ενός αιολικών πάρκων το όριο $P_{W \max}$ επιμερίζεται στα επιμέρους

πάρκα αναλογικά προς τη συμφωνημένη-ονομαστική ισχύ τους. Έτσι, ο περιορισμός που τίθεται για την ισχύ εξόδου του αιολικού πάρκου k είναι:

$$P_{Wk} \leq P_{W \max,k} = \min \left\{ \left(\frac{P_{Wn,k}}{P_{Wn,tot}} \right) * P_{W \max}, P_{Wn,k} \right\} \text{ και}$$

$$P_{W \max} \leq P_{Wn,tot}$$

Όπου $P_{Wn,tot} = \sum_j P_{Wn,j}$ η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών στο σύστημα.

Συνέπειες των περιορισμών

Η υλοποίηση των ανωτέρω περιορισμών έχει ως άμεση συνέπεια την απόρριψη αιολικής ισχύος, την οποία θα μπορούσαν να παράγουν οι Α/Γ, αλλά δεν μπορεί να απορροφηθεί από το σύστημα. Συγκεκριμένα ο Διαχειριστής του Δικτύου καταστρώνει το ωριαίο πρόγραμμα λειτουργίας του συμβατικού σταθμού παραγωγής για την επόμενη μέρα, αφού λάβει υπ' όψιν του την πρόβλεψη φορτίου του επόμενου 24ώρου. Παράλληλα, όμως, συνυπολογίζει και για κάθε ώρα του 24ώρου τον συνολικό περιορισμό απορρόφησης $P_{W \max}$, καθώς και τους επιμέρους $P_{W \max,k}$. Έτσι, παρόλο που ο προγραμματισμός γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται η δυνατότητα απορρόφησης αιολικής ισχύος τα παραπάνω όρια οδηγούν σε περικοπές.

3.2 Καμπύλη κόστους καυσίμου

Η καμπύλη κόστους καυσίμου των συμβατικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιγράφεται από πολυωνυμικές συναρτήσεις. Βέβαια, για πιο ακριβή μοντελοποίηση του κόστους καυσίμου για τη λειτουργία των μονάδων πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν οι επιδράσεις του σημείου της βαλβίδας (valve point effects). Αυτές εμφανίζονται σε μονάδες παραγωγής με πολυβαλβίδες (multivalve) οι οποίες παρουσιάζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις στη συνάρτηση κόστους καυσίμου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη διαδικασία ανοίγματος της πολυβαλβίδας στις τουρμπίνες ατμού παράγονται πολλαπλασιαστικές-κυματιστές επιδράσεις στην καμπύλη θερμότητας της γεννήτριας. Σ' αυτή την περίπτωση το κόστος καυσίμου προσεγγίζεται από ημιτονικές συναρτήσεις. (16)

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιείται η συνάρτηση κόστους καυσίμου πολυωνυμικής μορφής με γενικό τύπο τον ακόλουθο:

$$F_{\text{καυσ}j}(P_j) = a_{0j} + \sum_{i=1}^N a_{ij} * P_{ij} + r_j, \quad j=1, 2, \dots, M$$

όπου

- $F_{\text{καυσ}j}$: η συνάρτηση κόστους καυσίμου της j-οστής μονάδας
- P_j : η παραγόμενη ενέργεια της j-οστής μονάδας σε MW
- $\alpha_{i,j}$: οι συντελεστές κόστους
- r_j : το σφάλμα για τη j-οστή μονάδα
- N : η τάξη του πολυωνύμου ($N=1$ -γραμμική, $N=2$ -τετραγωνική, $N=3$ -κυβική)
- M : ο αριθμός των μονάδων του συστήματος

Επιπρόσθετα, επιλέγεται η χρήση της τετραγωνικής μορφής με μηδενικό σφάλμα, η οποία και γενικά συναντάται συχνότερα, οπότε ο τελικός τύπος είναι ο ακόλουθος:

$$F_{\text{καυσ}j}(P_j) = \alpha_{0j} + \alpha_{1j} * P_j + \alpha_{2j} * P_j^2, j=1, 2 \dots M$$

3.3 Συντελεστής εκπομπής CO₂

Οι εκπομπές CO₂ που προκύπτουν από την κατανάλωση των καυσίμων μπορούν να υπολογισθούν με τη βοήθεια των κατάλληλων συντελεστών εκπομπής. Μέσω αυτών αντιστοιχίζονται οι εκπομπές CO₂ με την παραγόμενη ενέργεια από την κατανάλωση του κάθε καυσίμου. Προφανώς, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν μηδενικό συντελεστή εκπομπής CO₂. Αφού υπολογιστούν οι επιμέρους συντελεστές για κάθε καύσιμο υπολογίζεται και ο συντελεστής εκπομπής CO₂ ηλεκτροπαραγωγής, ο οποίος μεταβάλλεται χρονικά σε κάθε χώρα ανάλογα με την ενεργειακή ένταση της ηλεκτροπαραγωγής. Η τελευταία εξαρτάται από το μείγμα καυσίμου που καταναλώνεται και από την όποια εξέλιξη της τεχνολογίας. (17)

Γενικά, για τον υπολογισμό αυτού του συντελεστή απαιτούνται:

- οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις της χώρας σε στερεά ή υγρά καύσιμα ή ανανεώσιμες πηγές για την ηλεκτροπαραγωγή
- η συνολική ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια
- οι συντελεστές εκπομπής κάθε καυσίμου

3.4 Ηλεκτρικό σύστημα Κρήτης

Το αυτόνομο σύστημα της Κρήτης τροφοδοτείται κυρίως από πετρελαϊκές μονάδες (νηξελογεννήτριες) με καύσιμο μαζούτ ή ντήζελ. Στο νησί υπάρχουν εγκατεστημένοι τρεις σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας: στα Λινοπεράματα Ηρακλείου, στην Ευλοκαμάρα Χανίων και στον Αθρινόλακκο Λασιθίου (18).

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά σταθμών παραγωγής Κρήτης (18)

A/A	Τύπος Μονάδας	Μέγιστη Επιτεύξιμη Ισχύς (MW)	Καύσιμο	Σταθμός παραγωγής
1	(ΑΤΜΟΣΤΡ.) I	6	B.K.	Λινοπεράμα τα Ηρακλείου
2	II	14,30		
3	III	14,30		
4	IV	23,50		
5	V	23,50		
6	VI	23,50		
7	(ΑΕΡΙΟΣΤΡ.) I	15,00	E.K.	
8	II	15,00		
9	III	42,70		
10	IV	13,50		
11	V	27,55		
12	(DIESEL) I	11,00	B.K.	
13	II	11,00		
14	III	11,00		
15	IV	11,00		
16	(ΑΕΡΙΟΣΤΡ.) I	14,00	E.K.	Ευλοκαμάρα Χανίων
17	II	27,55		
18	IV	19,75		
19	V	29,20		
20	(ΣΥΝΔ. ΚΥΚΛΟΣ)	126,00		

	<i>A/Σ VI</i>	<i>43,00</i>		
	<i>A/Σ VII</i>	<i>43,00</i>		
	<i>ΑΤΜΟΣΤΡ.</i>	<i>40,00</i>		
21	(ΑΕΡΙΟΣΤΡ.) XI	58,00		
22	(ΑΕΡΙΟΣΤΡ.) XII	58,00		
23	DIESEL 1	49,67	B.K	Αθερινόλλα κος Λασιθίου
24	DIESEL 2	49,67		
25	ΑΤΜΟΣ 1	43,20		
26	ΑΤΜΟΣ 2	43,20		

Ο σταθμός Λινοπεραμάτων βρίσκεται 10 km δυτικά της πόλης του Ηρακλείου μεταξύ της θάλασσας και του βόρειου οδικού άξονα της Κρήτης και καταλαμβάνει έκταση 172 στρεμμάτων. Λειτουργεί από το 1963 και εμπεριέχει 15 μονάδες συνολικής εγκατεστημένης ισχύς 262,85 MW, εκ των οποίων οι 6 είναι ατμοηλεκτρικές, οι 5 αεριοτροβιλικές και οι 4 νηζελοηλεκτρικές.

Ο σταθμός Χανίων βρίσκεται στη Ξυλοκαμάρα Νεροκούρου του νομού Χανίων, σε απόσταση 5 km από την πόλη των Χανίων. Εμπεριέχει 6 αεριοστρόβιλους ανοικτού τύπου με εγκατεστημένη ισχύς 206,5 MW και 1 μονάδα συνδυασμένου κύκλου, η οποία αποτελείται από 2 αεριοστρόβιλους και έναν ατμοστρόβιλο, με εγκατεστημένη ισχύς 126 MW.

Ο σταθμός Αθερινόλακκου βρίσκεται στο νομό Λασιθίου, 45 km νοτιοανατολικά της Σητείας. Εμπεριέχει τέσσερις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκ των οποίων οι δύο είναι μηχανές εσωτερικής καύσης (diesel) και οι άλλες δύο είναι ατμοτροβιλικές μονάδες. Και οι τέσσερις μονάδες έχουν ως καύσιμο μαζούτ χαμηλού θείου και δυνατότητα καύσης φυσικού αερίου. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύ είναι 185,74 MW.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων της Κρήτης ανά τύπο και ανά περιοχή.

Πίνακας 2: Τεχνικά ελάχιστα ανά τύπο μονάδας (18)

	Ατμοστρόβιλοι	Αεριοστρόβιλοι	Μηχανές Diesel	Συνδυασμένου κύκλου
Λινοπεράματα	55%-77%	11%-22%	27%-54%	-
Χανιά	-	15%-28%	-	33%
Αθερινόλλακος	46%	-	50%-70%	-

Αιολικά πάρκα

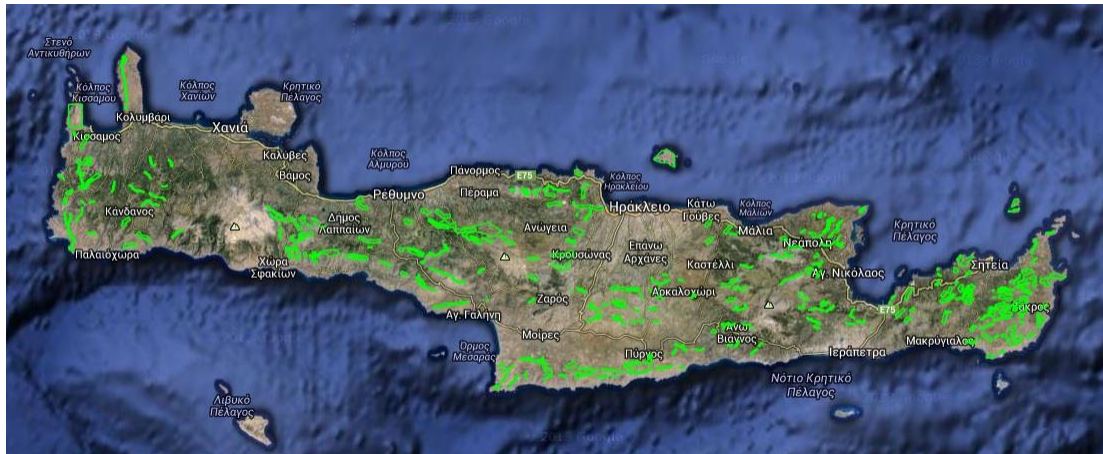
Η ιδιαίτερη γεωγραφική θέση της Κρήτης, τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της αλλά και το κλίμα της καθιστούν το νησί ως ένα από τα πιο περιζήτητα σημεία για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων και την παραγωγή ενέργειας μέσω ΑΠΕ όλων των τεχνολογιών. Πρέπει να τονισθεί ότι αυτή η δυνατότητα που μας παρέχει η Κρήτη λόγω της γεωμορφολογίας της, κρίνεται πολύ σημαντική γι' αυτό αποτελεί και αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας. Το γεγονός ότι τα σημερινά συστήματα είναι κορεσμένα οδηγεί στην αναζήτηση ολοένα και περισσότερων τρόπων για την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, διατηρώντας παράλληλα την αξιοπιστία τροφοδότησης των καταναλωτών.

Από τα επίσημα στοιχεία που μας παρέχει η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας – ΡΑΕ βλέπουμε μία γενική εικόνα για την εγκατεστημένη ισχύ των πηγών ΑΠΕ στην περιφέρεια της Κρήτης (Εικόνα 9).

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Με Άδεια ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ⁽¹⁾		Με Άδεια ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ		Με ΕΠΟ		Με Άδεια ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ⁽²⁾		Αιτήσεις σε αξιολόγηση ⁽³⁾	
		Πλήθος	Ισχύος (MW)	Πλήθος	Ισχύος (MW)	Πλήθος	Ισχύος (MW)	Πλήθος	Ισχύος (MW)	Πλήθος	Ισχύος (MW)
Κρήτη	Αιολικά	33	171,8	9	40,0	1	1,2	111	2249,5	35	2486,5
	ΜΥΗΕ	2	0,6	0	0,0	0	0,0	2	0,6	0	0,0
	Βιομάζα	1	0,2	0	0,0	0	0,0	2	0,4	0	0,0
	Γεωθερμία	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
	Φ/Β	8	0,8	1	0,3	0	0,0	9	1,1	0	0,0
	Ηλιοθερμικά	0	0,0	1	27,0	0	0,0	5	232,0	36	235,9
ΣΥΝΟΛΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ		44	173,3	11	67,3	1	1,2	129	2483,5	71	2722,4

Εικόνα 9: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Κρήτη (19)

Επίσης μπορούμε να δούμε το πως κατανέμονται τα αιολικά πάρκα σε όλη την έκταση του νησιού (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Γεωπληροφοριακός χάρτης ΡΑΕ - αιολικά πάρκα Κρήτης (20)

Παρατηρούμε ότι ο νομός Λασιθίου είναι ο νομός με τα περισσότερα αιολικά πάρκα, ακολουθεί ο νομός Ηρακλείου με ένα σημαντικό αριθμό αιολικών πάρκων και έπονται ο νομός Χανίων και ο νομός Ρεθύμνου.

3.5 Στοιχεία για το σύστημα της Κρήτης

Σ' αυτή την υποενότητα θα παρουσιαστούν οι αριθμητικές τιμές που θα χρησιμοποιηθούν για την παρούσα εργασία όσον αφορά το σύστημα της Κρήτης για το έτος 2012. (18)

Συγκεκριμένα, εκτός των τεχνικών χαρακτηριστικών που αναγράφονται στο συγκεντρωτικό πίνακα για κάθε μια από τις 26 μονάδες που λειτουργούν στο σύστημα της Κρήτης, γνωρίζουμε, επιπλέον, την ωριαία παραγωγή (MW) κάθε μίας καθώς και την ειδική κατανάλωση (kg/MWh) για το 50%, 75% και 100% της ονομαστικής τους ισχύς. Επομένως, γνωρίζοντας τη μορφή της καμπύλης καυσίμου, λύνουμε το σύστημα 3X3 που προκύπτει και βρίσκουμε τους συντελεστές α_0 , α_1 , α_2 για κάθε μονάδα και κατ' επέκταση τη συνάρτηση της καμπύλης καυσίμου κάθε μονάδας:

$$F_{\text{καυσ}} = \alpha_0 + \alpha_1 P + \alpha_2 P^2$$

Επίσης εκτός από την παραγωγή των συμβατικών μονάδων έχουμε και την ωριαία παραγωγή των αιολικών πάρκων για το ίδιο έτος, καθώς και τις θερμοκρασίες που επικρατούν σε κάθε ένα από τα αιολικά πάρκα που βρίσκονται στο χώρο της Κρήτης για όλες τις ώρες του 2012.

Οι τιμές των καυσίμων που θα χρησιμοποιηθούν για τους υπολογισμούς κόστους αναγράφονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Τιμές καυσίμων (18)

Βαρύ καύσιμο (μαζούτ)	0,45 €/kg
Ελαφρύ καύσιμο (diesel)	1,1 €/lt

Το κόστος παραγωγής της αιολικής ενέργειας θεωρείται ίσο με την τιμή αποζημίωσης των παραγωγών αιολικής ενέργειας και ανέρχεται σε 100 €/MWh.

Το πρόσθετο μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι μεταβλητό ανάλογα με το τρίμηνο του έτους και οι τιμές του αναγράφονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Τιμές ΠΜΚ ανά τρίμηνο (18)

	ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (€/MWh)
1ο τρίμηνο	1,39
2ο τρίμηνο	2,81
3 ^ο τρίμηνο	2,51
4 ^ο τρίμηνο	3,33

Η τιμή πώλησης των μειωμένων εκπομπών CO₂ ανέρχεται στα 5,4 €/tn CO₂. Τονίζεται ότι η τιμή αυτή είναι για το έτος 2012 κι αυτό διότι τα προηγούμενα χρόνια η τιμή πώλησης των μειωμένων εκπομπών ήταν σε πολύ υψηλότερα επίπεδα. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι το έτος 2009 η τιμή ήταν στα 20 €/tn CO₂. Σε γενικές γραμμές, η τιμή ακολουθεί μία πτωτική τάση με την πάροδο των χρόνων.

4 Περιγραφή KPIs

Στο κεφάλαιο αυτό θα ορίσουμε συγκεκριμένα KPIs που θα υπολογίσουμε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Τα στοιχεία που έχουμε για το έτος 2012 θα αποτελέσουν τα δεδομένα εισόδου και οι τιμές των KPIs τα αποτελέσματα εξόδου.

4.1 Μέσο μεταβλητό κόστος

Όνομα δείκτη: Μέσο μεταβλητό κόστος

Ορισμός: Πρόκειται για το άθροισμα τριών όρων: του κόστους καυσίμου κάθε μονάδας, του κόστους παραγωγής της αιολικής ενέργειας και του πρόσθετου μεταβλητού κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

Μονάδα μέτρησης: €/MWh

Κατηγορία: Project KPI

Σκοπός: Ο υπολογισμός του κόστους για την παραγωγή μίας MWh από το σύστημα ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε αυτή την τιμή μετά από τις R&I δραστηριότητες που θα εφαρμοστούν.

Τύπος:

$$\text{Μέσο μεταβλητό κόστος} = \frac{\sum_{i=1}^{8760} (\sum_{j=1}^M (F_{\text{καυσ}j} * TM_j) + F_{\text{ΑΠΕ}} + P_{\text{ΣΥΜΒ}} * ΠΜΚ)}{\text{ετήσια ζήτηση}}$$

$$F_{\text{ΑΠΕ}} = P_{\text{ΑΠΕ}} * \text{ΤΑΖ}$$

όπου

- $F_{\text{καυσ}j}$: η συνάρτηση καυσίμου της μονάδας j
- TM_j : η τιμή του καυσίμου της μονάδας j
- $F_{\text{ΑΠΕ}}$: το κόστος παραγωγής της αιολικής ενέργειας
- $P_{\text{ΑΠΕ}}$: η παραγωγή των ΑΠΕ
- ΤΑΖ : η τιμή αποζημίωσης των παραγωγών αιολικής ενέργειας
- $P_{\text{ΣΥΜΒ}}$: η παραγωγή των συμβατικών μονάδων
- ΠΜΚ : το πρόσθετο μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- M : ο αριθμός των μονάδων του συστήματος

4.2 Reduced CO₂ emissions

Όνομα δείκτη: Reduced CO₂ emissions

Ορισμός: Πρόκειται για τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂ που προέρχονται από την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνει κάθε μονάδα.

Μονάδα μέτρησης: %

Μονάδα μέτρησης συγκρινόμενων μεγεθών: tn καυσίμου /MWh

Κατηγορία: KPI ειδικού σκοπού

Σκοπός: Η μέγιστη δυνατή μείωση της παραγωγής των συμβατικών μονάδων και η υποκατάσταση της παραγωγής τους από τις ΑΠΕ. Άμεση συνέπεια είναι η μείωση των καυσίμων που απαιτούνται και κατ' επέκταση η μείωση των εκπομπών CO₂. Αυτές οι μειωμένες εκπομπές θα πωληθούν στην αγορά έναντι ενός ποσού αποφέροντας οικονομικό κέρδος στο σύστημα.

Τύπος:

$$EK\Pi_j = \frac{\sum_{i=1}^{8760} (F_{καυσj})}{E\Pi_j} * C_j \quad j = 1, 2 \dots M$$

$$RE_j\% = \frac{EK\Pi_{jR\&I} - EK\Pi_{jBAU}}{EK\Pi_{jBAU}} * 100\%$$

όπου

- EK\Pi_j: ο συντελεστής εκπομπών CO₂ της j μονάδας
- F_{καυσj}: η συνάρτηση καυσίμου της μονάδας j
- E\Pi_j: η ετήσια παραγωγή της μονάδας j
- C_j: ο συντελεστής εκπομπής CO₂ του καυσίμου που καταναλώνει η μονάδα j
- RE_j%: η ποσοστιαία μείωση του συντελεστή εκπομπών CO₂ λόγω της εφαρμογής ενός R&I σχεδίου σε σύγκριση με το BAU σενάριο
- EK\Pi_{jR&I}: ο συντελεστής εκπομπών CO₂ της j μονάδας μετά την εφαρμογή ενός R&I σχεδίου στο σύστημα
- EK\Pi_{jBAU}: ο συντελεστής εκπομπών CO₂ της j μονάδας κατά την αρχική κατάσταση του συστήματος (BAU σενάριο)
- M: ο αριθμός των μονάδων του συστήματος

4.3 Απόσβεση του CAPEX

Όνομα δείκτη: Απόσβεση του CAPEX

Ορισμός: Οι κεφαλαιακές δαπάνες είναι δαπάνες για την εγκατάσταση υποδομών με στόχο τη δημιουργία μελλοντικών παροχών. Τέτοιες μπορεί να είναι ηλεκτρονικές συσκευές για την επίβλεψη, τον έλεγχο και την επεξεργασία του φορτίου.

Μονάδα μέτρησης επιμέρους δεικτών: €, %, έτη

Κατηγορία: Project KPI

Σκοπός: Ο έλεγχος αν είναι συμφέρουσα η R&I δραστηριότητα που θα εφαρμοστεί στο σύστημα, συγκρίνοντας το όφελος (σε €) που προκύπτει από τη μείωση της παραγωγής των συμβατικών μονάδων με την παράλληλη μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας και κατ' επέκταση την αύξηση της ενέργειας που προέρχεται από τα αιολικά πάρκα. Στην περίπτωση που το όφελος μας δεν είναι μεγαλύτερο από το CAPEX μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα, δηλαδή εφόσον δεν κάνουμε απόσβεση των χρημάτων που διαθέσαμε, η R&I δραστηριότητα που εφαρμόστηκε δεν είναι συμφέρουσα και απορρίπτεται. Η απόσβεση του CAPEX θα υπολογισθεί με τη βοήθεια οικονομικών δεικτών.

Γενικά, για την οικονομική αξιολόγηση μιας επένδυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι δείκτες. Αυτοί που θα υπολογιστούν στη συγκεκριμένη εργασία είναι η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV-ΚΠΑ), ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR-EBA) και η Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (ΕΠΑ-DPP). (21)

Η **Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)** μίας επένδυσης είναι η αξία αυτής ανηγμένη στη χρονική στιγμή έναρξης της εμπορικής της λειτουργίας και δίνεται από τη σχέση:

Τύπος:

$$NPV = -K_0 + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1+k)^t} + \frac{YA_N}{(1+k)^N}$$

όπου

- K_0 : το κόστος της επένδυσης
- KTP_t : η Καθαρή Ταμειακή Ροή του έτους t
- k: η ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται (επιτόκιο αναγωγής)
- N: η διάρκεια της επένδυσης σε έτη
- YA_N : η υπολειμματική αξία της επένδυσης στο N-οστό έτος

Ο δείκτης **IRR (Internal Rate of Return – Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης)** είναι η τιμή του επιτοκίου αναγωγής, που κάνει την NPV της επένδυσης, για τη διάρκεια της οικονομικής αξιολόγησης, ίση με το μηδέν. Ειδικότερα, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης εκφράζει την απόδοση κεφαλαίου της αρχικής επένδυσης κατά τη διάρκεια του οικονομικού κύκλου ζωής της. Συνεπώς, ο IRR της επένδυσης προσδιορίζεται από τη λύση της εξίσωσης:

Τύπος:

$$-K_0 + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1 + IRR)^t} = 0$$

Η αξιολόγηση επένδυσης ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ γίνεται για χρονικό διάστημα ίσο με τη διάρκεια της σύμβασης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Μία τρίτη μέθοδος αξιολόγησης της επένδυσης είναι η **Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (ΕΠΑ, DPP)** δηλαδή η περίοδος επανάκτησης του κόστους της επένδυσης (K_0) από τις KTP. Ειδικότερα είναι ο αριθμός των ετών που απαιτούνται ώστε να καλυφθεί η αρχική δαπάνη με την θεώρηση ότι η υπολειμματική αξία της επένδυσης είναι μηδενική:

Τύπος:

$$-K_0 + \sum_{t=1}^x \frac{KTP_t}{(1 + k)^t} = 0$$

Η αξιολόγηση επενδύσεων χρησιμοποιεί την έννοια των Καθαρών Ταμειακών Ροών (KTP). Στα πλαίσια αυτής της εργασίας οι KTP θα ισούνται με το κέρδος που προκύπτει από τη μείωση του μέσου μεταβλητού κόστους και το κέρδος από την πώληση των μειωμένων εκπομπών CO₂. Δηλαδή,

$$KTP_t = (MMK_{\text{πριν}} - MMK_{\text{μετά}}) * EZ + (EKΠ_{\text{πριν}} - EKΠ_{\text{μετά}}) * TME$$

όπου

- KTP_t : οι Καθαρές Ταμειακές Ροές του έτους t
- $MMK_{\text{πριν}}$: το μέσο μεταβλητό κόστος του συστήματος πριν την επένδυση
- $MMK_{\text{μετά}}$: το μέσο μεταβλητό κόστος του συστήματος μετά την επένδυση
- EZ : η ετήσια ζήτηση
- $EKΠ_{\text{πριν}}$: οι εκπομπές CO₂ πριν την επένδυση στο σύστημα
- $EKΠ_{\text{μετά}}$: οι εκπομπές CO₂ μετά την επένδυση στο σύστημα
- TME : η τιμή πώλησης των μειωμένων εκπομπών CO₂

4.4 Increased RES penetration

Όνομα δείκτη: Increased RES penetration

Ορισμός: Πρόκειται για το ποσοστό της παραγωγής που προέρχεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή εκφράζει τη διείσδυση των ΑΠΕ στο σύστημα.

Μονάδα μέτρησης: %

Κατηγορία: Θεμελιώδης KPI

Σκοπός: Η μέγιστη δυνατή αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ χωρίς την παραβίαση των περιορισμών που επιβάλλει το σύστημα, ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια και η αξιοπιστία του.

Τύπος:

$$\Delta.AΠΕ = \frac{\sum_{i=1}^{8760} P_{ΑΠΕ}}{\sum_{i=1}^{8760} (P_{ΣΥΜΒ} + P_{ΑΠΕ})}$$

$$IP\% = \frac{\Delta.AΠΕ_{R\&I} - \Delta.AΠΕ_{BAU}}{\Delta.AΠΕ_{BAU}} * 100\%$$

όπου

- $\Delta.AΠΕ$: το ποσοστό της διείσδυσης των ΑΠΕ στο σύστημα
- $P_{ΑΠΕ}$: η παραγωγή των ΑΠΕ
- $P_{ΣΥΜΒ}$: η παραγωγή των συμβατικών μονάδων
- $IP\%$: η ποσοστιαία αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ στο σύστημα λόγω της εφαρμογής ενός R&I σχεδίου σε σύγκριση με το BAU σενάριο
- $\Delta.AΠΕ_{R\&I}$: το ποσοστό της διείσδυσης των ΑΠΕ μετά την εφαρμογή ενός R&I σχεδίου στο σύστημα
- $\Delta.AΠΕ_{BAU}$: το ποσοστό της διείσδυσης των ΑΠΕ μετά την εφαρμογή ενός R&I σχεδίου στο σύστημα

4.5 Increased RES hosting capacity

Όνομα δείκτη: Increased RES hosting capacity

Ορισμός: Πρόκειται για τη μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ των ΑΠΕ που μπορεί να φιλοξενήσει το σύστημα χωρίς να παραβιάζεται κανένας από τους περιορισμούς του.

Μονάδα μέτρησης: %

Μονάδα μέτρησης συγκρινόμενων μεγεθών: MW

Κατηγορία: Θεμελιώδης KPI

Σκοπός: Η μέγιστη δυνατή αύξηση της hosting capacity των ΑΠΕ χωρίς την παραβίαση των περιορισμών που επιβάλλει το σύστημα, ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια και η αξιοπιστία του. Ο συγκεκριμένος KPI είναι στενά συνδεδεμένος με τη διείσδυση των ΑΠΕ γι' αυτό και ο σκοπός είναι κοινός με τον KPI-Increased RES penetration.

Τύπος:

$$HC = \max\{P_{ΑΠΕ}\}$$
$$EHC\% = \frac{HC_{R\&I} - HC_{BAU}}{HC_{BAU}} * 100\%$$

όπου

- HC: η hosting capacity των ΑΠΕ
- $P_{ΑΠΕ}$: η παραγωγή των ΑΠΕ
- EHC%: η ποσοστιαία αύξηση της hosting capacity των ΑΠΕ λόγω της εφαρμογής ενός R&I σχεδίου σε σύγκριση με το BAU σενάριο
- $HC_{R\&I}$: η hosting capacity των ΑΠΕ μετά την εφαρμογή ενός R&I σχεδίου στο σύστημα
- HC_{BAU} : η hosting capacity των ΑΠΕ κατά την αρχική κατάσταση του συστήματος (BAU σενάριο)

4.6 Reduced energy curtailment of RES

Όνομα δείκτη: Reduced energy curtailment of RES

Ορισμός: Πρόκειται για την ενέργεια που προέρχεται από τις ΑΠΕ και απορρίπτεται από το σύστημα εξαιτίας τεχνικών λόγων. Οι σημαντικότεροι απ' αυτούς τους λόγους είναι οι περιορισμοί διείσδυσης που επιβάλλονται στο σύστημα. Ωστόσο, ένας άλλος λόγος μπορεί να είναι η αναντιστοιχία μεταξύ του προφίλ παραγωγής των ΑΠΕ και του προφίλ ζήτησης. Αυτό μπορεί να προκαλέσει στο σύστημα τοπικές (θερμικές) συμφορήσεις ή υπερτάσεις, που οδηγούν σε μερική ή ολική περικοπή της ενέργειας που παράγουν τα ΑΠΕ. Επιπλέον, θέματα συντήρησης δικτύου μπορεί να προκαλέσουν σφάλματα ή βραχυκυκλώματα στο δίκτυο με συνέπεια την περικοπή του φορτίου.

Μονάδα μέτρησης: %

Μονάδα μέτρησης συγκρινόμενων μεγεθών: MW

Κατηγορία: KPI ειδικού σκοπού

Σκοπός: Η μέγιστη δυνατή μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας μέσω R&I δραστηριοτήτων που θα εφαρμοστούν στο σύστημα.

Τύπος:

$$E_{curtailment} \% = \frac{E_{curtailment}^{R\&D} - E_{curtailment}^{BAU}}{E_{curtailment}^{BAU}}$$

όπου

- $E_{curtailment} \%$: η ποσοστιαία μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας των ΑΠΕ λόγω της εφαρμογής ενός R&I σχεδίου σε σύγκριση με το BAU σενάριο
- $E_{curtailment}^{R\&D}$: η απορριπτόμενη ενέργεια των ΑΠΕ μετά την εφαρμογή ενός R&I σχεδίου στο σύστημα
- $E_{curtailment}^{BAU}$: η απορριπτόμενη ενέργεια των ΑΠΕ κατά την αρχική κατάσταση του συστήματος (BAU σενάριο)

4.7 Increased system flexibility

Όνομα δείκτη: Increased system flexibility

Ορισμός: Πρόκειται για το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας (παραγωγή και φορτίο) που μπορεί να διαμορφωθεί-προσαρμοστεί στις ανάγκες της λειτουργίας του συστήματος μέσα σε μία συγκεκριμένη μονάδα του χρόνου.

Μονάδα μέτρησης: MW

Κατηγορία: Θεμελιώδης KPI

Σκοπός: Η μέγιστη δυνατή αύξηση της ευελιξίας του συστήματος μέσω R&I δραστηριοτήτων που περιλαμβάνουν ελεγχόμενη παραγωγή, ελεγχόμενα φορτία και αποθήκευση ενέργειας.

Τύπος:

$$\Delta SF = SF_{R\&I} - SF_{BAU}$$

όπου

- ΔSF : η αύξηση της ευέλικτου φορτίου του συστήματος
- $SF_{R\&I}$: το ευέλικτο φορτίο μετά την εφαρμογή ενός R&I σχεδίου στο σύστημα
- SF_{BAU} : το ευέλικτο φορτίο κατά την αρχική κατάσταση του συστήματος (BAU σενάριο)

5 Περιγραφή σεναρίων

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν οι R&I δραστηριότητες που θα εφαρμοστούν στο ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ. Η εξέταση και αξιολόγηση αυτών των σεναρίων θα γίνει με την βοήθεια των KPIs του κεφαλαίου 4, γεγονός που μαρτυρά τη σπουδαιότητα των δεικτών αυτών. Έτσι, αφού υπολογιστούν όλες οι απαραίτητες παράμετροι για την κατάσταση του συστήματος που θα θεωρηθεί το BAU σενάριο, θα υλοποιηθεί μία R&I λύση στο σύστημα και θα υπολογιστούν ξανά αυτές οι παράμετροι ώστε να εξαχθούν οι KPIs και να γίνει η σύγκριση.

5.1 Εκτενής παρουσίαση σεναρίων

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα δεδομένα των σεναρίων που μελετήθηκαν για τη βελτίωση του ηλεκτρικού συστήματος της Κρήτης.

5.1.1 Σενάριο Business As Usual-BAU

Θεωρώντας ως έτος βάσης το έτος 2012, η ετήσια ανά ώρα ζήτηση του θα αποτελέσει το σενάριο αναφοράς-BAU. Τα δεδομένα μας εμπεριέχουν την παραγωγή των συμβατικών μονάδων, την παραγωγή των αιολικών πάρκων, τις θερμοκρασίες σε κάθε μία από τις τοποθεσίες των αιολικών πάρκων στην επικράτεια της Κρήτης. Επίσης, ο δυναμικός περιορισμός του δικτύου οριοθετείται στο 35% και ο διαχειριστής του δικτύου έχει μεριμνήσει ώστε να μην ξεπερνιέται αυτό το όριο σε καμία ώρα του έτους. Θεωρούμε ότι δεν υπάρχει απόρριψη ενέργειας στα δεδομένα του έτους 2012.

5.1.2 Σενάριο 1^ο Αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος

Το σενάριο 1^ο περιλαμβάνει την αύξηση της αιολικής παραγωγής για κάθε ώρα του έτους κατά ένα ποσοστό σε σχέση με το σενάριο βάσης. Το ποσοστό αυτό είναι ίδιο για όλες τις ώρες του έτους διότι αντιπροσωπεύει την αύξηση του αιολικού δυναμικού, π.χ. την αύξηση του αριθμού των ανεμογεννητριών. Η αύξηση αυτή δεν μπορεί να είναι απεριόριστη διότι πρέπει να συμβαδίζει με τη βιωσιμότητα των επενδύσεων της παραγωγής. Οι κύριοι παράγοντες που διαμορφώνουν αυτό το ποσοστό είναι οι περιορισμοί διείσδυσης (κεφάλαιο 3) και ο συντελεστής χρησιμοποίησης (capacity factor).

Αυτό συμβαίνει διότι η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την εγκατεστημένη ισχύ του σταθμού ΑΠΕ και τον συντελεστή χρησιμοποίησης που αντιστοιχεί στον εκάστοτε σταθμό. Ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι συνάρτηση κυρίως του διαθέσιμου δυναμικού (π.χ. αιολικού δυναμικού) και των τεχνολογικών παραμέτρων εκμετάλλευσης του διαθέσιμου δυναμικού και ορίζεται από το ακόλουθο κλάσμα:

$$\text{Capacity factor} = \frac{\sum_{i=1}^{8760} P_{ΑΠΕ}}{\text{εγκατεστημένη ισχύς}}$$

Πρόκειται για το λόγο της ετήσιας παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προς τη μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ που μπορούν να παρέχουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Ο μέσος ετήσιος συντελεστής χρησιμοποίησης για τους μεγάλους αιολικούς σταθμούς εκτιμάται ότι είναι 24,5% για σταθμούς που βρίσκονται στο ηπειρωτικό σύστημα και τα διασυνδεδεμένα νησιά, 30% για σταθμούς που είναι εγκατεστημένοι στα μη διασυνδεδεμένα νησιά και 38% για θαλάσσιους αιολικούς σταθμούς. Για μικρούς αιολικούς σταθμούς, τυπικής ισχύος 50kW, ο μέσος ετήσιος συντελεστής χρησιμοποίησης λαμβάνεται ίσος με 28%. (22)

Πιο συγκεκριμένα για τα μη-διασυνδεδεμένα νησιά η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) έχει ορίσει μία διαδικασία-μεθοδολογία για τον προσδιορισμό της επιτρεπόμενης μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος και την χορήγηση των αδειών παραγωγής των μονάδων ΑΠΕ, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί του εκάστοτε συστήματος αλλά και να θεωρείται βιώσιμη η επένδυση. Σύμφωνα λοιπόν με τους κανόνες, το περιθώριο νέας ισχύος ΑΠΕ που μπορεί να εγκατασταθεί και το αντίστοιχο όριο απορρόφησης καθορίζονται ανά νησί και αναθεωρούνται ανά διετία. Το περιθώριο της νέας ισχύος και το όριο απορρόφησης υπολογίζονται, έτσι ώστε να διασφαλίζουν έναν ελάχιστο συντελεστή χρησιμοποίησης της τάξεως του 27,5%, λαμβάνοντας υπόψη την εξέλιξη των φορτίων, τους υπάρχοντες συμβατικούς σταθμούς και μονάδες ΑΠΕ παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τα ανεμολογικά δεδομένα του νησιού.

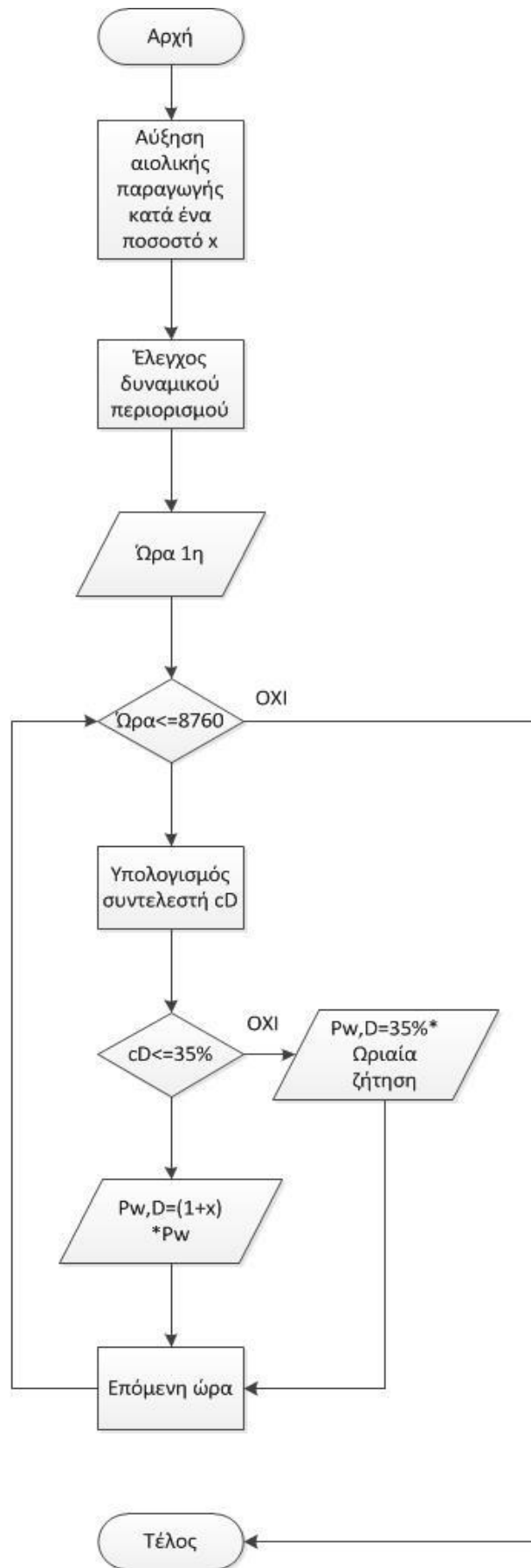
Σύμφωνα με τα παραπάνω στο σενάριο που αφορά την περαιτέρω αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στο σύστημα της Κρήτης, η τιμή του της μέγιστης αύξησης της αιολικής ισχύος προσδιορίζεται όταν ο συντελεστής χρησιμοποίησης λάβει την οριακή τιμή του 27%.

Εκτέλεση σεναρίου

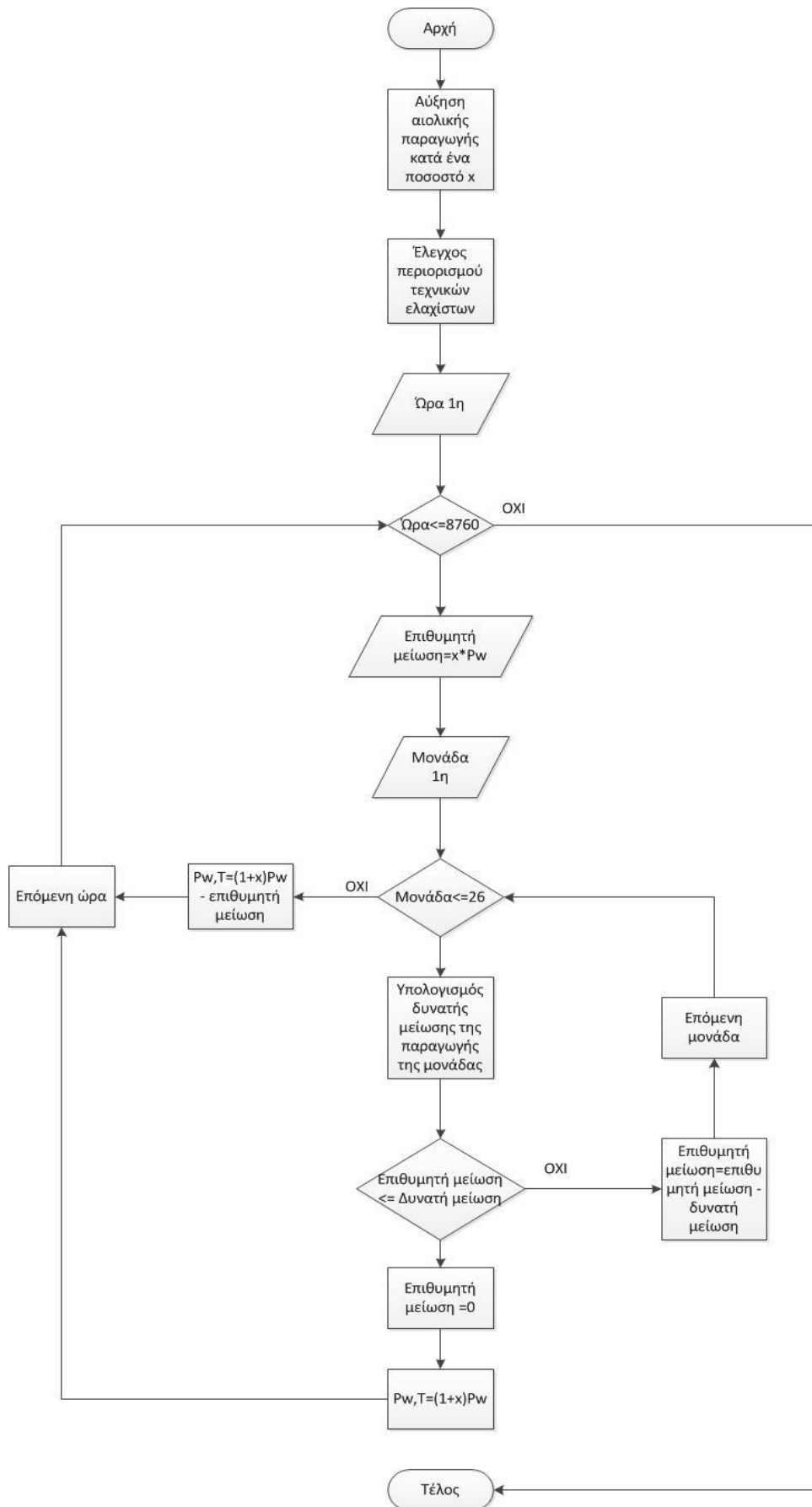
Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: για κάθε μία ώρα του έτους γίνεται αύξηση της αιολικής παραγωγής κατά ένα ποσοστό και στη συνέχεια ελέγχονται ανεξάρτητα ο δυναμικός περιορισμός και ο περιορισμός τεχνικών ελαχίστων. Στην περίπτωση του δυναμικού περιορισμού ελέγχεται αν η αύξηση που πραγματοποιήθηκε παραβιάζει το συντελεστή μέγιστης διείσδυσης αιολικής ισχύος c_D . Αν συμβεί αυτό το ενδεχόμενο η συγκεκριμένη αύξηση κρίνεται μη εφικτή, απορρίπτεται και υπολογίζεται η μέγιστη επιτρεπτή αύξηση, διαφορετικά η αύξηση γίνεται δεκτή. Όσον αφορά τον περιορισμό των τεχνικών ελαχίστων εξετάζεται αν η αύξηση της αιολικής ισχύος μπορεί να αφαιρεθεί από την παραγωγή των συμβατικών μονάδων. Ο έλεγχος αυτός γίνεται για κάθε μία μονάδα ξεχωριστά μέχρι να συμπληρωθεί η απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας, οπότε η διαδικασία σταματά και κρίνεται εφικτή η ζητούμενη αύξηση. Αν δεν συμπληρωθεί, όμως, η δυνατή αύξηση είναι μικρότερη και ίση με την συμπληρωμένη ποσότητα. Επομένως, για κάθε ώρα του έτους έχουν προσδιοριστεί, λόγω αυτών των περιορισμών, δύο τιμές για την

αύξηση της αιολικής παραγωγής. Η τελική τιμή που επιλέγεται είναι η μικρότερη ώστε να ικανοποιούνται παράλληλα και οι δύο περιορισμοί. Αφού διαμορφωθεί η αιολική παραγωγή του έτους υπολογίζεται ο συντελεστής χρησιμοποίησης. Αν ο συντελεστής είναι μεγαλύτερος από την επιθυμητή τιμή τότε επαναλαμβάνουμε την ανωτέρω διαδικασία, με μεγαλύτερο το ποσοστό αύξησης, μέχρι να προσεγγίσουμε το 27%.

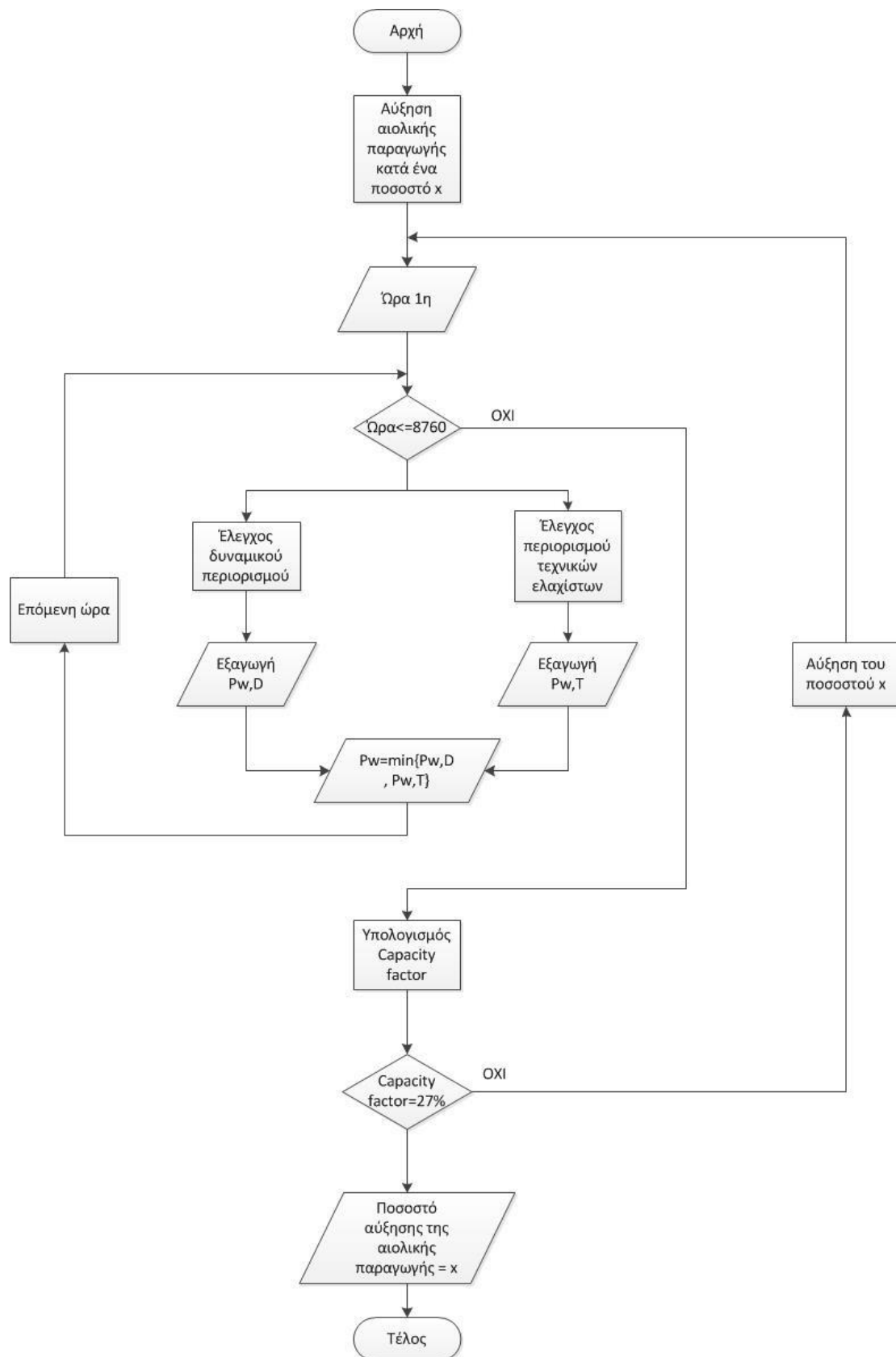
Ακολουθούν τα διαγράμματα ροής που περιγράφουν σχηματικά τη διαδικασία που μόλις περιγράψαμε. Στα δύο πρώτα διαγράμματα παρουσιάζονται ξεχωριστά οι δύο περιορισμοί και στο τρίτο παρουσιάζεται όλο το σενάριο.



Εικόνα 11: Διάγραμμα ροής 1 για το σενάριο 1°



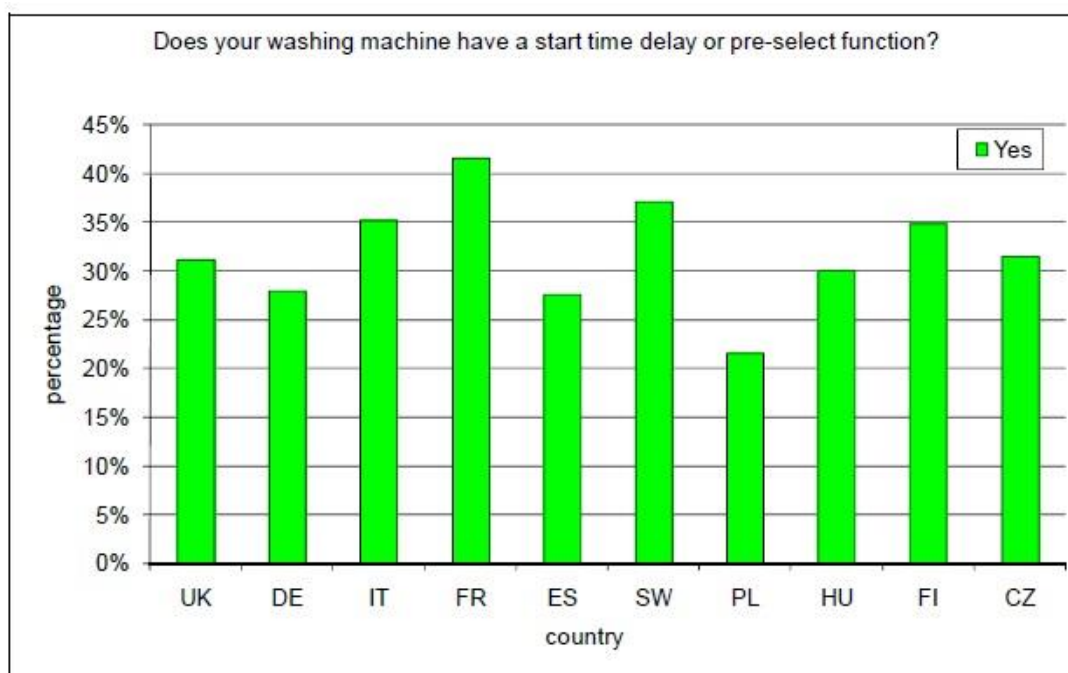
Εικόνα 12: Διάγραμμα ροής 2 για το σενάριο 1^ο



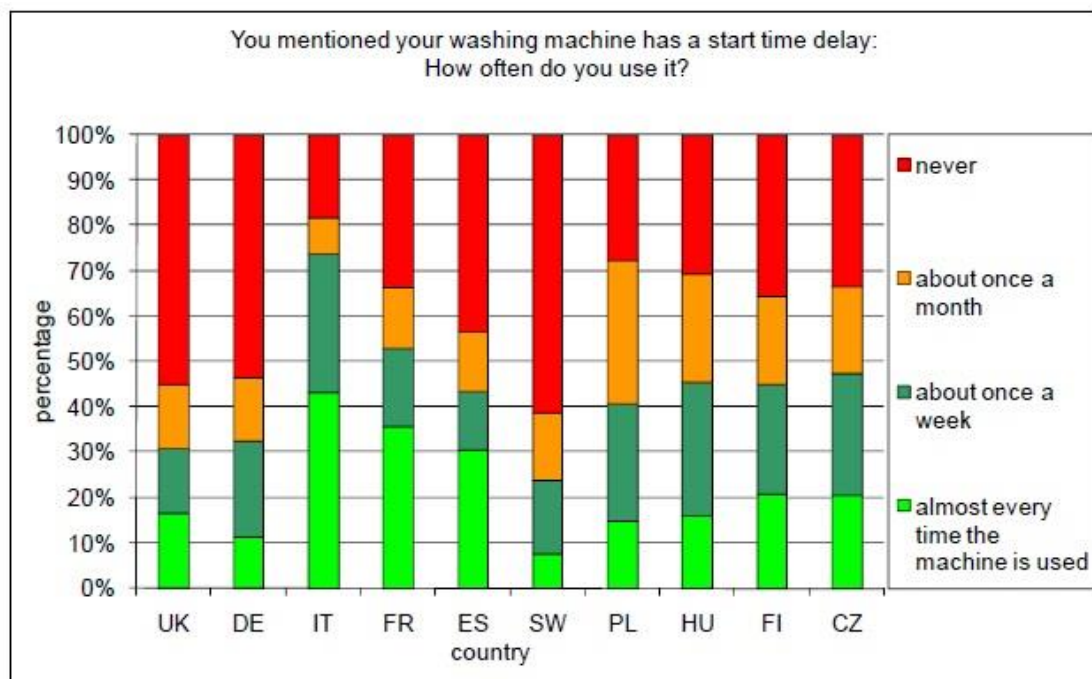
Εικόνα 13: Διάγραμμα ροής 3 για το σενάριο 1°

5.1.3 Σενάριο 2^ο Ελέγξιμο φορτίο: πλυντήρια ρούχων

Το σενάριο 2^ο αποτελεί ένα σενάριο μετατόπισης φορτίου το οποίο μπορεί να συνδεθεί άμεσα με το σενάριο 1^ο, με την έννοια ότι μπορεί να εκτελεστεί αφού θεωρήσουμε ότι έχουμε επιτύχει μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ των αιολικών πάρκων. Τοποθετώντας ελεγκτές σε κάθε νοικοκυριό εξετάζεται η δυνατότητα μετατόπισης φορτίου συγκεκριμένων οικιακών συσκευών, χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα στην άνεση του καταναλωτή. Στο σενάριο αυτό μελετάται η λειτουργία του πλυντηρίου ρούχων. Η επιλογή αυτής της συσκευής δεν είναι τυχαία. Τα σύγχρονα πλυντήρια διαθέτουν, ολοένα και περισσότερο, την επιλογή της καθυστερημένης έναρξης (start-time delay) ή της προεπιλεγμένης λειτουργίας (pre-select function), γεγονός που αποσυνδέει το χρήστη από την ώρα έναρξης της πλύσης. Ενδεικτικά παρατίθενται τα ακόλουθα διαγράμματα (Εικόνα 14 και 15), που προέκυψαν από την έρευνα του University of Bonn σχετικά με τη λειτουργία του πλυντηρίου ρούχων και παρουσιάζουν το ποσοστό των πλυντηρίων που διαθέτει αυτή τη δυνατότητα, καθώς και τη συχνότητα χρήσης αυτής της λειτουργίας από τους χρήστες σε διάφορες χώρες της Ευρώπης. (23)



Εικόνα 14: Διαθεσιμότητα της start-time delay ή pre-select function (23)

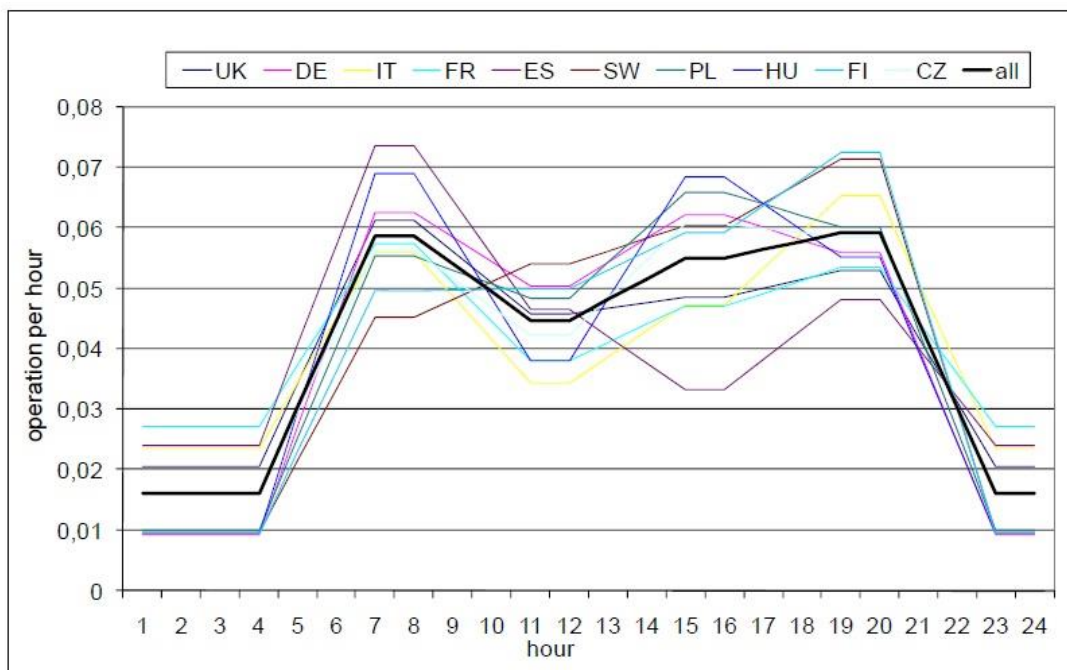


Εικόνα 15: Συχνότητα χρήσης της start-time delay λειτουργίας (23)

Παρατηρώντας το πρώτο διάγραμμα φαίνεται ότι το ακριβές ποσοστό διαφέρει μεταξύ των χωρών, ωστόσο το 32% (κατά μέσο όρο) των πλυντηρίων είναι εξοπλισμένα με μια τέτοια επιλογή. Επιπλέον, όσον αφορά τη συχνότητα χρήσης αυτής της επιλογής το 40% (κατά μέσο όρο) των χρηστών δεν χρησιμοποιεί ποτέ αυτή τη λειτουργία, ένα 22% (κατά μέσο όρο) τη χρησιμοποιεί περίπου μία φορά την εβδομάδα και μόνο το 22% (κατά μέσο όρο) τη χρησιμοποιεί πάντα.

Επομένως, τα στοιχεία αυτά δείχνουν ότι υπάρχουν μεγάλα περιθώρια αλλαγής της ενεργειακής συμπεριφοράς του καταναλωτή, ειδικά αν κατανοήσει ότι του δίνεται η δυνατότητα να διαμορφώνει το ημερήσιο φορτίο που καταναλώνει. Προφανώς, αυτό θα επιτευχθεί σε συνδυασμό με την πρόοδο της τεχνολογίας η οποία θα εξασφαλίσει στο χρήστη τον εξοπλισμό όλων των πλυντηρίων, με τη συγκεκριμένη λειτουργία αλλά και με νέες πιο εξελιγμένες. Γίνεται ξεκάθαρο, λοιπόν, ότι το παρόν σενάριο δεν είναι απίθανο να υλοποιηθεί στο μέλλον.

Ωστόσο, οποιαδήποτε αλλαγή και αν γίνει στη συμπεριφορά του καταναλωτή, πρέπει αρχικά να προσδιοριστεί το ημερήσιο προφίλ χρήσης του πλυντηρίου ρούχων, δηλαδή ποιες είναι οι επικρατέστερες ώρες για την έναρξη της λειτουργίας του. Στο ακόλουθο διάγραμμα (Εικόνα 16) φαίνεται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (Σ.Π.Π.) της ώρας έναρξης της λειτουργίας του πλυντηρίου ρούχων για 10 χώρες της Ευρώπης. Όπως παρατηρείται η Ελλάδα δεν συμπεριλαμβάνεται μέσα σε αυτές τις χώρες. Γι' αυτό το λόγο στην μελέτη μας θα χρησιμοποιηθεί η “μέση” συμπεριφορά που περιγράφεται από τη μαύρη γραμμή.



Εικόνα 16: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ώρας έναρξης της λειτουργίας του πλυντηρίου ρούχων για 10 χώρες της Ευρώπης (23)

Μελετώντας την καμπύλη αυτή προκύπτει η ύπαρξη δύο κυρίαρχων περιόδων χρήσης του πλυντηρίου ρούχων κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Η πρώτη είναι τις πρωινές ώρες και η δεύτερη τις απογευματινές ώρες. Αυτό φαίνεται πιο ξεκάθαρα και από τις τιμές της Σ.Π.Π. για κάθε μία ώρα του 24ώρου.

Πίνακας 5: Πιθανότητα έναρξης ανά ώρα

Ωρα έναρξης	Πιθανότητα έναρξης
0:00	0,016
1:00	0,016
2:00	0,016
3:00	0,023
4:00	0,037
5:00	0,051
6:00	0,058
7:00	0,05586
8:00	0,05153
9:00	0,0472
10:00	0,045
11:00	0,04626
12:00	0,04956
13:00	0,05286
14:00	0,055
15:00	0,05561
16:00	0,05694
17:00	0,05827
18:00	0,059

19:00	0,051825
20:00	0,037495
21:00	0,023165
22:00	0,016
23:00	0,016

Επιπλέον, από την ίδια έρευνα του University of Bonn προκύπτει ότι η μέση πλύση (5 kg) απαιτεί 0,89 kWh. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα ελεγχόμενα νοικοκυριά είναι 330.201 και σε καθένα αντιστοιχεί μία πλύση την ημέρα, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το ημερήσιο δυνατό φορτίο μετατόπισης ισούται με 293,88 MWh. (23)

Εκτέλεση σεναρίου

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: για κάθε μία ώρα του έτους υπολογίζεται η πραγματική αύξηση και η πραγματική μείωση ενέργειας που μπορεί να γίνει χωρίς να παραβιαστεί κάποιος από τους περιορισμούς του συστήματος. Παράλληλα, υπολογίζεται και η απορριπτόμενη ενέργεια κάθε ώρας. Στόχος είναι να μετατοπισθεί το φορτίο των πλυντηρίων ρούχων σε ώρες με υψηλή απόρριψη ώστε να έχουμε τη μέγιστη δυνατή μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας. Έτσι, χωρίζοντας το έτος σε 24ώρα υπολογίζεται για κάθε ένα ξεχωριστά η μέγιστη επιτρεπτή μετατόπιση φορτίου την οποία θα επωμιστούν τα αιολικά πάρκα. Στο σημείο αυτό θα αναπτύξουμε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις σχετικά με τον τρόπο εύρεσης του φορτίου προς μετατόπιση.

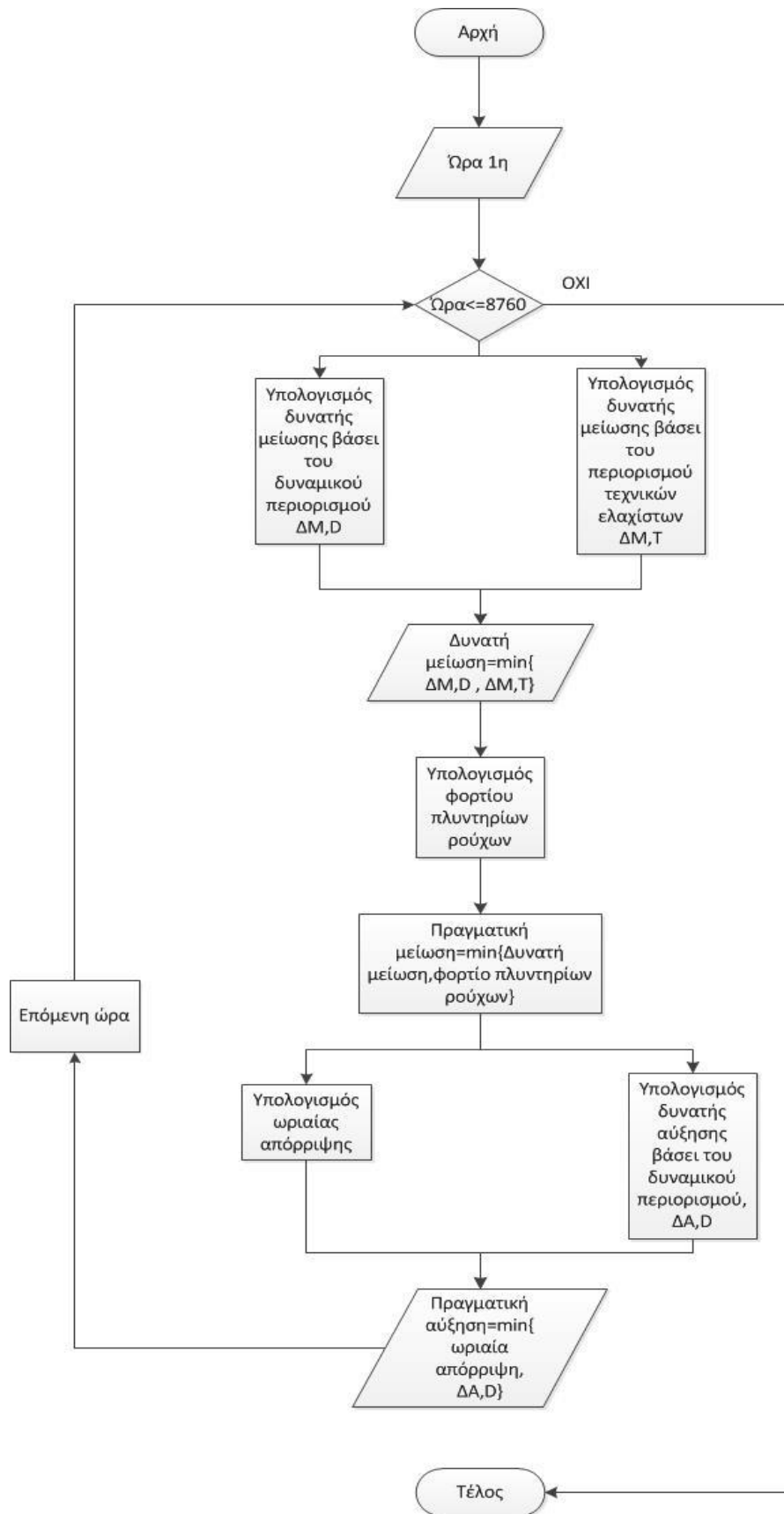
Προσέγγιση Α

Στη συγκεκριμένη προσέγγιση το φορτίο μπορεί να προέλθει από οποιαδήποτε ώρα του 24ώρου, ανεξαρτήτως της ύπαρξης απόρριψης ή όχι. Η μόνη παραδοχή είναι η εξής: σε ώρες που θα μετατοπιστεί φορτίο δεν μπορεί να αφαιρεθεί φορτίο που προέρχεται από τα πλυντήρια ρούχων. Η διαδικασία ξεκινάει ταξινομώντας κατά φθίνουσα σειρά τις ώρες του 24ώρου βάσει της πραγματικής επιτρεπτής αύξησης που έχει υπολογιστεί. Στη συνέχεια, ελέγχεται αν στην ώρα της ημέρας με τη μεγαλύτερη επιτρεπτή αύξηση ενέργειας μπορεί να μετατοπιστεί το φορτίο από τις υπόλοιπες ώρες. Αν αυτό είναι εφικτό γίνεται η μετατόπιση και εξετάζεται το επόμενο 24ωρο. Διαφορετικά, ελέγχεται αν στις δύο ώρες με την μεγαλύτερη επιτρεπτή αύξηση ενέργειας μπορεί να μετατοπιστεί το φορτίο από τις υπόλοιπες ώρες. Γενικά, η διαδικασία αυτή συνεχίζεται με την ίδια λογική μέχρι να βρεθεί ο συνδυασμός των ωρών που ικανοποιεί τη συνθήκη για τη μετατόπιση. Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι πιθανό σε κάποιο 24ωρο να μην ικανοποιείται η συνθήκη με κανένα συνδυασμό και να μην μπορεί να πραγματοποιηθεί μετατόπιση φορτίου.

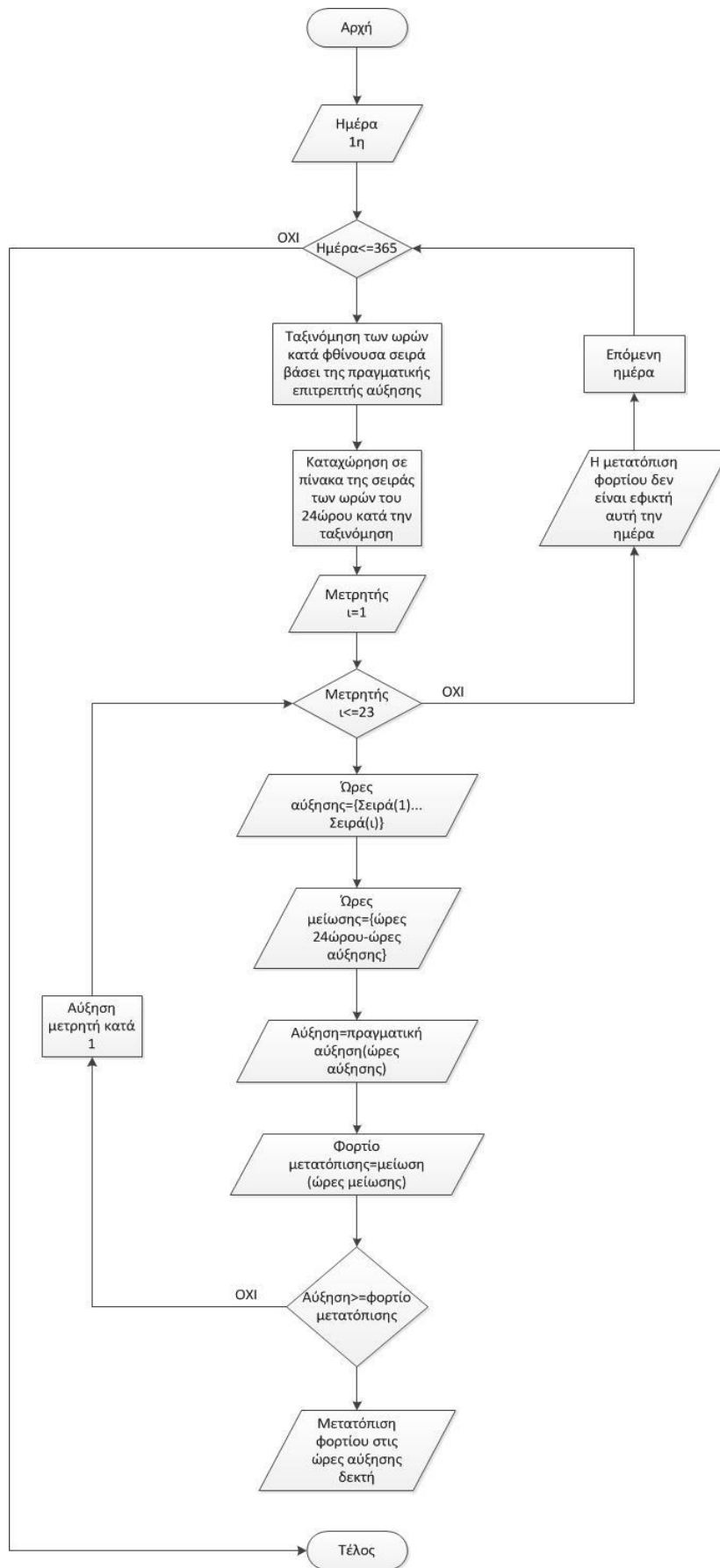
Προσέγγιση Β

Στη συγκεκριμένη προσέγγιση το φορτίο μπορεί να προέλθει μόνο από ώρες του 24ώρου που έχουν μηδενική απόρριψη ενέργειας. Η μόνη παραδοχή είναι η εξής: η απόρριψη των ωρών που είναι μικρότερη ή ίση με 2 MW θεωρείται μηδενική. Η διαδικασία ξεκινάει με την εύρεση των ωρών του 24ώρου που έχουν μη μηδενική απόρριψη. Στη συνέχεια ελέγχεται αν στις ώρες αυτές μπορεί να μετατοπιστεί το φορτίο των πλυντηρίων ρούχων από όλες τις υπόλοιπες ώρες. Αν αυτό είναι εφικτό γίνεται η μετατόπιση και εξετάζεται το επόμενο 24ωρο. Διαφορετικά, μετατοπίζεται ένα μόνο μέρος της δυνατής ενέργειας προς μετατόπιση, το οποίο καθορίζεται από την πραγματική αύξηση που έχει προσδιοριστεί για κάθε ώρα.

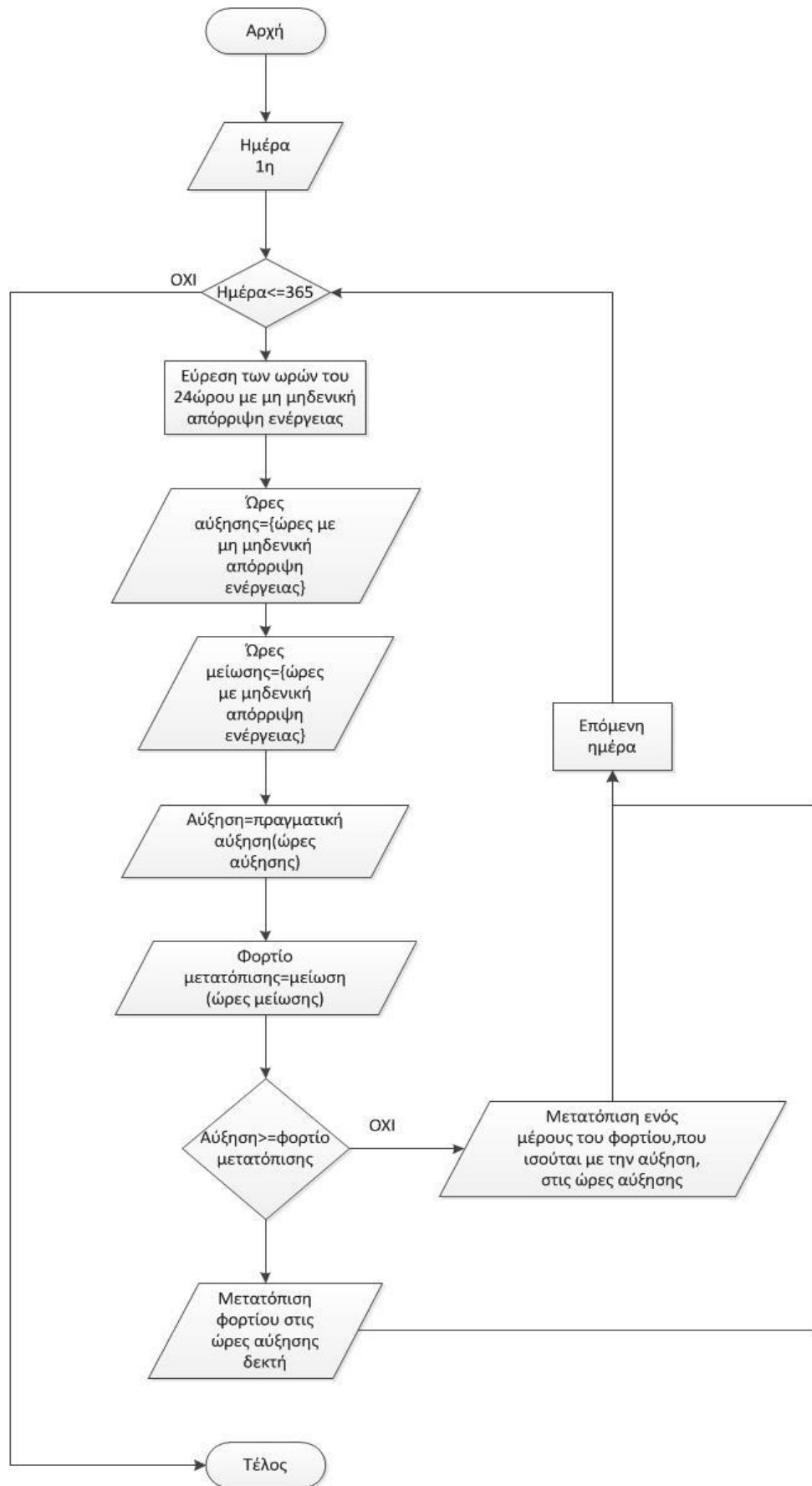
Ακολουθούν τα διαγράμματα ροής για το συγκεκριμένο σενάριο. Το πρώτο απεικονίζει την αρχική διαδικασία που ακολουθείται και τα δύο επόμενα απεικονίζουν τις δύο διαφορετικές προσεγγίσεις.



Εικόνα 17: Διάγραμμα ροής 1 για το σενάριο 2°



Εικόνα 18: Διάγραμμα ροής 2 για το σενάριο 2^ο - προσέγγιση Α

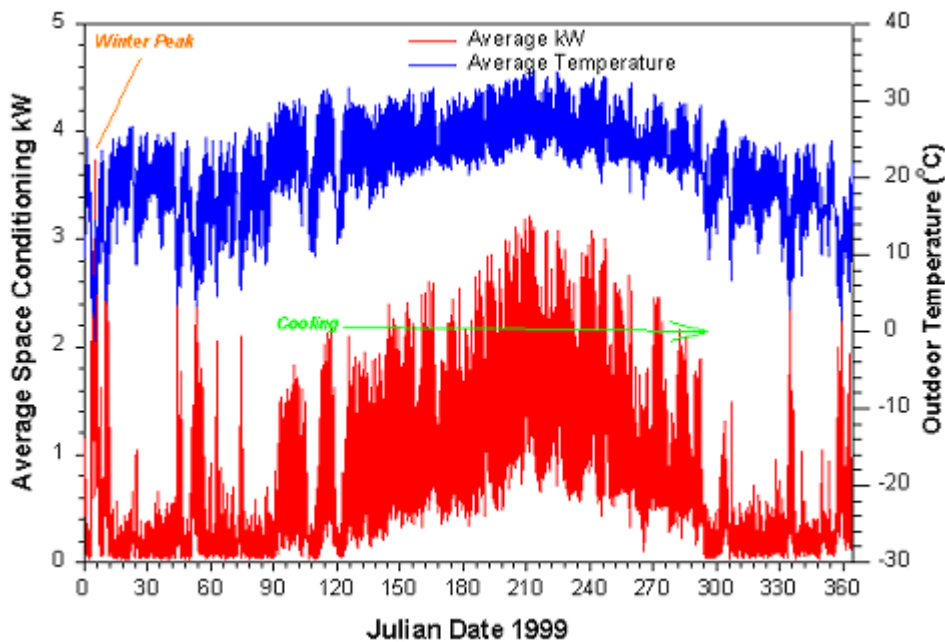


Εικόνα 19: Διάγραμμα ροής 3 για το σενάριο 2^ο – προσέγγιση Β

5.1.4 Σενάριο 3^ο Ελέγξιμο φορτίο: κλιματιστικά

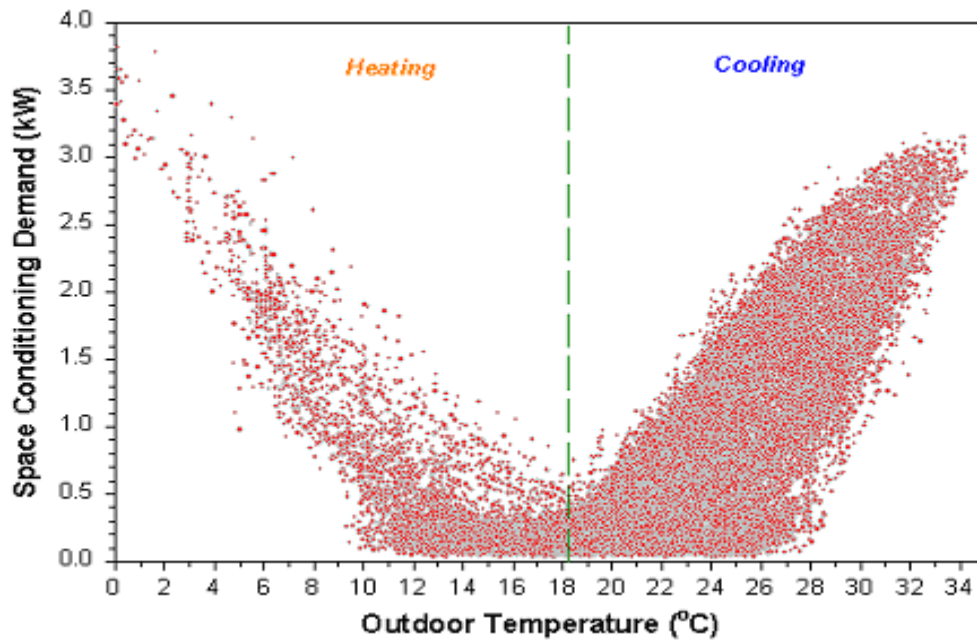
Το σενάριο 3^ο, επίσης, μπορεί να αποτελέσει ξεχωριστό σενάριο από το σενάριο 2^ο, αλλά μπορεί να θεωρηθεί και η συνέχεια του. Αυτό συμβαίνει διότι εξετάζεται ο έλεγχος της λειτουργίας μίας ακόμη οικιακής συσκευής, του κλιματιστικού, ο έλεγχος της οποίας γίνεται από τον ίδιο ελεγκτή που έχει εγκατασταθεί σε κάθε νοικοκυριό. Πρόκειται για μία συσκευή με ευρεία χρήση όλο το έτος διότι χρησιμοποιείται για την θέρμανση αλλά και για τη ψύξη της οικίας.

Με τη βοήθεια μίας μελέτης που πραγματοποιήθηκε στη Central Florida των Η.Π.Α. προσδιορίζεται η ενεργειακή κατανάλωση του κλιματιστικού συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας. (24) Η επιλογή αυτής της μελέτης έγινε με κριτήριο τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στη συγκεκριμένη περιοχή (ζεστό κλίμα), γεγονός που επιτρέπει τη χρήση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων και στο χώρο της Κρήτης λόγω του παρόμοιου κλίματος. Στο ακόλουθο διάγραμμα (Εικόνα 20) φαίνονται οι θερμοκρασίες του έτους 1999 καθώς και το φορτίο των κλιματιστικών. Παρατηρώντας τις τιμές της θερμοκρασίας, οι οποίες είναι συγκεντρωμένες από τους 15 °C ως τους 30 °C στο μεγαλύτερο διάστημα του έτους, επαληθεύεται αυτή η ομοιότητα στο κλίμα που προαναφέρθηκε.



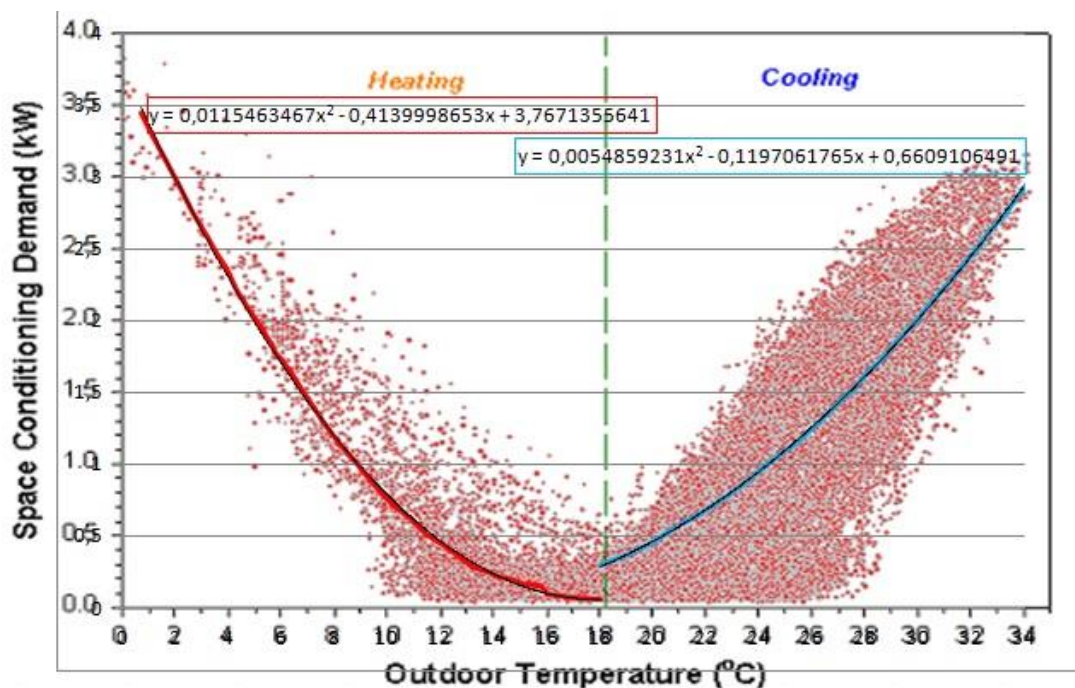
Εικόνα 20: Σύγκριση της μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας με το μέσο φορτίο κλιματισμού χώρου ολόκληρο το χρόνο (24)

Για τον προσδιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης των κλιματιστικών συλλέχτηκαν πάνω από 22 εκατομμύρια μετρήσεις κατά του διάρκεια όλου του έτους, εκ των οποίων οι 33 χιλιάδες, που αποτελούν ένα γενικό μέσο όρο, απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας (Εικόνα 21).



Εικόνα 21: Μετρήσεις της ενεργειακής κατανάλωσης των κλιματιστικών συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας (24)

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα η ψύξη παύει στους 18,3 °C και ξεκινάει η θέρμανση. Με τη βοήθεια του excel υπολογίστηκαν οι δύο καμπύλες ενεργειακής κατανάλωσης τόσο για τη ψύξη όσο και για τη θέρμανση (Εικόνα 22).



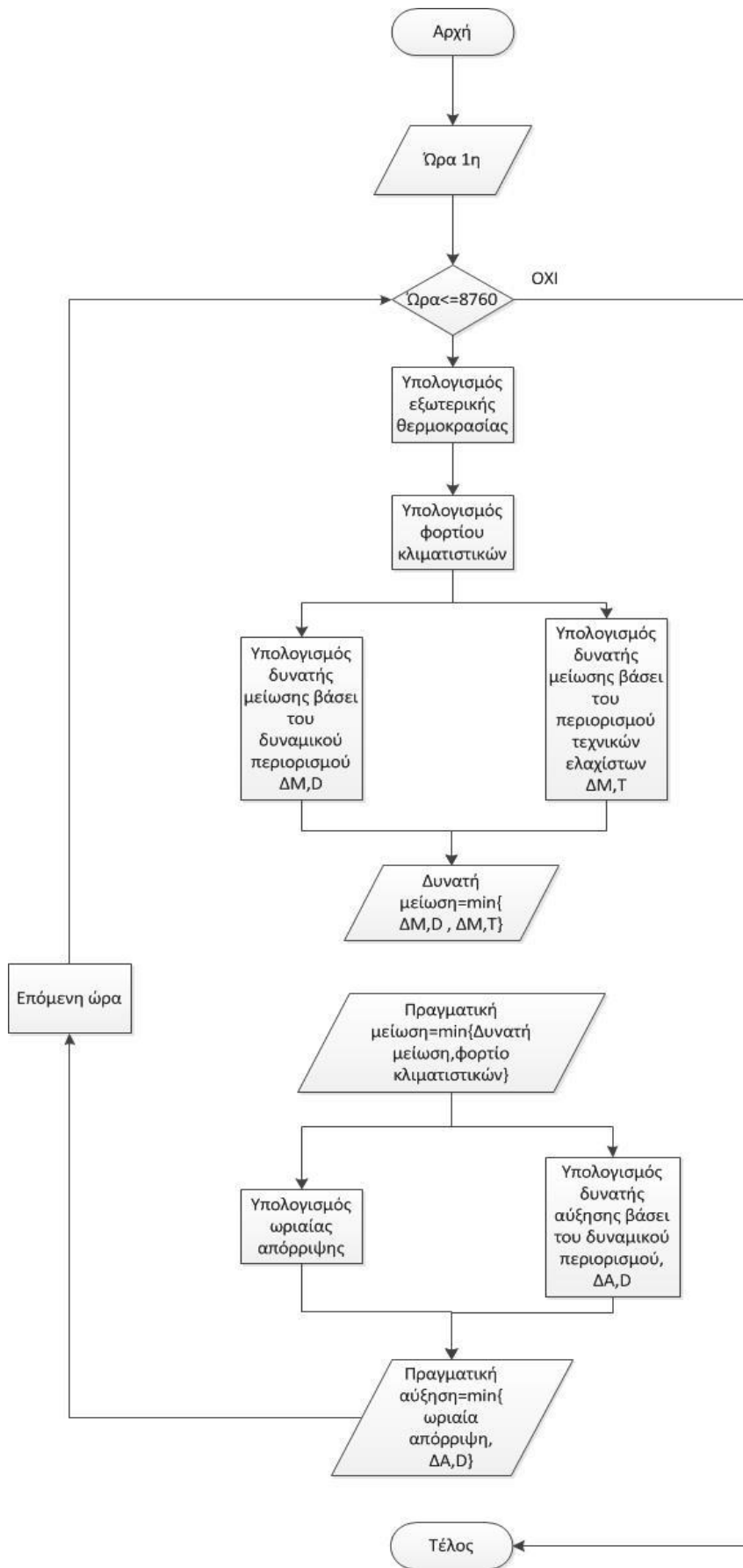
Εικόνα 22: Καμπύλες ενεργειακής κατανάλωσης κλιματιστικών

Προφανώς, το ημερήσιο δυνατό φορτίο μετατόπισης δεν είναι ίδιο για όλες τις ημέρες του έτους διότι η χρήση του κλιματιστικού εξαρτάται από την εξωτερική θερμοκρασία. Επίσης, στα πλαίσια αυτού του σεναρίου θεωρείται ότι το κλιματιστικό βρίσκεται σε λειτουργία μόνο για εξωτερικές θερμοκρασίες μικρότερες των 16 °C (θέρμανση) και μεγαλύτερες των 24 °C (ψύξη).

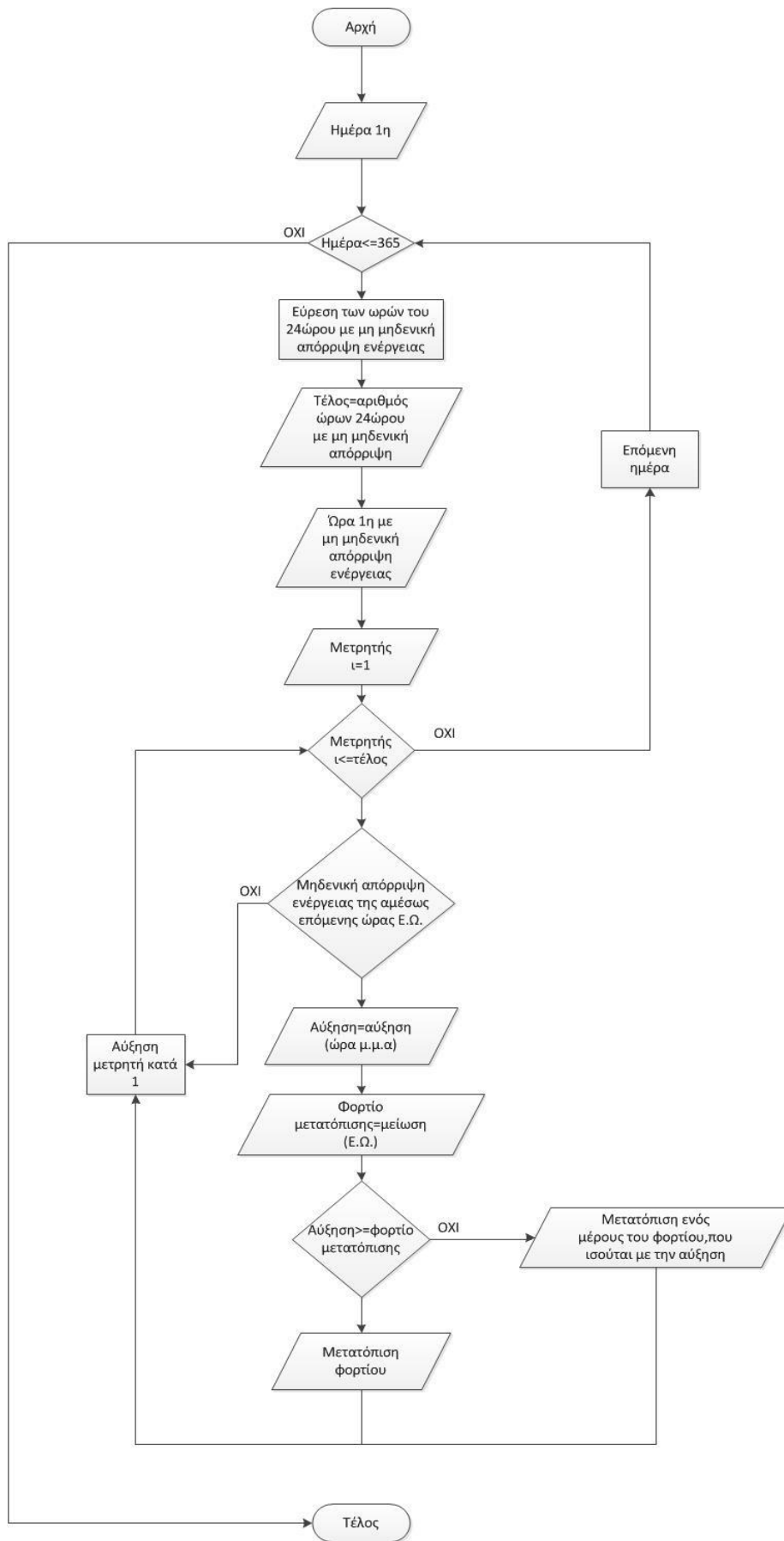
Εκτέλεση σεναρίου

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: για κάθε μία ώρα του έτους υπολογίζεται η (εξωτερική) θερμοκρασία περιβάλλοντος της Κρήτης και στη συνέχεια το ωριαίο φορτίο που προέρχεται από τα κλιματιστικά. Επίσης, για κάθε μία ώρα του έτους υπολογίζεται, ακριβώς όπως και στο προηγούμενο σενάριο, η πραγματική αύξηση και η πραγματική μείωση ενέργειας που μπορεί να γίνει χωρίς να παραβιαστεί κάποιος από τους περιορισμούς του συστήματος. Παράλληλα, υπολογίζεται και η απορριπτόμενη ενέργεια κάθε ώρας. Στόχος παραμένει να μετατοπισθεί το φορτίο των κλιματιστικών σε ώρες με απόρριψη ώστε να έχουμε τη μέγιστη δυνατή μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας. Έτσι, χωρίζοντας το έτος σε 24ώρα υπολογίζεται για κάθε ένα ξεχωριστά η μέγιστη επιτρεπτή μετατόπιση φορτίου την οποία θα επωμιστούν τα αιολικά πάρκα. Η μόνη διαφορά που συναντάται σε σχέση με τα πλυντήρια ρούχων είναι ότι το φορτίο του κλιματιστικού μπορεί να μετατοπιστεί μόνο από ώρα χωρίς απόρριψη και μόνο στην αμέσως προηγούμενη της ώρα, αν παρουσιάζει απόρριψη ενέργειας. Αυτό γίνεται ώστε να μην αλλάζει το αποτέλεσμα του κλιματισμού, δηλαδή η επιθυμητή θερμοκρασία στο χώρο να επιτευχθεί και μετά την μετατόπιση του φορτίου για όλες τις ώρες της ημέρας. Επομένως, σε κάθε 24ώρο εντοπίζονται οι ώρες με μη μηδενική απόρριψη και ελέγχεται αν η επόμενη ώρα κάθε μίας έχει μηδενική απορριπτόμενη ενέργεια ώστε να μετατοπιστεί από αυτές το φορτίο του κλιματιστικού. Αν το φορτίο προς μετατόπιση είναι μικρότερο ή ίσο με την απορριπτόμενη ενέργεια τότε μετατοπίζεται ολόκληρο. Διαφορετικά, μετατοπίζεται ένα μέρος του, το οποίο καθορίζεται από την ποσότητα της απορριπτόμενης ενέργειας που παρουσιάζει η ώρα στην οποία θα γίνει η μετατόπιση.

Ακολουθούν τα διαγράμματα ροής που περιγράφουν το σενάριο 3°.



Εικόνα 23: Διάγραμμα ροής 1 για το σενάριο 3°



Εικόνα 24: Διάγραμμα ροής 2 για το σενάριο 3°

6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μελέτης μας σχετικά με το ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης. Η παρουσίαση αυτή εμπεριέχει τις τιμές των επιλεγμένων KPIs (Κεφάλαιο 4), καθώς και ορισμένων άλλων μεγεθών που αφορούν την παραγωγή και τη ζήτηση. Σκοπός μας είναι να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε τις δραστηριότητες που εφαρμόζονται στο σύστημα σε κάθε σενάριο (Κεφάλαιο 5), ώστε να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα για την ορθότητα της επιλογής τους.

6.1 Αποτελέσματα για το σενάριο αναφοράς - BAU

Αρχικά θα παρουσιαστούν οι τιμές για το σενάριο αναφοράς, δηλαδή θα υπολογιστούν οι παράμετροι του συστήματος και οι δείκτες για το έτος 2012.

Στον πίνακα 6 φαίνονται η ετήσια ζήτηση, η ετήσια παραγωγή των συμβατικών μονάδων και των αιολικών πάρκων και η απορριπτόμενη ενέργεια.

Πίνακας 6: Ετήσια ζήτηση, παραγωγή και απόρριψη στο σύστημα της Κρήτης για το έτος 2012

Ετήσια ζήτηση ενέργειας	2762 GWh
Ετήσια παραγωγή συμβατικών μονάδων	2319,44 GWh
Ετήσια αιολική παραγωγή	442,66 GWh
Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια	0
Capacity factor	35,94%

Όπως παρατηρείται, η ετήσια ζήτηση ισούται με το άθροισμα της συμβατικής και της αιολικής ετήσιας παραγωγής. Αυτό συμβαίνει διότι στα πλαίσια αυτής της εργασίας εξετάζεται μόνο η αιολική παραγωγή από τις μορφές των ΑΠΕ. Χωρίς βλάβη της γενικότητας δεν μελετάται η συνεισφορά των υπολοίπων μορφών και οι R&I δραστηριότητες που θα εφαρμοστούν εστιάζουν στην αύξηση της αιολικής παραγωγής. Τονίζεται ότι το γεγονός ότι η απόρριψη ενέργειας είναι μηδενική αποτελεί μία παραδοχή που έγινε για το σενάριο αναφοράς.

Υπολογίζονται, επίσης, το ποσοστό της διείσδυσης της αιολικής παραγωγής στο σύστημα το οποίο είναι 16,03%, η hosting capacity που ισούται με 140,584 MWh και το μέσο μεταβλητό κόστος του συστήματος που ανέρχεται στα 146,43 €/MWh.

Πίνακας 7: Τιμές παραμέτρων συστήματος

Wind penetration	16,03%
Hosting capacity	140,584 MWh
Μέσο μεταβλητό κόστος συστήματος	146,43 €/MWh

Επιπλέον, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα οι τιμές των συντελεστών εκπομπών CO₂ για κάθε μονάδα παραγωγής.

Πίνακας 8: Συντελεστές εκπομπών CO₂ ανά τύπο μονάδας

A/A	Τύπος μονάδας	Συντελεστές εκπομπών CO ₂ (tn/MWh)
1	Ατμοστρόβιλοι	0,8338
2	Αεριοστρόβιλοι	0,8513
3	Μηχανές diesel	0,5879
4	Συνδυασμένου κύκλου	0,6906
Σύστημα	-	0,7319

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 8 ο συντελεστής εκπομπών CO₂ του συστήματος για το έτος 2012 ισούται με 0,7319 tn/MWh.

6.2 Αποτελέσματα για το σενάριο 1^ο

Στον πίνακα 9 φαίνονται η ετήσια ζήτηση, η ετήσια παραγωγή των συμβατικών μονάδων και των αιολικών πάρκων και η απορριπτόμενη ενέργεια για το σενάριο 1^ο.

Πίνακας 9: Ετήσια ζήτηση, παραγωγή και απόρριψη στο σύστημα της Κρήτης για το σενάριο 1^ο

Ετήσια ζήτηση ενέργειας	2762 GWh
Ετήσια παραγωγή συμβατικών μονάδων	2081,37 GWh
Ετήσια αιολική παραγωγή	680,63 GWh
Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια	225,49 GWh
Capacity factor	27%

Το συνολικό ποσοστό αύξησης του αιολικού δυναμικού είναι 104,7% και προσδιορίστηκε σε άμεση εξάρτηση με το capacity factor, αφού σκοπός ήταν να λάβει την οριακή τιμή του 27%. Η ζήτηση παρέμεινε σταθερή, ωστόσο, όπως φαίνεται και στον πίνακα 9, αυξήθηκε η αιολική παραγωγή με την παράλληλη ισόποση μείωση της παραγωγής των συμβατικών μονάδων. Βέβαια, σ' αυτό το σενάριο η απορριπτόμενη ενέργεια δεν είναι μηδενική, γεγονός που οφείλεται στους περιορισμούς του συστήματος.

Στη συνέχεια, υπολογίζονται, όπως και προηγουμένως, το ποσοστό της διείσδυσης της αιολικής παραγωγής στο σύστημα, η hosting capacity και το μέσο μεταβλητό κόστος του συστήματος.

Πίνακας 10: Τιμές παραμέτρων συστήματος

Wind penetration	24,64%
Hosting capacity	200,609 MWh
Μέσο μεταβλητό κόστος συστήματος	140,66 €/MWh

Επιπλέον, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα οι τιμές των συντελεστών εκπομπών CO₂ για κάθε μονάδα παραγωγής.

Πίνακας 11: Συντελεστές εκπομπών CO₂ ανά τύπο μονάδας

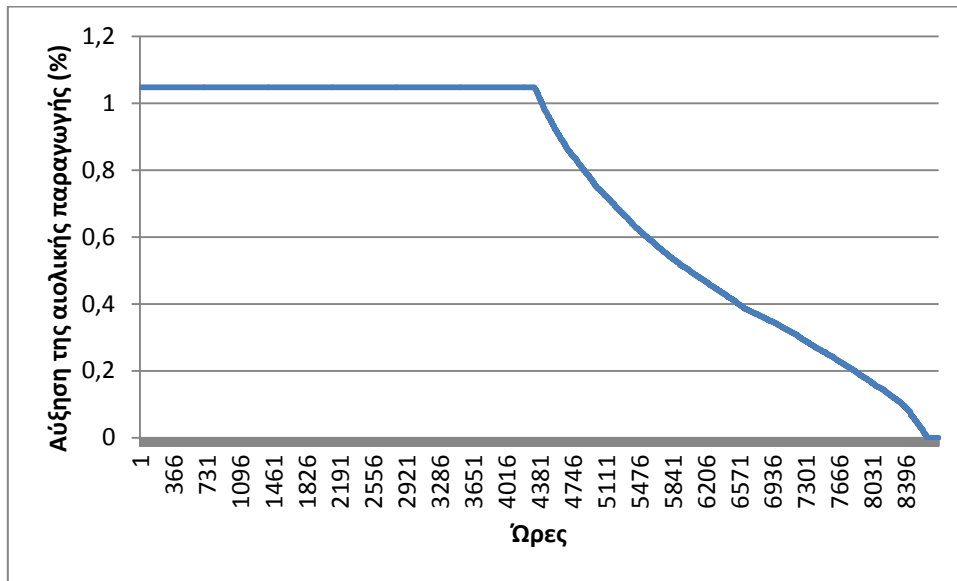
A/A	Τύπος μονάδας	Συντελεστές εκπομπών CO ₂ (tn/MWh)
1	Ατμοστρόβιλοι	0,8185
2	Αεριοστρόβιλοι	0,6703
3	Μηχανές diesel	0,5136
4	Συνδυασμένου κύκλου	0,5759
Σύστημα	-	0,6721

6.2.1 Υπολογισμός δεικτών KPIs

Πίνακας 12: Υπολογισμός KPIs

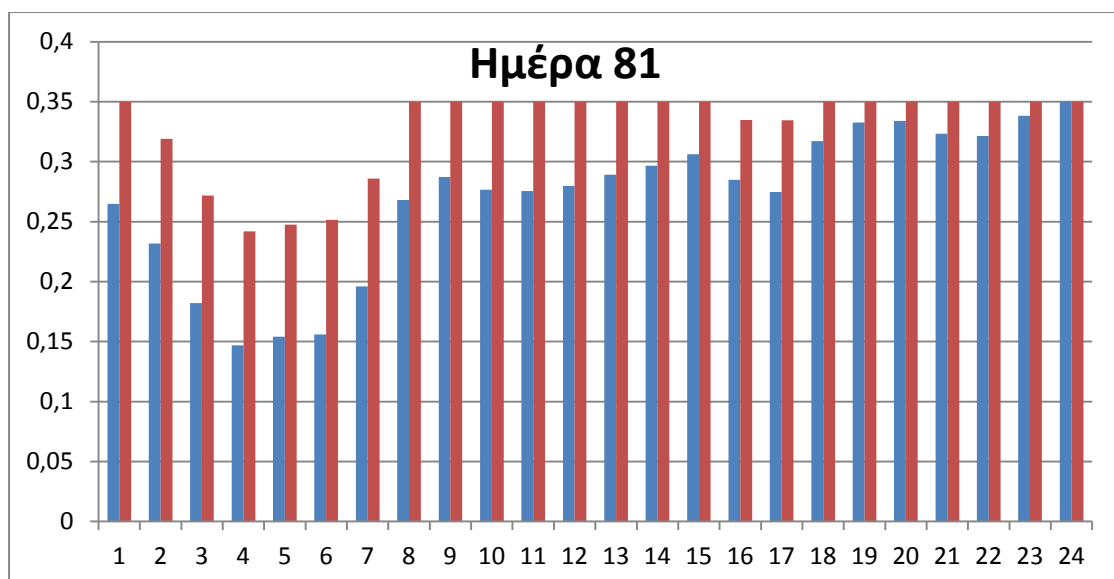
Όνομα KPI	Τιμή KPI
Μέσο μεταβλητό κόστος	-3,94%
Απόσβεση του CAPEX	-
Reduced CO ₂ emissions	-8,17%
Increased RES penetration	53,7%
Increased RES hosting capacity	42,70%
Reduced energy curtailment of RES	-
Increased system flexibility	-

6.2.2 Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων

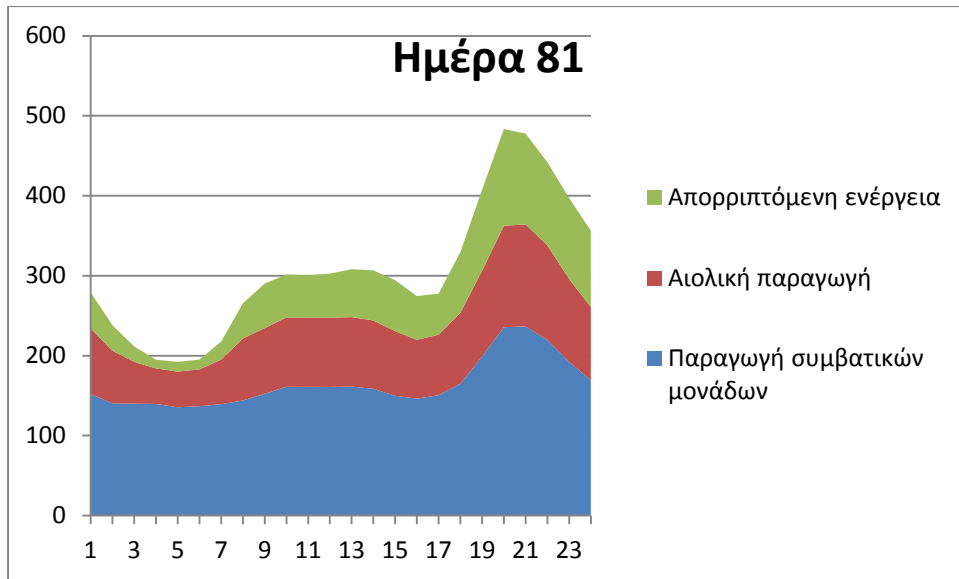


Εικόνα 25: Καμπύλη διάρκειας ποσοστιαίας αύξησης της αιολικής παραγωγής

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 25 σε ένα σημαντικό πλήθος ωρών (4325 ώρες) επιτυγχάνεται η αύξηση κατά 104,7% στην αιολική παραγωγή. Αντιθέτως, μόνο 145 ώρες του έτους παρουσιάζουν μηδαμινή αύξηση (<1%). Στη συνέχεια ακολουθούν τέσσερα διαγράμματα στα οποία διακρίνεται η διείσδυση της αιολικής ισχύος για το BAU σενάριο και το σενάριο 1^ο για δύο διαφορετικές μέρες του έτους. Η επιλογή αυτών των ημερών δεν είναι τυχαία. Επιλέχθηκαν για να φανεί το πώς επηρεάζεται η αύξηση της αιολικής παραγωγής από τους περιορισμούς του συστήματος.



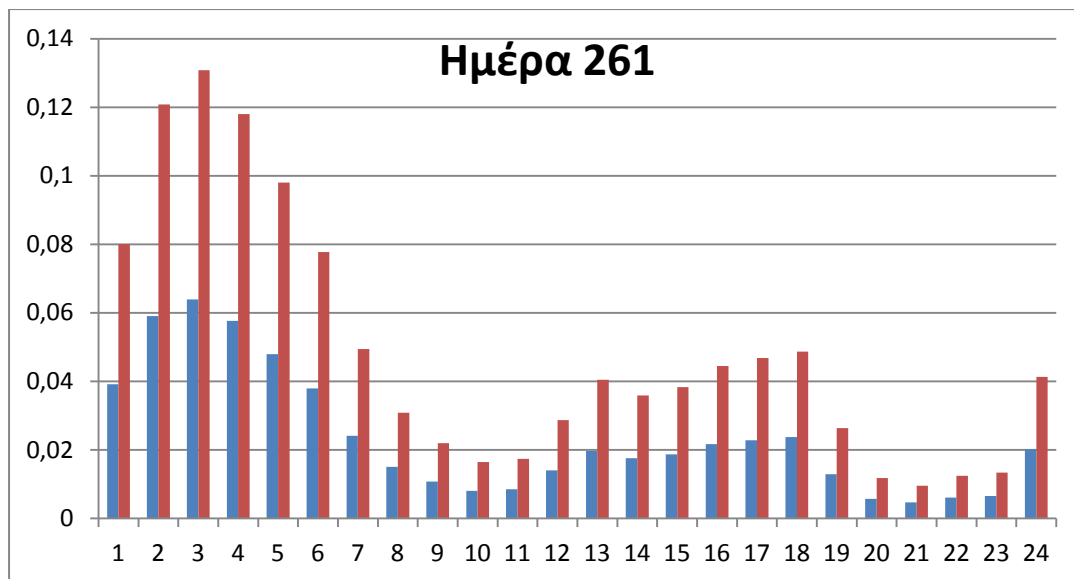
Εικόνα 26: Διείσδυση αιολικής παραγωγής για το σενάριο BAU και το σενάριο 1^ο την 81^η ημέρα του έτους



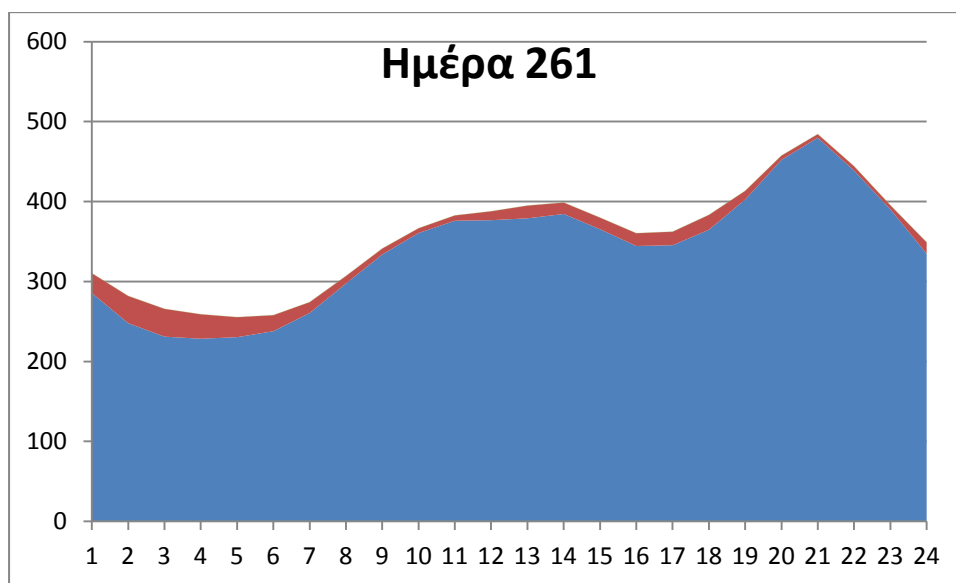
Εικόνα 27: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 1^ο την 81^η ημέρα του έτους (καθημερινή Μαρτίου, χαμηλή ζήτηση, υψηλά επίπεδα ανέμου)

Σημειώνεται ότι για όλα τα σχήματα που ακολουθούν και απεικονίζουν την ημερήσια συμβατική και αιολική παραγωγή μαζί με την απορριπτόμενη ενέργεια, όπως και στην Εικόνα 27, έχει ακολουθηθεί ο παρακάτω χρωματικός κώδικας:

- Απορριπτόμενη ενέργεια
- Αιολική παραγωγή
- Παραγωγή συμβατικών μονάδων



Εικόνα 28: Διείσδυση αιολικής παραγωγής για το σενάριο BAU και το σενάριο 1^ο την 261^η ημέρα του έτους



Εικόνα 29: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 1^ο την 261^η ημέρα του έτους (καθημερινή Σεπτεμβρίου, μεσαία ζήτηση, χαμηλά επίπεδα ανέμου)

Συγκεκριμένα, την 81^η μέρα του έτους ο δυναμικός περιορισμός, κατά κύριο λόγο (16 ώρες), και ο περιορισμός τεχνικών ελαχίστων το υπόλοιπο της ημέρας (8 ώρες) δεν επέτρεψαν την περαιτέρω αύξηση. Γι' αυτό το λόγο εμφανίζεται απορριπτόμενη ενέργεια. Αντιθέτως στη 261^η μέρα του η συνεισφορά της αιολικής ενέργειας είναι πολύ μικρή σε σχέση με αυτή των συμβατικών μονάδων και παρ' όλο που πετυχαίνουμε το διπλασιασμό της αιολικής παραγωγής σε κάθε ώρα το ποσοστό διείσδυσης παραμένει πολύ μικρό. Αξίζει να τονισθεί ότι αυτή την ημέρα έχουμε

μηδενική απόρριψη γεγονός που μαρτυρά ότι η μικρή διείσδυση οφείλεται στα ανεμολογικά χαρακτηριστικά, μικρή ταχύτητα ανέμου, και όχι στους περιορισμούς του συστήματος.

6.3 Αποτελέσματα για το σενάριο 2^ο

Στον πίνακα 13 φαίνονται η ετήσια ζήτηση, η ετήσια παραγωγή των συμβατικών μονάδων και των αιολικών πάρκων και η απορριπτόμενη ενέργεια για το σενάριο 2^ο.

Πίνακας 13: Ετήσια ζήτηση, παραγωγή και απόρριψη στο σύστημα της Κρήτης για το σενάριο 2^ο

Προσέγγιση	A	B
Ετήσια ζήτηση ενέργειας	2762 GWh	2762 GWh
Ετήσια παραγωγή συμβατικών μονάδων	2076,41 GWh	2075,86 GWh
Ετήσια αιολική παραγωγή	685,59 GWh	686,14 GWh
Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια	220,52 GWh	219,90 GWh
Capacity factor	27,2%	27,22%

Στη συνέχεια, υπολογίζονται, όπως και προηγουμένως, το ποσοστό της διείσδυσης της αιολικής παραγωγής στο σύστημα, η hosting capacity και το μέσο μεταβλητό κόστος του συστήματος.

Πίνακας 14: Τιμές παραμέτρων συστήματος

	Προσέγγιση	
	A	B
Wind penetration	24,82%	24,84%
Hosting capacity	200,609 MWh	200,609 MWh
Μέσο μεταβλητό κόστος συστήματος	140,61 €/MWh	140,63 €/MWh

Επιπλέον, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα οι τιμές των συντελεστών εκπομπών CO₂ για κάθε μονάδα παραγωγής.

Πίνακας 15: Συντελεστές εκπομπών CO₂ ανά τύπο μονάδας

A/A	Τύπος μονάδας	Συντελεστές εκπομπών CO ₂ (tn/MWh) Προσέγγιση A	Συντελεστές εκπομπών CO ₂ (tn/MWh) Προσέγγιση B
1	Ατμοστρόβιλοι	0,8172	0,8166
2	Αεριοστρόβιλοι	0,6666	0,6692
3	Μηχανές diesel	0,5117	0,5115
4	Συνδυασμένου κύκλου	0,5755	0,5756
Σύστημα	-	0,6707	0,6705

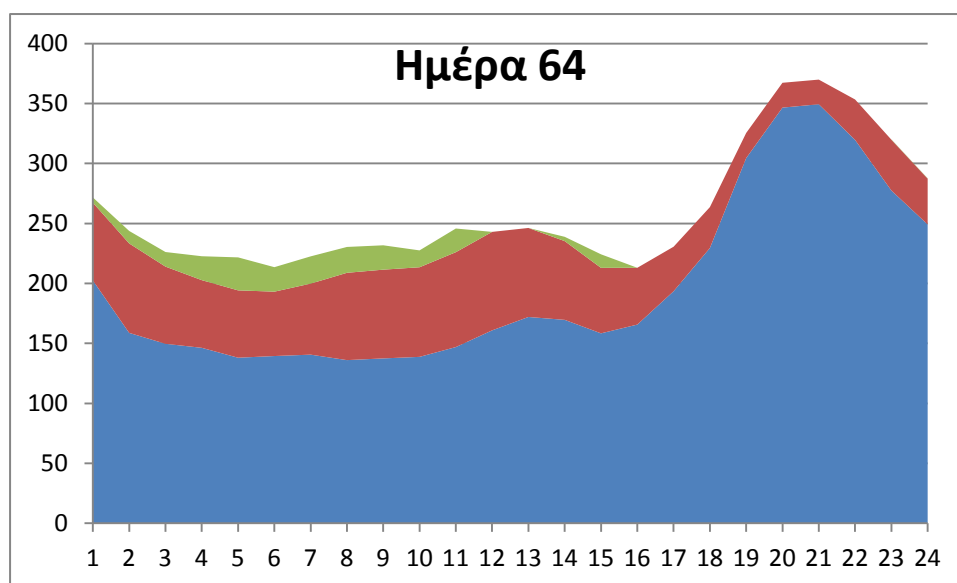
6.3.1 Υπολογισμός δεικτών ΚΡIs

Πίνακας 16: Υπολογισμός ΚΡIs

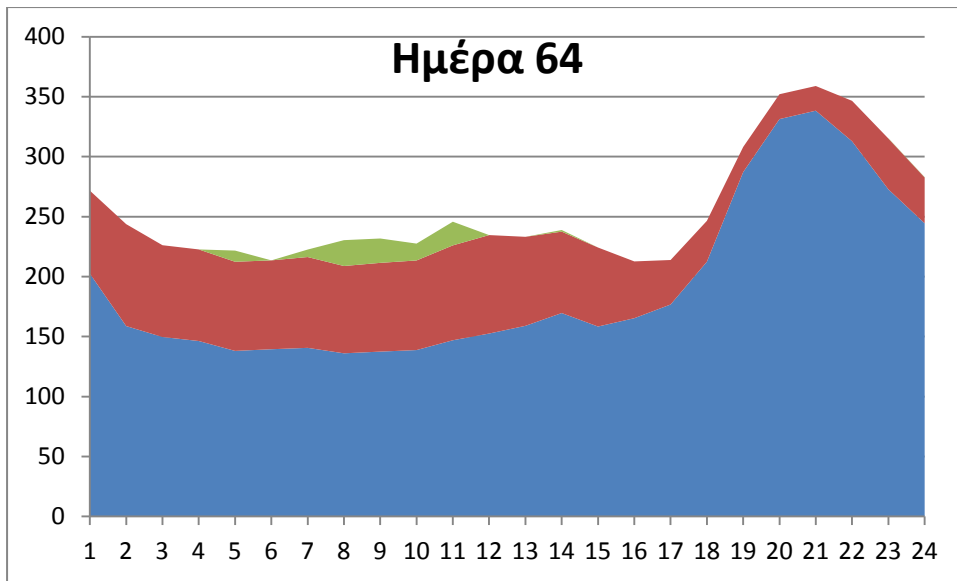
Όνομα ΚΡI	Τιμή ΚΡI Α		Τιμή ΚΡI Β	
	Ως προς το σενάριο BAU	Ως προς το σενάριο 1	Ως προς το σενάριο BAU	Ως προς το σενάριο 1
Μέσο μεταβλητό κόστος	-3,97%	-0,04%	-3,96%	-0,04%
Απόσβεση του CAPEX	-		-	
Reduced CO ₂ emissions	-8,36%	-0,21%	-8,39%	-0,24%
Increased RES penetration	54,83%	0,73%	54,96%	0,73%
Increased RES hosting capacity	42,70%	0%	42,70%	0%
Reduced energy curtailment of RES	-	-2,20%	-	-2,48%
Increased system flexibility	-	4,97 GWh	-	5,514 GWh

6.3.2 Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων

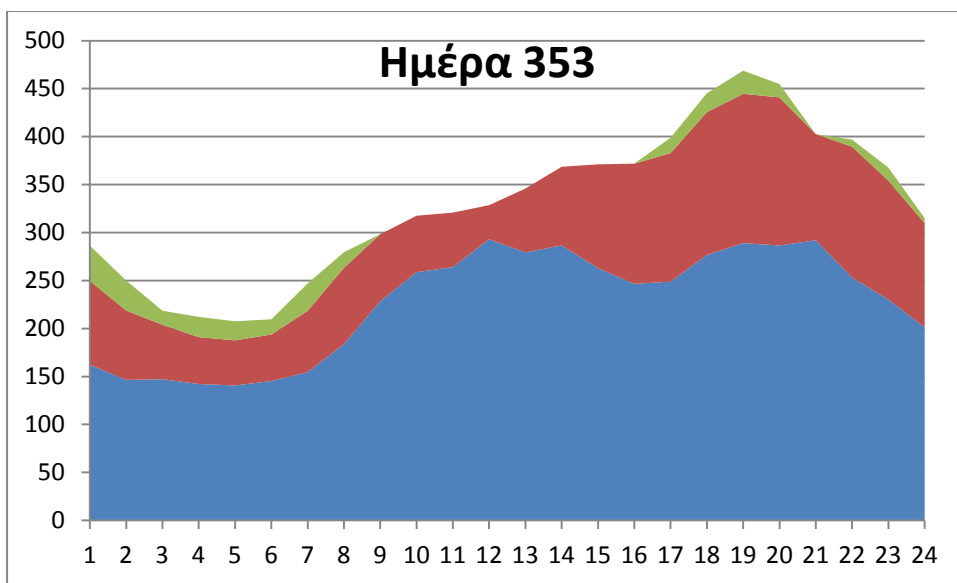
6.3.2.1 Προσέγγιση Α



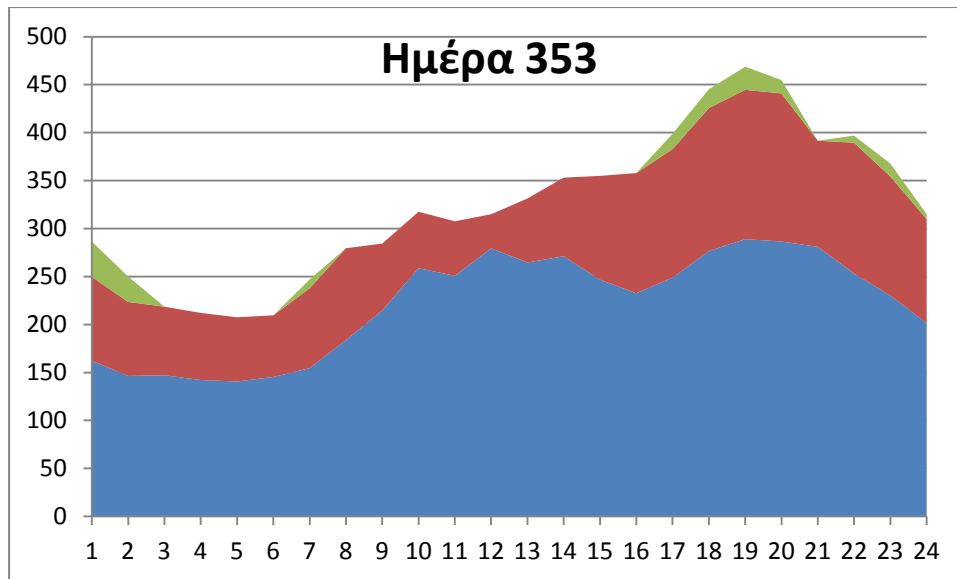
Εικόνα 30: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 1^ο την 64^η ημέρα του έτους (Σ/Κ Μαρτίου, χαμηλή ζήτηση, μεσαία επίπεδα ανέμου)



Εικόνα 31: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 2^ο Α την 64^η ημέρα του έτους



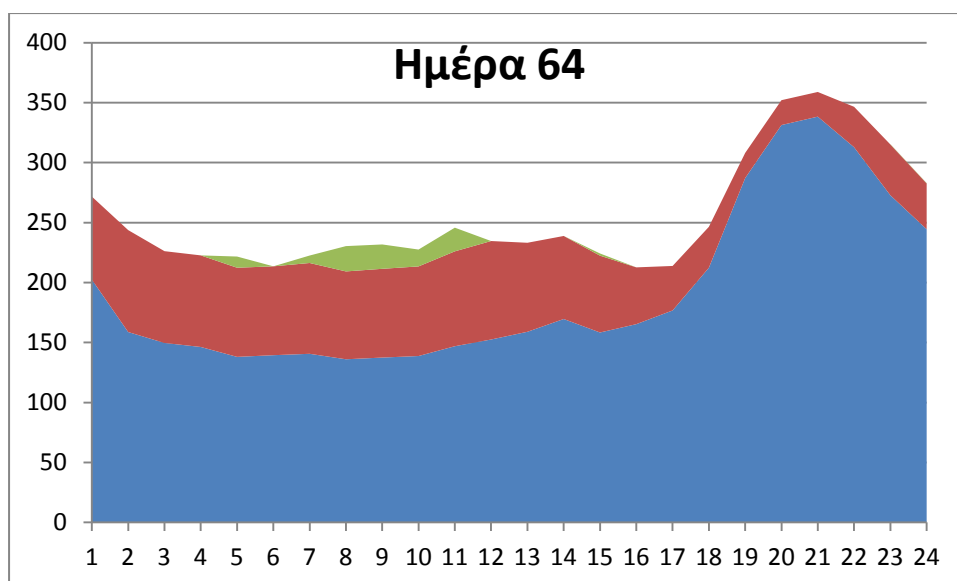
Εικόνα 32: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 1^ο την 353^η ημέρα του έτους (Καθημερινή Δεκεμβρίου, μεσαία ζήτηση, υψηλά επίπεδα ανέμου)



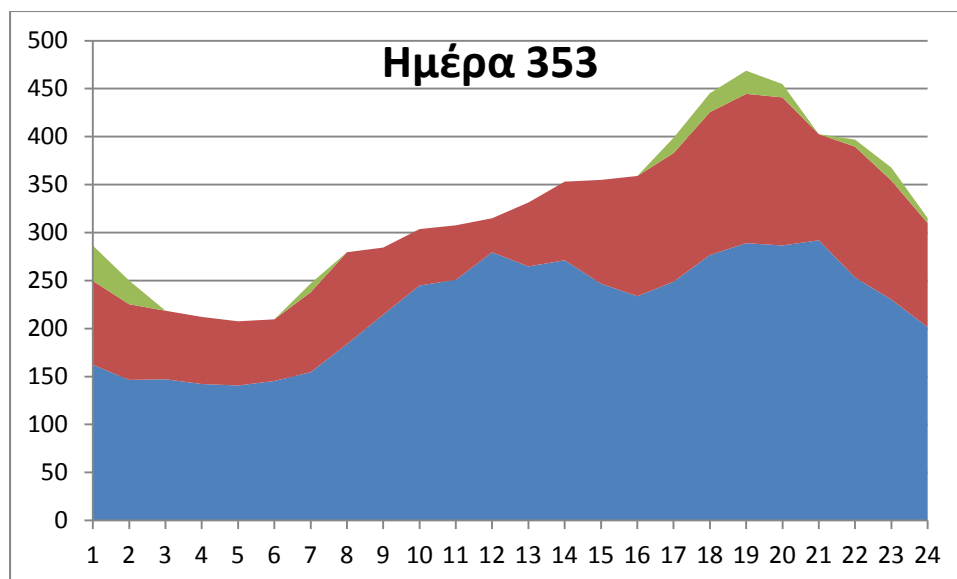
Εικόνα 33: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 2^ο Α την 353^η ημέρα του έτους

Οι δύο αυτές μέρες του έτους παρουσιάζουν τη μέγιστη μετατόπιση φορτίου πλυντηρίων. Όπως διακρίνεται και στα ανωτέρω διαγράμματα, αφού εφαρμοστεί το σενάριο 2^ο έχουμε μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας με παράλληλη μείωση της παραγωγής των συμβατικών μονάδων και αύξηση της αιολικής παραγωγής. Σε ορισμένες ώρες έχουμε ακόμα και μηδενισμό της απορριπτόμενης ενέργειας.

6.3.2.2 Προσέγγιση Β



Εικόνα 34: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 2^ο Β την 64^η ημέρα του έτους



Εικόνα 35: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 2^ο Β την 353^η ημέρα του έτους

Οι δύο αυτές ημέρες συγκαταλέγονται σε αυτές με τη μέγιστη μετατόπιση φορτίου πλυντηρίων και με την προσέγγιση Β. Παρατηρώντας τα δύο διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι η προσέγγιση Β έχει παρόμοια αποτελέσματα με την προσέγγιση Α.

6.4 Αποτελέσματα για το σενάριο 3^ο

Στον πίνακα 17 φαίνονται η ετήσια ζήτηση, η ετήσια παραγωγή των συμβατικών μονάδων και των αιολικών πάρκων και η απορριπτόμενη ενέργεια για το σενάριο 2^ο.

Πίνακας 17: Ετήσια ζήτηση, παραγωγή και απόρριψη στο σύστημα της Κρήτης για το σενάριο 3^ο

Προσέγγιση	A	B
Ετήσια ζήτηση ενέργειας	2762 GWh	2762 GWh
Ετήσια παραγωγή συμβατικών μονάδων	2076,15 GWh	2075,7 GWh
Ετήσια αιολική παραγωγή	685,85 GWh	686,3 GWh
Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια	220,27 GWh	219,75 GWh
Capacity factor	27,21%	27,22%

Στη συνέχεια, υπολογίζονται, όπως και προηγουμένως, το ποσοστό της διείσδυσης της αιολικής παραγωγής στο σύστημα, η hosting capacity και το μέσο μεταβλητό κόστος του συστήματος.

Πίνακας 18: Τιμές παραμέτρων συστήματος

	Προσέγγιση	
	A	B
Wind penetration	24,83%	24,85%
Hosting capacity	200,609 MWh	200,609 MWh
Μέσο μεταβλητό κόστος συστήματος	139,59 €/MWh	140,53 €/MWh

Επιπλέον, δίνονται στον ακόλουθο πίνακα οι τιμές των συντελεστών εκπομπών CO₂ για κάθε μονάδα παραγωγής.

Πίνακας 19: Συντελεστές εκπομπών CO₂ ανά τύπο μονάδας

A/A	Τύπος μονάδας	Συντελεστές εκπομπών CO ₂ (tn/MWh) Προσέγγιση A	Συντελεστές εκπομπών CO ₂ (tn/MWh) Προσέγγιση B
1	Ατμοστρόβιλοι	0,8170	0,8165
2	Αεριοστρόβιλοι	0,6594	0,6690
3	Μηχανές diesel	0,5116	0,5114
4	Συνδυασμένου κύκλου	0,5621	0,5742
Σύστημα	-	0,6677	0,6702

6.4.1 Υπολογισμός δεικτών KPIs

Πίνακας 20: Υπολογισμός KPIs

Όνομα KPI ¹	Τιμή KPI A		Τιμή KPI B	
	Ως προς το σενάριο BAU	Ως προς το σενάριο 2	Ως προς το σενάριο BAU	Ως προς το σενάριο 2
Μέσο μεταβλητό κόστος	-4,67%	-0,04%	-4,03%	-0,04%
Απόσβεση του CAPEX	Ακολουθεί		Ακολουθεί	
Reduced CO ₂ emissions	-8,77%	-0,45%	-8,43%	-0,04%
Increased RES penetration	54,90%	0,04%	55,02%	0,04%
Increased RES hosting capacity	42,70%	0%	42,70%	0%
Reduced energy curtailment of RES	-2,31%	-0,11%	-2,55%	-0,07%
Increased system flexibility	5,22 GWh	0,25 GWh	5,74 GWh	0,226 GWh

¹ Για τον υπολογισμό των δεικτών Reduced energy curtailment of RES και Increased system flexibility λαμβάνεται ως αρχική κατάσταση το σενάριο 1^ο διότι στο σενάριο BAU η απορριπτόμενη ενέργεια θεωρείται μηδενική.

Απόσβεση του CAPEX

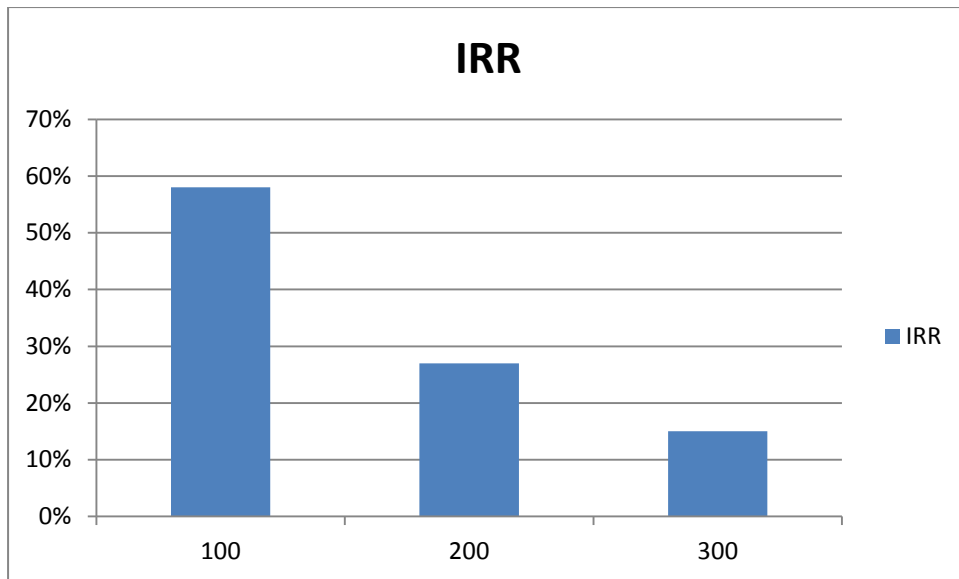
Αφού έχουν παρουσιαστεί όλα τα σενάρια και οι δραστηριότητες που εφαρμόσαμε στο σύστημα με σκοπό την αύξηση της αιολικής διείσδυσης, θα εξετάσουμε και την απόσβεση των κεφαλαιουχικών δαπανών που απαιτούνται για τις συγκεκριμένες επενδύσεις.

Όσον αφορά το κόστος της επένδυσης K_0 προσδιορίζεται από την τιμή αγοράς των ελεγκτών. Γι' αυτό το λόγο θα θεωρηθούν τρεις διαφορετικές τιμές 100 €, 200 € και 300 €. Το επιτόκιο αναγωγής θεωρείται ίσο με 5%, η διάρκεια της επένδυσης ίση με 10 χρόνια και η υπολειμματική αξία της επένδυσης στο δέκατο έτος θεωρείται μηδενική.

Πίνακας 21: Υπολογισμός οικονομικών δεικτών NPV-ETA

Έτος t	NPV (100 €)	NPV (200 €)	NPV (300 €)
1	-13.811.172,16 €	-45.258.886,45 €	-76.706.600,73 €
2	2.985.534,63 €	-28.462.179,66 €	-59.909.893,94 €
3	18.982.398,23 €	-12.465.316,05 €	-43.913.030,34 €
4	34.217.506,43 €	2.769.792,14 €	-28.677.922,14 €
5	48.727.133,28 €	17.279.419,00 €	-14.168.295,29 €
6	62.545.825,53 €	31.098.111,24 €	-349.603,05 €
7	75.706.484,80 €	44.258.770,52 €	12.811.056,23 €
8	88.240.446,02 €	56.792.731,73 €	25.345.017,45 €
9	100.177.551,94 €	68.729.837,66 €	37.282.123,37 €
10	111.546.224,25 €	80.098.509,96 €	48.650.795,68 €

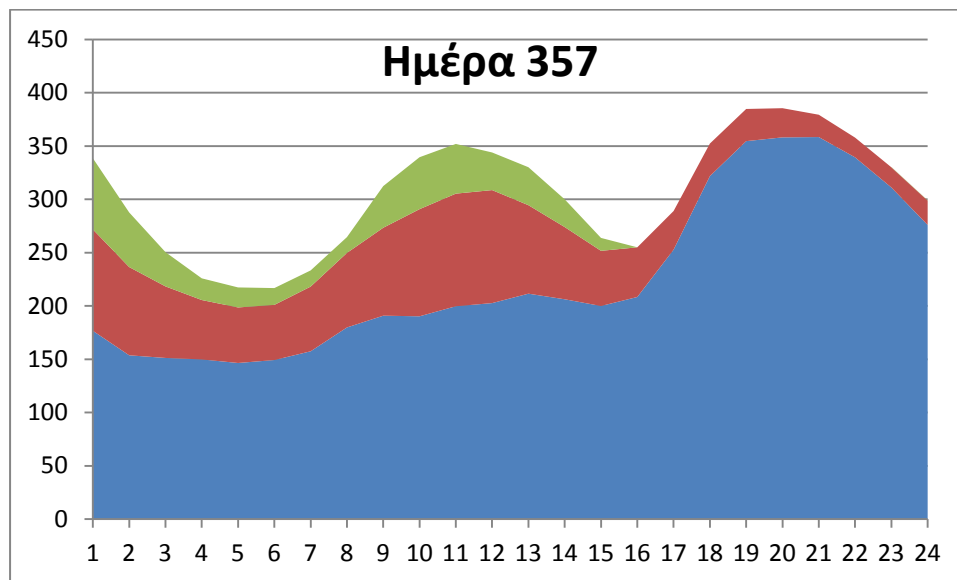
Από τον πίνακα 21 διαπιστώνουμε ότι και για τις τρεις τιμές του ελεγκτή η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι θετική στο τέλος του 10^{ου} έτους. Αυτό που διαφέρει σημαντικά είναι η Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής. Για την πρώτη περίπτωση είναι μόλις 2 χρόνια, για τη δεύτερη είναι 4 χρόνια ενώ για την τρίτη είναι 7 χρόνια. Όσον αφορά τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης (Εικόνα 36) παρατηρούμε ότι λαμβάνει μία πολύ μεγάλη τιμή της τάξεως του 58% στην πρώτη περίπτωση, αλλά καθώς αυξάνεται το κόστος των ελεγκτών παρουσιάζει σημαντική μείωση, στη δεύτερη περίπτωση 27% και στην τρίτη 15%.



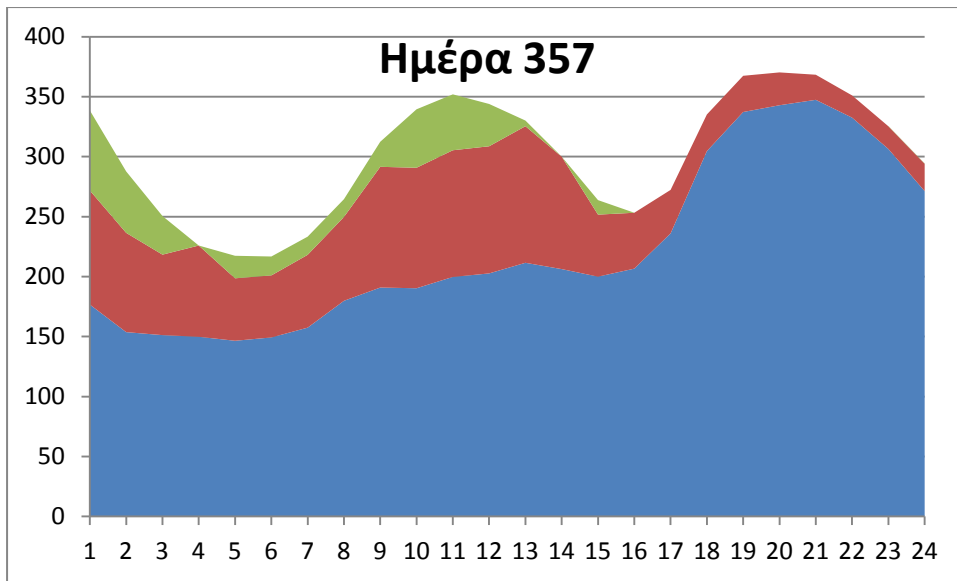
Εικόνα 36: Εσωτερικός βαθμός απόδοσης – IRR

6.4.2 Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων

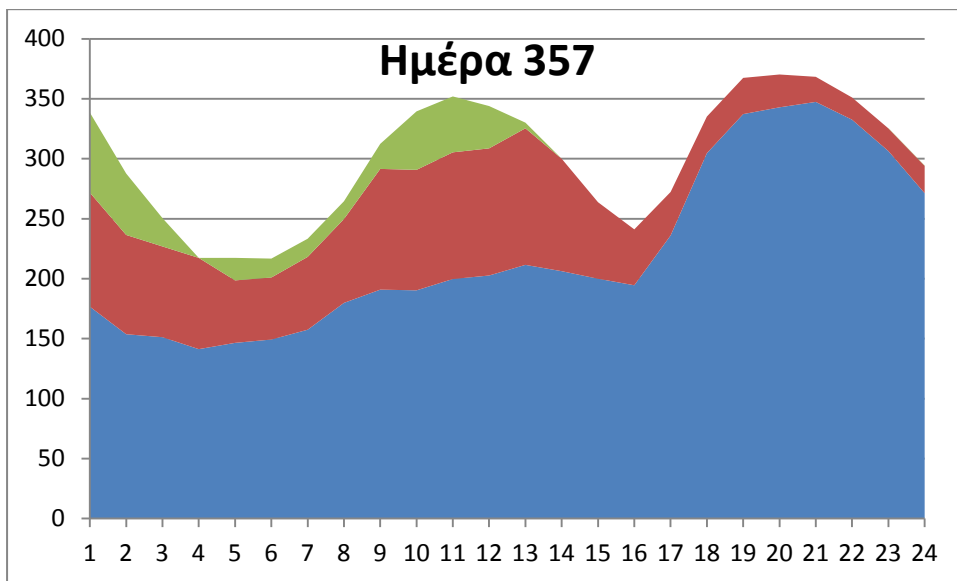
6.4.2.1 Προσέγγιση Α



Εικόνα 37: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 1^ο την 357^η ημέρα του έτους (Σ/Κ Δεκεμβρίου, χαμηλή ζήτηση, υψηλά επίπεδα ανέμου)

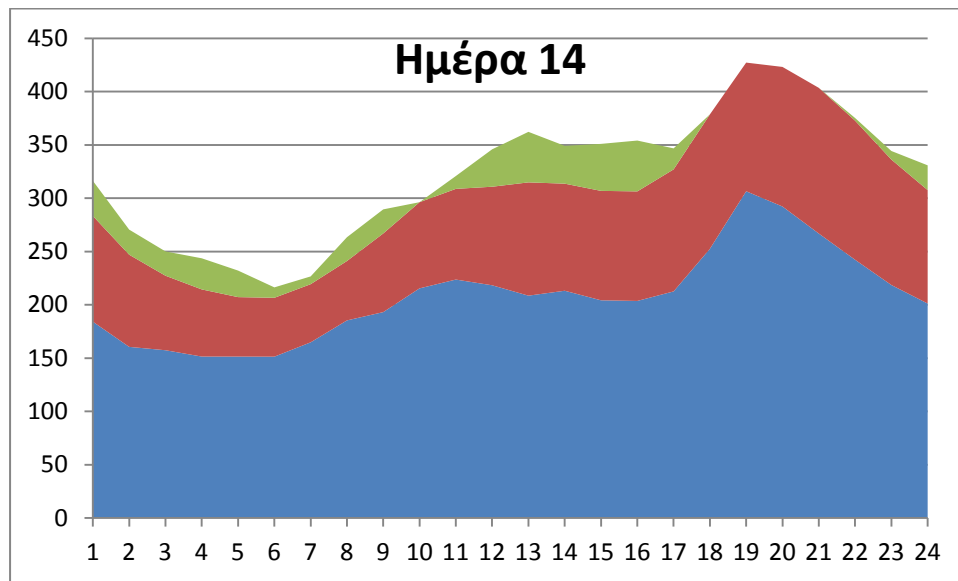


Εικόνα 38: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 2^ο Α την 357^η ημέρα του έτους

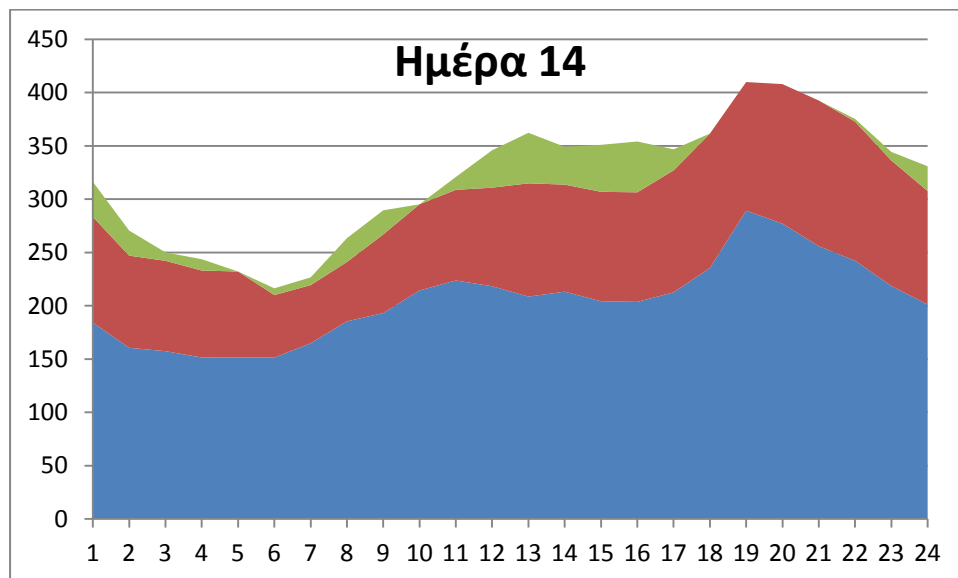


Εικόνα 39: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 3^ο Α την 357^η ημέρα του έτους

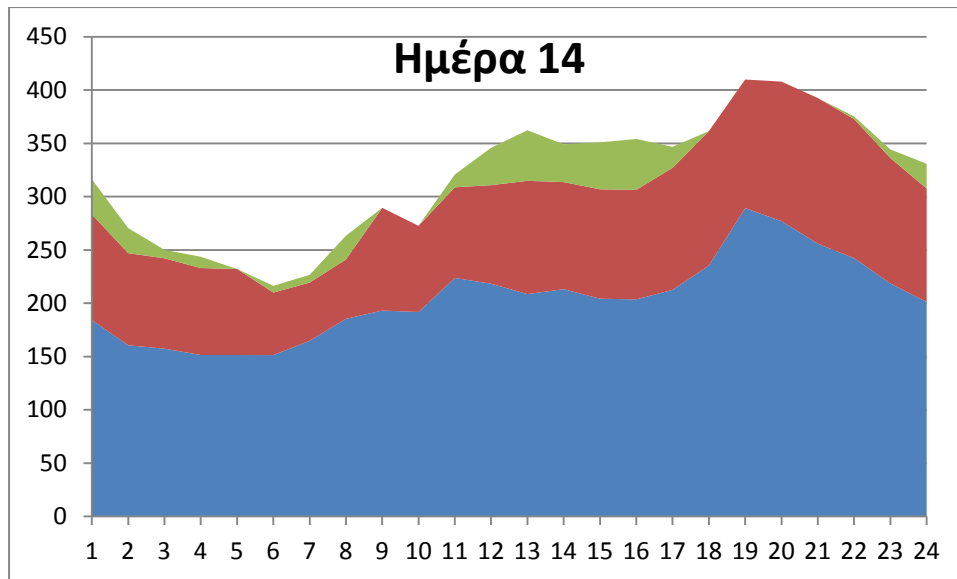
6.4.2.2 Προσέγγιση Β



Εικόνα 40: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 1^ο την 14^η ημέρα του έτους (Σ/Κ Ιανουαρίου, μεσαία ζήτηση, υψηλά επίπεδα ανέμου)



Εικόνα 41: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 2^ο Β την 14^η ημέρα του έτους



Εικόνα 42: Συμβατική και αιολική παραγωγή και απόρριψη για το σενάριο 3^ο Β την 14^η ημέρα του έτους

Η 357^η και η 14^η ημέρα συγκαταλέγονται σε αυτές με τη μέγιστη μετατόπιση φορτίου κλιματιστικών με την προσέγγιση Α και με την προσέγγιση Β αντίστοιχα. Παρατηρώντας τα διαγράμματα για τις δύο μέρες συμπεραίνουμε ότι έχουμε μία περαιτέρω μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας και κατ' επέκταση αύξηση της αιολικής διείσδυσης στο σύστημα.

7 Συμπεράσματα

7.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων γίνεται θεωρώντας ως διαφορετικά στάδια εξέλιξης κατάστασης τα σενάρια που αναπτύξαμε καθώς και ως διαφορετικούς τρόπους υλοποίησης των τεχνολογικών λύσεων τις διαφορετικές προσεγγίσεις που ακολουθήσαμε. Αναμφίβολα, όλες οι R&I δραστηριότητες που εφαρμόστηκαν είχαν ως κοινό σκοπό την αύξηση της αιολικής παραγωγής με ασφάλεια για την ευστάθεια και την ασφαλή λειτουργία του συστήματος της Κρήτης. Το βαθμό επίτευξης αυτού του σκοπού μας το δείχνουν τα KPIs που υπολογίστηκαν. Στους πίνακες 22 και 23 εμπεριέχονται οι παράμετροι και οι δείκτες αντίστοιχα, για την αρχική και την τελική κατάσταση του συστήματος.

Πίνακας 22: Παράμετροι συστήματος για την αρχική και την τελική κατάσταση του συστήματος

	Αρχική κατάσταση	Τελική κατάσταση A	Τελική κατάσταση B
Ετήσια ζήτηση ενέργειας (GWh)	2762	2762	2762
Ετήσια παραγωγή συμβατικών μονάδων (GWh)	2319,34	2076,15	2075,7
Ετήσια αιολική παραγωγή (GWh)	442,66	685,85	686,3
Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια (GWh)	0 (θεωρητικά)	220,27	219,75
Capacity factor	35,94%	27,21%	27,22%
Wind penetration	16,03%	24,83%	24,85%
Hosting capacity (MWh)	140,584	200,609	200,609
Μέσο μεταβλητό κόστος συστήματος (€/MWh)	146,43	139,59	140,53
Συντελεστής εκπομπών CO ₂ (tn/MWh)	0,7319	0,6677	0,6702

Πίνακας 23: KPIs τελικής-αρχικής κατάστασης του συστήματος

Όνομα KPI ²	Τιμή KPI A	Τιμή KPI B
Μέσο μεταβλητό κόστος	-4,67%	-4,03%
Απόσβεση του CAPEX	NAI	NAI
Reduced CO ₂ emissions	-8,77%	-8,43%
Increased RES penetration	54,90%	55,02%
Increased RES hosting capacity	42,70%	42,70%
Reduced energy curtailment of RES	-2,31%	-2,55%
Increased system flexibility	5,22 GWh	5,74 GWh

² Για τον υπολογισμό των δεικτών Reduced energy curtailment of RES και Increased system flexibility λαμβάνεται ως αρχική κατάσταση το σενάριο 1^ο διότι στο σενάριο BAU η απορριπτόμενη ενέργεια θεωρείται μηδενική.

Απ' αυτούς τους δύο πίνακες φαίνεται ξεκάθαρα η αύξηση της διείσδυσης της αιολικής παραγωγής. Αυτό συμβαίνει, μάλιστα, με την παράλληλη μείωση του κόστους παραγωγής, την απόσβεση του κεφαλαιουχικού κόστους καθώς και τη μείωση του συντελεστή εκπομπών CO₂, γεγονός που μας δείχνει τη μεγάλη σημασία των ΑΠΕ τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντολογικό επίπεδο. Επιπρόσθετα, ο έλεγχος των οικιακών συσκευών προσδίδει μεγαλύτερη ευελιξία στο σύστημα και βοηθά στην μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας.

Αξίζει να τονισθεί ότι οι δύο διαφορετικές προσεγγίσεις A και B επιδρούν με διαφορετικό τρόπο στο σύστημα γι' αυτό και τα αποτελέσματα τους δεν παρουσιάζουν ισόποσες μεταβολές. Δηλαδή, μπορεί στην προσέγγιση A ο δείκτης "Increased RES penetration" να είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο της προσέγγισης B ωστόσο, οι δείκτες "μέσο μεταβλητό κόστος" και "Reduced CO₂ emissions" λαμβάνουν μεγαλύτερη απόλυτη τιμή σε σχέση με τις αντίστοιχες της προσέγγισης B. Με άλλα λόγια, η αύξηση της διείσδυσης της αιολικής παραγωγής, που αποτελεί και τον αρχικό μας στόχο, δεν εξασφαλίζει από μόνη της τη μέγιστη δυνατή βελτίωση όλων των παραμέτρων του συστήματος. Η αξιολόγηση, λοιπόν, των R&I δραστηριοτήτων μπορεί να γίνει αξιόπιστα μόνο μέσω των KPIs οι οποίοι είναι πολυδιάστατοι και ερμηνεύουν ολοκληρωτικά κάθε αλλαγή στο σύστημα.

Ο πίνακας 24 είναι ένας συγκεντρωτικός πίνακας που παρουσιάζει όλες τις παραμέτρους του συστήματος για κάθε στάδιο, ώστε να φανεί ξεκάθαρα η πορεία της διαδικασίας εξαγωγής των KPIs.

Πίνακας 24: Συγκεντρωτικός πίνακας των παραμέτρων του συστήματος για όλα τα στάδια

	BAU	Στάδιο 1	Στάδιο 2 A	Στάδιο 2 B	Στάδιο 3 A	Στάδιο 3 B
Ετήσια ζήτηση ενέργειας (GWh)	2762	2762	2762	2762	2762	2762
Ετήσια παραγωγή συμβατικών μονάδων (GWh)	2319,34	2081,37	2076,41	2075,86	2076,15	2075,7
Ετήσια αιολική παραγωγή (GWh)	442,66	680,63	685,59	686,14	685,85	686,3
Ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια (GWh)	0 (θεωρητικά)	225,49	220,52	219,90	220,27	219,75
Capacity factor	35,94%	27%	27,2%	27,22%	27,21%	27,22%
Wind penetration	16,03%	24,64%	24,82%	24,84%	24,83%	24,85%
Hosting capacity (MWh)	140,584	200,609	200,609	200,609	200,609	200,609
Μέσο μεταβλητό κόστος συστήματος (€/MWh)	146,43	140,66	140,61	140,63	139,59	140,53
Συντελεστής εκπομπών CO ₂ (tn/MWh)	0,7319	0,6721	0,6707	0,6705	0,6677	0,6702

Αφού αυξήσουμε τη διείσδυση της αιολικής παραγωγής στο σύστημα της Κρήτης (στάδιο 1) παρατηρούμε μία σημαντική μείωση στο μέσο μεταβλητό κόστος και το συντελεστή εκπομπών CO₂. Προχωρώντας στον έλεγχο των οικιακών συσκευών, πλυντήριο ρούχων (στάδιο 2) και κλιματιστικό (στάδιο 3), αυξάνεται η ευελιξία του συστήματος και παρατηρείται μία περαιτέρω μείωση στις δύο προαναφερθέντες παραμέτρους καθώς και μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας.

7.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής επικεντρωθήκαμε στην αύξηση της διείσδυσης της αιολικής παραγωγής στο σύστημα και στον υπολογισμό συγκεκριμένων KPIs. Οι μελλοντικές επεκτάσεις της εργασίας μπορούν να αφορούν είτε γενικά τους δείκτες KPIs, είτε το σύστημα της Κρήτης.

Όσον αφορά τους KPIs γενικά προτείνεται:

- Η μελέτη, η εξέταση και η θέσπιση μίας τυποποιημένης διαδικασίας αρχικά για την εξαγωγή και στη συνέχεια για τη χρήση-εφαρμογή των KPIs. Σκοπός θα μπορούσε να είναι η δημιουργία μίας ευρύτερης βιβλιοθήκης KPIs, γεγονός που θα εξασφαλίζει την απαιτούμενη ομοιομορφία για τη σύγκριση διαφορετικών R&I δραστηριοτήτων.
- Ο ορισμός νέων δεικτών KPIs για την καλύτερη και λεπτομερέστερη αξιολόγηση των R&I έργων.

Όσον αφορά το σύστημα της Κρήτης προτείνεται:

- Ο υπολογισμός επιπλέον δεικτών KPIs για το σύστημα της Κρήτης. Αναγκαία κρίνεται η ύπαρξη περισσότερων δεδομένων ώστε να είναι εφικτή η εξαγωγή περαιτέρω δεικτών.
- Η μελέτη εγκατάστασης ειδικών συσκευών στο δίκτυο που θα υπολογίζουν τους δείκτες KPIs σε πραγματικό χρόνο και όχι μέσω προγραμμάτων προσομοίωσης του δικτύου. Η εφαρμογή αυτού του σχεδίου αρχικά θα πρέπει εξεταστεί σε μικρότερη κλίμακα και αν θεωρηθεί επιτυχής να επεκταθεί σε όλο το δίκτυο. Μ' αυτό τον τρόπο θα αποφεύγονται οι διάφορες θεωρήσεις, όπως αυτές που προβήκαμε στην εργασία αυτή.

7.3 Επίλογος

Οι οργανισμοί ή εταιρίες κινούμενες σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, σήμερα, περισσότερο από ποτέ έχουν ανάγκη για στήριξη και σωστή οργάνωση των κινήσεων και των αποφάσεων τους. Οι αβέβαιες οικονομικές συνθήκες της εποχής μας κάνουν ακόμα πιο δύσκολο το έργο τους και επιτάσσουν αναγκαίο τον ουσιαστικό έλεγχο, τη διαρκή αξιολόγηση και επικαιροποίηση των στόχων που πρέπει να επιτευχθούν. Έτσι, πραγματοποιείται η προσπάθεια να δημιουργηθεί μία

βάση στην οποία θα μπορούν να στηριχθούν, ώστε να μπορούν να εκτιμήσουν τα αποτελέσματα τους ανά πάσα στιγμή και να δράσουν αναλόγως όπου κριθεί απαραίτητο.

Η παρούσα εργασία εστιάζοντας σε συγκεκριμένες γνωστικές περιοχές που σχετίζονται με την πορεία αλλά και το τελικό αποτέλεσμα ενός έργου, εντοπίζει τους δείκτες KPIs που μπορούν να αποτελέσουν μία δυνατή βάση στήριξης. Εξετάζοντας τα στάδια κάθε έργου-δραστηριότητας και υπολογίζοντας τους κατάλληλους δείκτες απόδοσης, μπορεί ο κάθε εμπλεκόμενος με το έργο να ελέγξει αν υπάρχουν αποκλίσεις στους τομείς του φυσικού αντικειμένου, του χρόνου και του κόστους. Οι αποκλίσεις από τους στόχους προκαλούν αλυσιδωτές αντιδράσεις σε ολόκληρο το έργο και μπορεί να οδηγήσουν ακόμα και σε πρόωμη λήξη του. Η σύνδεση των δεικτών KPIs με την αξιολόγηση της απόδοσης και πορείας του έργου αναδεικνύει τη σπουδαιότητα τους, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθούν και ως μέσο πρόβλεψης μελλοντικών καταστάσεων, γεγονός που ενδέχεται να οδηγήσει σε τροποποιήσεις ή και αναθεωρήσεις του αρχικού σχεδίου. Επιπλέον, οι συγκεκριμένοι δείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως μέσο σύγκρισης σχεδίων ίδιας ή και διαφορετικής φύσεως. Αυτό κρίνεται πολύ σημαντικό διότι ορισμένες φορές μπορεί ο οργανισμός ή εταιρία να βρίσκεται σε ένα σταυροδρόμι όσον αφορά την επόμενη κίνηση-επένδυση, στο οποίο οι δρόμοι να οδηγούν σε τελείως διαφορετικές κατευθύνσεις, είτε πρόκειται για την μέθοδο που θα ακολουθηθεί, είτε για το μέσο υλοποίησης του σχεδίου.

8 Βιβλιογραφία

1. **N. I. of Technology-Calicut.** “An Advanced Metering Infrastructure for Future Electricity Networks,”.
2. Smart Grids: from innovation to deployment. EUROPEAN COMMISSION, 2011.
3. **Giordano, Vincenzo και Bossart, Steven.** *Assessing Smart Grid Benefits and Impacts: EU and U.S. Initiatives.* s.l. : Joint Research Centre of the European Commission, 2012.
4. **National Energy Technology Laboratory.** *Understanding the Benefits of the Smart Grid.* 2010.
5. **International Electrotechnical Commission.** *IEC 61970-1 Energy management system application program interface (EMS-API) – Part 1:Guidelines and general requirements.* 2005.
6. —. *IEC 61968-1 Application integration at electric utilities – System interfaces for distribution management – Part 1:Interface architecture and general requirements.* 2003.
7. —. *IEC 62056-21 Electricity metering - Data exchange for meter reading, tariff and load control Part 21:Direct local data exchange.* 2002.
8. **ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ (ΣΧΕΔΙΟ ΣΕΤ)** . Βρυξέλλες : ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ, 2007.
9. **Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.** s.l. : Υ.Π.Ε.Κ.Α.
10. **Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός - οδικός χάρτης για το 2050 .** s.l. : Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2012.
11. [Ηλεκτρονικό] WIKIPEDIA. https://en.wikipedia.org/wiki/Performance_indicator.
12. [Ηλεκτρονικό]
<http://management.about.com/cs/generalmanagement/a/keyperfindic.htm>.
13. [Ηλεκτρονικό] WIKIPEDIA. https://en.wikipedia.org/wiki/SMART_criteria.
14. *Deliverable D3.4 Define EEGI Project and Programme KPIs.* 2013.
15. **Σταύρος, Παπαθανασίου.** Εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης αιολικών πάρκων. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Σημειώσεις παραδόσεων).* Αθήνα : s.n., 2008.
16. *Estimation of fuel cost curve parameters for thermal power plants using the ABC algorithm.* **SONMEZ, Yusuf.** 2013.
17. **Γεώργιος, Λεονταράκης.** *Ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων της εξέλιξης των εκπομπών CO2 του τομέα των μεταφορών σε 15 χώρες μέλη της ευρωπαϊκής ένωσης στο διάστημα 1980-2002.* 2008.
18. **Τεχνικά και Ιστορικά δεδομένα για το σύστημα Κρήτης με βάση την απόφαση 213 της ΡΑΕ. Διευθυνση Διαχείρισης Νησιών του ΔΕΔΔΗΕ.** Αθήνα : s.n., 2012.

19. **Ομάδα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.** [Ηλεκτρονικό] 31 10 2012.
http://www.rae.gr/site/file/categories_new/renewable_power/licence/statistics/info?p=files&i=3.
20. ΠΑΕ. Γεωπληροφοριακός χάρτης. [Ηλεκτρονικό] ΠΑΕ. <http://www.rae.gr/geo/>.
21. **Σταύρος, Παπαθανασίου.** Οικονομική αξιολόγηση επενδύσεων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Σημειώσεις παραδόσεων)*. Αθήνα : s.n., 2008.
22. Έκθεση για τον τομέα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. στο πλαίσιο του σχεδιασμού αναμόρφωσης του μηχανισμού στήριξης. s.l. : ΥΠΕΚΑ, 2012.
23. **Stamminger, Prof. Dr. Rainer.** *D2.3 of WP 2 from the Smart-A project "Synergy Potential of Smart Appliances"*. 2008.
24. **Parker, Danny S.** Research highlights from a large scale residential monitoring study in a hot climate. 2002.