



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

# ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρίνα Σιαμά

**Επιβλέπων:** Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2021





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

# ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρίνα Σιαμά

**Επιβλέπων:** Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 21η Οκτωβρίου 2021

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

.....  
Σ. Παπαθανασίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Π. Γεωργιλάκης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2021

.....  
Μαρίνα Σιαμά

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Μαρίνα Σιαμά, 2021. 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.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επεκτείνονται με ταχύ ρυθμό τα τελευταία χρόνια. Προκύπτει, συνεπώς, η ανάγκη για ένα πιο ευέλικτο ενεργειακό σύστημα, ικανό να διαχειριστεί μεγαλύτερα μερίδια μεταβλητής ανανεώσιμης ενέργειας, αξιόπιστα και αποδοτικά.

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να παρέχει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών που υποστηρίζουν την ενσωμάτωση της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας και αντιμετωπίζουν ορισμένες από τις νέες προκλήσεις που δημιουργεί η μεταβλητότητα και η αβεβαιότητά τους. Επιπλέον, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να συμμετέχει στις αγορές επικουρικών υπηρεσιών, προσφέροντας υπηρεσίες δικτύου, όπως παροχή πρωτογενών και δευτερογενών εφεδρειών για σταθερή δυναμικότητα. Έμμεσα η αποθήκευση μπορεί να υποστηρίξει μείωση του κόστους, αναβάλλοντας την ανάγκη για παραγωγή και δυναμικότητα μεταφοράς, συνεισφέροντας έτσι στην ελάφρυνση της συμφόρησης των γραμμών. Όταν συνδέεται πίσω από τον μετρητή, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να υποστηρίξει την ενσωμάτωση καταναλωμένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ενεργό συμμετοχή των καταναλωτών στη διαχείριση της ζήτησης, με επακόλουθο μειώσεις στους μέσους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος των νοικοκυριών. Στο παρόν πλαίσιο μελετώνται τα στάδια αξιολόγησης της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και η σχετική μεθοδολογία, που ακολουθείται από τους ενδιαφερόμενους ώστε να κριθεί αν το έργο είναι λειτουργικό και οικονομικά βιώσιμο. Επιπλέον, παρατίθενται οκτώ πραγματικές περιπτώσεις χρήσης αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με τα αντίστοιχα οφέλη τους.

**Λέξεις Κλειδιά:** Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Μπαταρίες Α.Π.Ε, Αξιολόγηση Αποθήκευσης

# ABSTRACT

Storage technologies for electricity generated from renewable energy sources have been expanding rapidly in recent years. There is therefore a need for a more flexible energy system, capable of managing larger shares of variable renewable energy, reliably and efficiently.

Electricity storage can provide a wide range of services that support the integration of solar and wind energy and address some of the new challenges posed by their volatility and uncertainty. In addition, electricity storage can participate in ancillary services markets, offering grid services such as providing primary and secondary back-up for firm capacity. Indirectly, storage can support cost reduction by deferring the need for generation and transmission capacity, thus contributing to alleviate line congestion. When connected behind the meter, electricity storage can support the integration of distributed renewables and active consumer participation in demand management, resulting in reductions in average household electricity bills. In this context, the evaluation stages of electricity storage and the related methodology followed by the stakeholders are studied in order to assess whether the project is operational and economically viable. In addition, eight real cases of electricity storage use with their respective benefits are presented.

**Keywords:** Electricity Storage, Renewable Energy, Renewable Energy Sources, Renewable Energy Batteries, Storage Evaluation

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Εισαγωγή</b> .....	12
<b>1. Επισκόπηση Πλαισίου</b> .....	14
1.1 Εισαγωγή.....	14
1.2 Ο ρόλος της αποθήκευσης στην ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας.....	19
1.3 Μεθοδολογία.....	21
1.4 Συστάσεις.....	31
1.4.1 Συστάσεις για τους διάφορους ενδιαφερόμενους φορείς αποθήκευσης.....	31
1.4.2 Πολιτικές και κανονισμοί για την υποστήριξη της οικονομικά αποδοτικής ανάπτυξης της αποθήκευσης.....	34
<b>2. Χρήση μοντέλων συστημάτων ισχύος για τον προσδιορισμό της αξίας και της βιωσιμότητας του έργου αποθήκευσης</b> .....	37
2.1 Εισαγωγή.....	37
2.2 Μεθοδολογία.....	40
2.2.1 Φάση 1: Προσδιορισμός υπηρεσιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	40
2.2.2 Φάση 2: Χαρτογράφηση της τεχνολογίας αποθήκευσης.....	41
2.2.3 Φάση 3: Ανάλυση της αξίας του συστήματος.....	46
2.2.4 Φάση 4: Προσομοίωση λειτουργίας αποθήκευσης.....	59
2.2.5 Φάση 5: Ανάλυση βιωσιμότητας του έργου αποθήκευσης.....	61
2.3 Συμπεράσματα.....	68
<b>3. Πραγματικές περιπτώσεις αποθήκευσης σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας</b> .....	69
3.1 Εισαγωγή.....	69
3.2: Παραδείγματα Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	70
3.2.1 Λειτουργικές Εφεδρείες.....	70
3.2.2 Ευέλικτη Αύξηση.....	76
3.2.3 Ενεργειακό Αρμπιτράζ.....	82
3.2.4 Εξομάλυνση Ανανεώσιμης Ενέργειας.....	89
3.2.5 Αναβολή Επενδύσεων Μεταφοράς και Διανομής.....	94
3.2.6 Εξοικονόμηση Κεφαλαίου Μονάδας Αιχμής.....	99
3.2.7 Ενεργοποίηση υψηλών μεριδίων ανανεώσιμης ενέργειας σε εκτός δικτύου πλαίσιο.....	102
3.2.8 : Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας πίσω από τον μετρητή.....	106
<b>4. Συμπεράσματα</b> .....	113
<b>5. Βιβλιογραφία</b> .....	114

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχ.1-1: Ηλεκτροπαραγωγή και Χωρητικότητα Ισχύος από καύσιμα.....	15
Σχ.1-2: Υπηρεσίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	23
Σχ.1-3: Τεχνικοοικονομικές Παράμετροι για την καταλληλότητα αποθήκευσης.....	25
Σχ. 2-1: Φάσεις του Πλαισίου και τύποι μοντέλων που χρησιμοποιούνται.....	37
Σχ. 2-2: Ροή πληροφοριών μεταξύ των φάσεων του πλαισίου βάσει μοντέλων (φάσεις 3–5).....	39
Σχ.2-3: Κενό οικονομικής βιωσιμότητας στην ανάλυση σκοπιμότητας έργου.....	40
Σχ. 2-4: Ποσοτικά μετρήσιμες υπηρεσίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας .....	41
Σχ. 2-5: Δείγμα προεπιλεγμένων τιμών για την αντιστοίχιση τεχνολογίας αποθήκευσης.....	42
Σχ. 2-6: Δείγμα πίνακα αναζήτησης ανταγωνιστικής βαθμολογίας.....	43
Σχ. 2-7: Παράδειγμα ανταγωνιστικής βαθμολογίας για τεχνολογίες αποθήκευσης...43	
Σχ. 2-8: Παράδειγμα ενδεικτικών σταθμίσεων παραμέτρων για διάφορες εφαρμογές.....	44
Σχ. 2-9: Παράδειγμα πίνακα καταλληλότητας για διάφορες εφαρμογές .....	45
Σχ. 2-10: Παράδειγμα σταθμισμένης βαθμολογίας.....	46
Σχ. 2-11: Παράδειγμα κατάταξης εφαρμογών.....	46
Σχ. 2-12: Βήματα υπολογισμού στην ανάλυση αξίας του συστήματος.....	50
Σχ. 2-13: Προφίλ φορτίου για 24 ώρες με και χωρίς αποθήκευση (πάνω) και φόρτιση και εκφόρτιση αποθήκευσης για 24 ώρες (κάτω).....	53
Σχ. 2-14: Καμπύλη ρυθμού θερμότητας μιας θερμικής γεννήτριας.....	54
Σχ. 2-15: Ζήτηση, καμπύλες κλιμάκωσης και περικοπή ανανεώσιμης ενέργειας χωρίς αποθήκευση (πάνω) και με αποθήκευση (κάτω).....	55
Σχ. 2-16: Διανομή και παροχή εφεδρείας με θερμικές γεννήτριες και μπαταρίες 200 MW.....	56
Σχ. 2-17: Ενδεικτικά αποτελέσματα από ένα μοντέλο κατανομής αποθήκευσης με βάση τις τιμές.....	61
Σχ. 2-18: Παράδειγμα οικονομικών καταστάσεων έργου αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	62
Σχ. 2-19: Ενδεικτικό παράδειγμα δυναμικού αποθήκευσης σε MW και MWh.....	63
Σχ. 2-20: Ενδεικτικό παράδειγμα της χρηματικής αξίας των οφελών για το σύστημα.....	63
Σχ. 2-21: Παράδειγμα συντελεστών στάθμισης ανάλογα με τον συντελεστή C που απαιτείται για ένα δεδομένο όφελος.....	64
Σχ. 2-22: Ενδεικτικό παράδειγμα οφελών ανά συντελεστή C (σε δολάρια ΗΠΑ).....	64
Σχ. 2-23: Ενδεικτικό παράδειγμα οφελών ανά συντελεστή C (σε δολάρια ΗΠΑ).....	65
Σχ. 2-24: Ανάλυση κόστους και οφέλους.....	66



<b>Σχ. 2-25:</b> Αποτελέσματα τριών σεναρίων που υπόκεινται σε ανάλυση κόστους-οφέλους.....	67
<b>Σχ. 3-1:</b> Σύνοψη των λειτουργικών εφεδρειών.....	70
<b>Σχ. 3-2:</b> Υπηρεσίες απόκρισης συχνότητας στο Ηνωμένο Βασίλειο.....	71
<b>Σχ. 3-3:</b> Έσοδα της Hornsdale Power Reserve το 2018.....	74
<b>Σχ. 3-4:</b> Συνολικές πληρωμές επικουρικών υπηρεσιών της Νότιας Αυστραλίας.....	75
<b>Σχ. 3-5:</b> Απόκριση του Hornsdale κατά τη διάρκεια του συμβάντος υποσυχνότητας της 25ης Αυγούστου 2018 στη Νότια Αυστραλία.....	76
<b>Σχ. 3-6:</b> Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στο ισπανικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, 31 Ιανουαρίου 2019.....	77
<b>Σχ. 3-7:</b> Καθαρή καμπύλη φορτίου (καμπύλη πάπιας) για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Καλιφόρνια, 15 Μαΐου 2018.....	78
<b>Σχ. 3-8:</b> Υπολογισμός απαίτησης ράμπας για το FRP.....	79
<b>Σχ. 3-9:</b> Κατανομή ηλιακών φωτοβολταϊκών και μπαταριών, 20 Δεκεμβρίου 2018, σύστημα CAISO.....	81
<b>Σχ. 3-10:</b> Επίδραση στην καμπύλη πάπιας της αποθήκευσης ενέργειας που παρέχει ευέλικτη αυξομείωση: το παράδειγμα ενός τροφοδότη 3 MW.....	82
<b>Σχ. 3-11:</b> Παράδειγμα χρήσης μετατόπισης ανανεώσιμης ενέργειας: παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές και καθαρό φορτίο με και χωρίς αποθήκευση ενέργειας και προφίλ φόρτισης και εκφόρτισης της αποθήκευσης ενέργειας.....	84
<b>Σχ. 3-12:</b> Μέση τιμή αποστολής και τιμές φόρτισης και εκφόρτισης του Hornsdale Power Reserve.....	87
<b>Σχ. 3-13:</b> Διαδικασία εξομάλυνσης ανανεώσιμης ενέργειας σε περίοδο κατά την οποία η μέγιστη επιτρεπόμενη κλιμάκωση υπερβαίνεται από την ΑΠΕ.....	90
<b>Σχ. 3-14:</b> Έργο αποθήκευσης ενέργειας Prosperity που παρέχει εξομάλυνση ανανεώσιμης ενέργειας σε φωτοβολταϊκό σταθμό.....	93
<b>Σχ. 3-15:</b> Εξομάλυνση της ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας στο γαλλικό νησί La Réunion με μπαταρία 9 MWh.....	93-94
<b>Σχ. 3-16:</b> Συμφόρηση μεταφοράς μεταξύ βόρειας και νότιας Γερμανίας.....	95
<b>Σχ. 3-17:</b> Αποθήκευση ενέργειας για αναβολή μετάδοσης.....	97
<b>Σχ. 3-18:</b> Αποκεντρωμένη δυναμικότητα με επιτυχία στις δημοπρασίες της αγοράς χωρητικότητας, Ηνωμένο Βασίλειο, 2018-22.....	101
<b>Σχ. 3-19:</b> Μεριδίδια ηλιακών φωτοβολταϊκών σε υβριδικά μίνι-δίκτυα ελάχιστου κόστους.....	103
<b>Σχ.3-20:</b> Ζήτηση και παραγωγή σε ένα σύστημα αυτοκατανάλωσης.....	107
<b>Σχ. 3-21:</b> Οικιακά συστήματα αποθήκευσης μπαταριών στη Γερμανία, 2013-18...	109
<b>Σχ. 3-22:</b> Επισκόπηση ενός συσσωρευτή.....	110
<b>Σχ.3-23:</b> Σχηματική απεικόνιση της ροής της ηλεκτρικής ενέργειας και των πληρωμών σε ένα σύστημα καθαρής χρέωσης.....	112

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 3-1:</b> Το έργο Glassenbury της Low Carbon.....	73
<b>Εικόνα 3-2:</b> Το έργο Hornsdale power reserve στη Νότια Αυστραλία .....	73
<b>Εικόνα 3-3:</b> Hornsdale Power Reserve στη Νότια Αυστραλία.....	86
<b>Εικόνα 3-4:</b> Θέση σε λειτουργία του αιολικού υδροηλεκτρικού συστήματος στο El Hierro.....	88
<b>Εικόνα 3-5:</b> Μπαταρίες στο έργο αποθήκευσης ενέργειας Prosperity στο Νέο Μεξικό.....	91
<b>Εικόνα 3-6:</b> Αιολικός σταθμός παραγωγής ενέργειας στο Μάουι της Χαβάης.....	91
<b>Εικόνα 3-7:</b> Μπαταρίες από την NGK στο Varel (Γερμανία), παρόμοιες με αυτές στην περιοχή της Καμπανίας.....	97
<b>Εικόνα 3-8:</b> Σύστημα αποθήκευσης μπαταριών της Greensmith για αναβολή διανομής στην Καλιφόρνια.....	98
<b>Εικόνα 3-9:</b> Επιθεώρηση ενός ηλιακού μίνι δικτύου στο Mog Mog, Πολιτεία Υαρ...	105
<b>Εικόνα 3-10:</b> Ηλιακό μίνι-δίκτυο 60 kW στο γυμνάσιο Ulithi, Πολιτεία Υαρ.....	106



# Εισαγωγή

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες. Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- **Ο ήλιος - ηλιακή ενέργεια**, με υποτομείς τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα παθητικά ηλιακά συστήματα και τη φωτοβολταϊκή μετατροπή
- Ο άνεμος - αιολική ενέργεια
- Οι υδατοπτώσεις - υδραυλική ενέργεια, με περιορισμό στα μικρά υδροηλεκτρικά, ισχύος κάτω των 10 MW
- **Η γεωθερμία - γεωθερμική ενέργεια**: υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας
- **Η βιομάζα**: θερμική ή χημική ενέργεια με την παραγωγή βιοκαυσίμων, τη χρήση υπολειμμάτων δασικών εκμεταλλεύσεων και την αξιοποίηση βιομηχανικών αγροτικών (φυτικών και ζωικών) και αστικών αποβλήτων
- **Οι θάλασσες**: ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια των ωκεανών από τη διαφορά θερμοκρασίας των νερών στην επιφάνεια και σε μεγάλο βάθος.

Οι επενδύσεις στην αποθήκευση ενέργειας είναι κομβικές για το στόχο της απανθρακοποίησης του ηλεκτρικού συστήματος και την περαιτέρω διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Και αυτό διότι η παραγωγή των ΑΠΕ είναι στοχαστική, οπότε οι μονάδες αποθήκευσης μπορούν να συλλέξουν την περίσσεια παραγωγή ΑΠΕ, η οποία στη συνέχεια αξιοποιείται από το σύστημα όταν υπάρχει έλλειψη. Με τα συστήματα αποθήκευσης, οι ΑΠΕ θα μπορούν στο μέλλον να μετατρέπονται σε μονάδες βάσης, δηλαδή σε μονάδες που θα καλύπτουν βασικά φορτία του συστήματος.

Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επεκτάθηκαν ραγδαία τα τελευταία χρόνια λόγω της ανάγκης περιορισμού των ρύπων, της απότομης μείωσης του κόστους, της καινοτομίας τους και της πολιτικής υποστήριξης που χαίρουν. Η συνεχής εξέλιξη στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας εισάγει νέες προκλήσεις που απαιτούν αλλαγές στον τρόπο που οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής, οι ρυθμιστικές αρχές και οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας σχεδιάζουν, διαχειρίζονται και λειτουργούν τα συστήματα ισχύος. Η ταχεία επέκταση των ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί ένα πιο ευέλικτο ενεργειακό σύστημα για να διασφαλιστεί ότι ένα σύστημα ισχύος, με μεγάλα μερίδια ανανεώσιμης ενέργειας, μπορεί να λειτουργεί αξιόπιστα και αποδοτικά ως προς το κόστος.

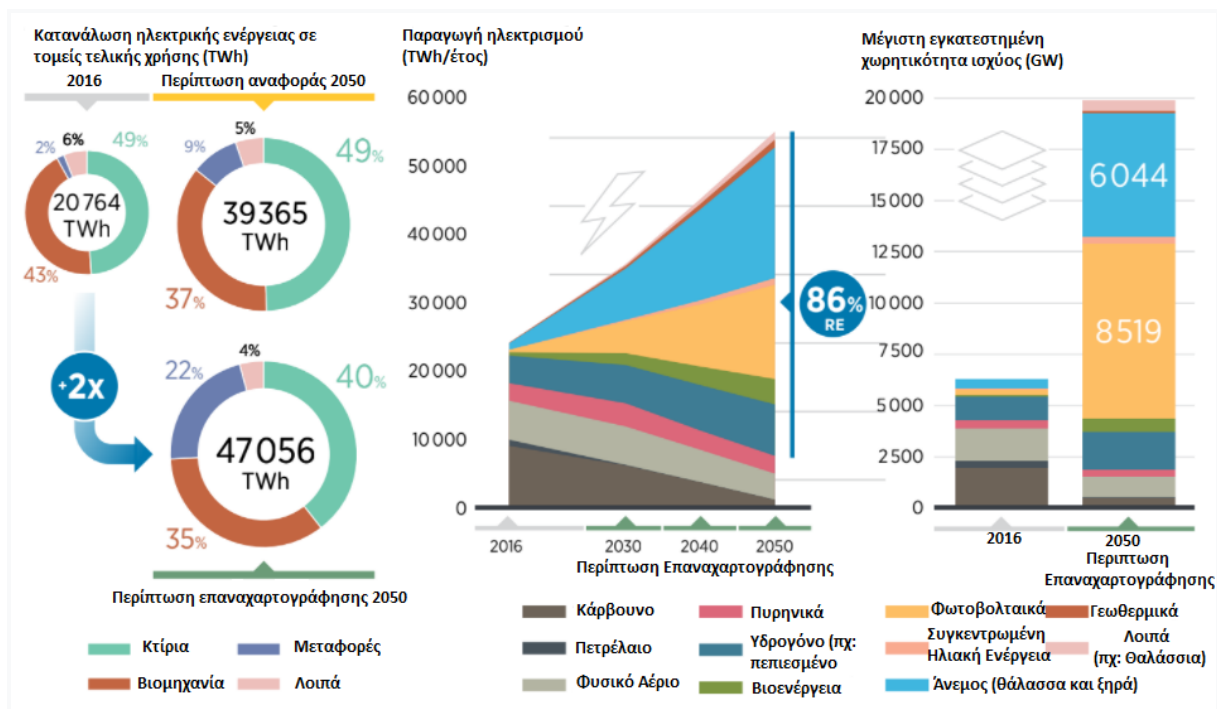
Η **αποθήκευση** ηλεκτρικής ενέργειας με τις δυνατότητές να απορροφά, να αποθηκεύει και να επανεγχύει την ηλεκτρική ενέργεια, θεωρείται ως εξέχουσα λύση απέναντι σε τεχνικές και οικονομικές προκλήσεις, που προκύπτουν. Το όφελος από την εγκατάσταση των μονάδων αυτών είναι η υποστήριξη της σταθερότητας του δικτύου και ταυτόχρονα η μείωση του κόστους της ενέργειας, καθώς δημιουργείται η δυνατότητα αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως από τα αιολικά τις ημέρες αυξημένων μποφόρ ή από τα φωτοβολταϊκά τις μεσημεριανές ώρες, και της απόδοσής της στο δίκτυο σε ώρες ή περιόδους αυξημένης ζήτησης.

Το Πλαίσιο αξιολόγησης αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σχεδιάστηκε από το Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμων Πηγών και στοχεύει να καθοδηγήσει στην ανάπτυξη αποτελεσματικών πολιτικών αποθήκευσης της ανανεώσιμης ενέργειας. Η συνοδευτική μεθοδολογία μοντελοποίησης περιγράφει πως να αξιολογηθούν τα οφέλη της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα ισχύος και πώς να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για την επιτυχημένη εγκατάσταση αποθήκευσης.

# 1ο Μέρος: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

## 1.1 Εισαγωγή

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζεται με τεχνολογίες, στις οποίες αποθηκεύεται ηλεκτρική ενέργεια και απελευθερώνεται όταν υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση. Η διαδικασία αποθήκευσης συχνά περιλαμβάνει μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας από μία μορφή σε άλλη και τούμπταλιν. Η αποθήκευση θεωρείται ως βασική λύση για την αντιμετώπιση τεχνικών προκλήσεων, που σχετίζονται με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σε συνδυασμό με άλλες λύσεις (π.χ. πιο ευέλικτη ζήτηση, επιταχυνόμενη αναβάθμιση των σταθμών παραγωγής). Κατά συνέπεια, η αποθήκευση χαίρει ιδιαίτερου ενδιαφέροντος στον τομέα της ενέργειας και αναμένεται να παίξει βασικό ρόλο στα επόμενα στάδια της ενεργειακής μετάβασης. Με την ενεργοποίηση υψηλότερων μεριδίων ανανεώσιμης ενέργειας στο σύστημα, η δυνατότητα αποθήκευσης επιταχύνει την εκτός δικτύου ηλεκτροδότηση και έμμεσα βοηθά στην απαλλαγή από τον άνθρακα στον τομέα των μεταφορών. Υπολογίζεται ότι το ανανεώσιμο μερίδιο της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί από 25% σήμερα στο 86% το 2050. Η ανάπτυξη είναι ιδιαίτερα ισχυρή για τεχνολογίες ΑΠΕ (κυρίως ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV) και αιολικά ισχύος), με αύξηση από 4,5% της παραγωγής ενέργειας το 2015, σε περίπου 60% το 2050. Επιπλέον, η ανάπτυξη φωτοβολταϊκών, θα μπορούσε να επιτευχθεί σχεδόν κατά το ήμισυ με κατανομημένο τρόπο, τόσο στον οικιακό, όσο και στον εμπορικό τομέα, στον αστικό χώρο ή και στις αγροτικές τοποθεσίες. (Σχήμα 1-1)



**Σχ.1-1: Ηλεκτροπαραγωγή και Χωρητικότητα Ισχύος από καύσιμα**

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με άλλες παραμέτρους, όπως για παράδειγμα η σχέση ζήτησης-απόκρισης, η ευέλικτη παραγωγή και η έξυπνη μετάδοση στα δίκτυα διανομής, θα μπορούσαν να επιτρέψουν την ενσωμάτωση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας σε πολύ μεγάλες κλίμακες. Ωστόσο, ο ρυθμός με τον οποίο χρειάζεται να αναπτυχθεί η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε καθεμία από αυτές τις περιπτώσεις ποικίλλει ανάλογα με την πρόοδο στο μετασχηματισμό του ενεργειακού τομέα, την οικονομία εναλλακτικών τεχνολογιών, την πρόοδο στο κόστος και την απόδοση αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα κύρια εμπόδια στην ανάπτυξη αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας είναι:

**α) Κόστος και τεχνολογική ωριμότητα.**

Το κόστος των μπαταριών μειώνεται γρήγορα, ενώ τεχνικές παράμετροι όπως ο ρυθμός αποδόμησης και η ενεργειακή πυκνότητα βελτιώνονται διαρκώς. Η εγκατάσταση μπαταριών, είτε σε σταθμούς είτε σε ηλεκτρικά οχήματα, αναμένεται να παίξει βασικό ρόλο στην αυξανόμενη ευελιξία στον ενεργειακό τομέα, αν και με ενεργειακούς όρους, το αντλούμενο υδροηλεκτρικό υλικό παραμένει μακράν η μεγαλύτερη πηγή αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

**β) Δυσκολία στη δημιουργία εσόδων από τους κατόχους αποθηκευτικού χώρου**

Παραμένει έλλειψη σαφήνειας γύρω από τη νομισματοποίηση και δίκαιη κατανομή των πλεονεκτημάτων της αποθήκευσης μεταξύ των ενδιαφερόμενων. Αυτό οφείλεται στην περίπλοκη φύση των ηλεκτρικών δικτύων και στην αλληλεπίδραση ανάμεσα στα στοιχεία του συστήματος. Κάθε σύστημα ισχύος έχει τη δική του φυσική δομή και ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση ανταγωνιστικού περιβάλλοντος, ο σχεδιασμός της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και το ρυθμιστικό πλαίσιο είναι τέτοια που καμία λύση δεν ταιριάζει σε όλες τις περιπτώσεις. Χρήση εξελιγμένων εργαλείων και ανάπτυξη κατάλληλων μεθοδολογιών είναι απαραίτητα για την αποτελεσματική καθοδήγηση των υπεύθυνων χάραξης πολιτικής, ώστε να ακολουθηθεί η βέλτιστη διαδικασία, για τη δημιουργία εσόδων από την αποθήκευση, τόσο για τους κατόχους, όσο και για τους ενδιαφερόμενους.

Το Πλαίσιο έχει σχεδιαστεί ώστε να χρησιμοποιηθεί, για τον προσδιορισμό της αξίας της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε διαφορετικούς ενδιαφερόμενους στο σύστημα ισχύος. Στο πλαίσιο εξετάζεται: α) η αξία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα ισχύος, β) οι τρόποι για τη βέλτιστη χρήση της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και γ) μία προσέγγιση για να εξασφαλιστεί ότι τα έσοδα από το προσδιορισμένο ποσό αποθήκευσης είναι υψηλότερα από το κόστος, έως την εξασφάλιση της ανάπτυξης και μείωσης του συνολικού κόστους του συστήματος.

Το Πλαίσιο αντιμετωπίζει το πρώτο από αυτά προσδιορίζοντας τις υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τιμές αξιολογούνται συγκρίνοντας το κόστος λειτουργίας του συστήματος ισχύος με και χωρίς αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Το πλαίσιο επίσης περιγράφει μια μέθοδο για τον προσδιορισμό έργων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, στην οποία η αξία της αποθήκευσης υπερβαίνει το κόστος για το σύστημα ισχύος. Καθώς η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται μέσα στο δίκτυο, συχνά ο κάτοχος του έργου μπορεί να μην μπορεί να έχει έσοδα για όλες τις υπηρεσίες που παρέχει το έργο. Αυτό καθιστά δύσκολο για τον προγραμματιστή να δικαιολογήσει οικονομικά την ανάπτυξη του συστήματος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η αναφορά περιλαμβάνει πολλά συνιστώμενα μέτρα πολιτικής για την παροχή κινήτρων και την αποζημίωση για την ανάπτυξη οικονομικά αποδοτικών συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα μέτρα πολιτικής μπορούν να εξεταστούν και εφαρμοστούν με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Τα ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν είναι:

- Ποιες υπηρεσίες μπορεί να παρέχει η αποθήκευση για να βοηθήσει στην ενσωμάτωση περισσότερης ανανεώσιμης ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας; Ποιες άλλες περιφερειακές υπηρεσίες παρέχει η ίδια αποθήκευση;
- Ποιες τεχνολογίες αποθήκευσης μπορούν να παρέχουν αυτές τις υπηρεσίες; Ποιο είναι το σχετικό κόστος;



- Πώς συγκρίνεται η αποθήκευση με άλλα εναλλακτικά ευέλικτα χαρακτηριστικά, όπως η ανταπόκριση στη ζήτηση, η πιο ευέλικτη παραγωγή ή ακόμα ισχυρότερα δίκτυα μεταφοράς, όσον αφορά στην αποτελεσματική μείωση του συνολικού κόστους του συστήματος;

- Για τις υπηρεσίες που παρέχει η αποθήκευση αποτελεσματικά ως προς το κόστος, πώς θα πρέπει να αναπτυχθούν τα έργα αποθήκευσης, ώστε να αξιοποιηθούν κατά το βέλτιστο τα οφέλη; Υποθέτοντας τη βέλτιστη λειτουργία, ένα έργο θα ήταν οικονομικά βιώσιμο υπό ένα συγκεκριμένο περιβάλλον αγοράς;

-Υπάρχει πρόβλημα έλλειψης χρημάτων μεταξύ της αξίας που παρέχει η αποθήκευση στο σύστημα και της τιμής που επιτυγχάνεται από τον ιδιοκτήτη της αποθήκης; Εάν ναι, ποιες είναι οι καλύτερες πολιτικές συστάσεις για τη γεφύρωση του χάσματος;

- Πώς μπορεί η ανάλυση μέσω μιας συστηματικής προσέγγισης να υποστηρίξει τη χάραξη πολιτικής, ώστε να απαντηθούν αποτελεσματικά τα παραπάνω ερωτήματα;

Το πλαίσιο απαντά σε αυτά τα ερωτήματα-οδηγούς με μία ακολουθία πέντε φάσεων:

Στη φάση 1 του πλαισίου, ταυτοποιούνται οι υπηρεσίες, τις οποίες μπορεί να παρέχει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, για την ενσωμάτωση περισσότερης ανανεώσιμης ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη φάση 2 βαθμολογούνται τα χαρακτηριστικά μιας ποικιλίας τεχνολογιών αποθήκευσης για την κατάταξη της καταλληλότητας όσον αφορά στην παροχή των υπηρεσιών, που προσδιορίστηκαν στη φάση 1. Αυτή η φάση βοηθά στην αποφυγή της λήψης εσφαλμένων αποφάσεων από τον αναλυτή, για την αποθήκευση κατά την εκκίνηση της διαδικασίας μοντελοποίησης.

Στη φάση 3, αποτιμάται η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας για την αποτελεσματικότητα στην παροχή των προσδιορισμένων υπηρεσιών. Οι διάφορες υπηρεσίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχονται σε επίπεδο συστήματος καταλήγουν τελικά σε μία σειρά οικονομικών οφελών, τόσο σε λειτουργικές όσο και σε κεφαλαιουχικές δαπάνες, που πρέπει να εκτιμηθούν.

Στη φάση 4, το πλαίσιο αναλύει την πραγματική λειτουργία ενός έργου αποθήκευσης, υποθέτοντας ότι το έργο είναι τιμολήπτης υπό τις τιμές της αγοράς που προσομοιώνονται στη Φάση 3. Στη φάση αυτή, τα έσοδα του έργου που λαμβάνονται μεγιστοποιούνται, συνδυάζοντας τις διάφορες υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει το έργο.

5. Στη φάση 5, το πλαίσιο λαμβάνει υπόψη τα έσοδα του έργου αποθήκευσης κατά τη διάρκεια της ζωής του, προσδιορίζει αν τα έσοδα αυτά είναι επαρκή για να

θεωρηθεί το έργο οικονομικά βιώσιμο, και αν όχι, προσπαθεί να προσδιορίσει πιθανές διορθωτικές λύσεις. Το αποτέλεσμα αυτής της τελικής φάσης είναι μια ανάλυση κόστους και οφέλους σε επίπεδο έργου, όπου το κόστος αναφέρεται στο κόστος κατασκευής και λειτουργίας ενός έργου αποθήκευσης και το όφελος αναφέρεται στο συνδυασμό οφελών σε επίπεδο έργου και σε επίπεδο συστήματος. Σε αυτή τη φάση, το αποτέλεσμα θα πρέπει να είναι ότι τα έσοδα που μπορούν να αποτιμηθούν σε χρήμα, προσαρμόζονται ώστε να είναι υψηλότερα από το κόστος αλλά χαμηλότερα από τη συστημική αξία του έργου.

Αυτός ο χάρτης πορείας για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας προσδιόρισε 14 δράσεις στοιχεία που υποδιαιρούνται σε 5 τομείς προτεραιότητας.

Οι τομείς αυτοί είναι:

1. Ανάλυση του συστήματος, η οποία συμβάλλει στην αξιολόγηση του ρόλου της αποθήκευσης στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας και απαιτείται από όλες τις χώρες.
2. Αποθήκευση σε νησιά και σε απομακρυσμένες περιοχές, η οποία είναι η πιο άμεση περιοχή όπου η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να υποστηρίξει την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
3. Αποθήκευση στο χώρο των καταναλωτών, η οποία αφορά χώρες που διαθέτουν υψηλό μερίδιο των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων στέγης στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας.
4. Αποθήκευση σε θέση γεννήτριας.
5. Αποθήκευση στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής, το οποίο είναι σημαντικό για τις χώρες που κάνουν τη μετάβαση σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αλλά με περιορισμένη ευελιξία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ταχεία ανάπτυξη και εμπορική αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών αποθήκευσης με μπαταρίες έχουν οδηγήσει σε ταχεία μείωση του κόστους, ιδίως για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Ωστόσο, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με μπαταρίες εξακολουθεί να προσφέρει τεράστιες δυνατότητες ανάπτυξης και μείωσης του κόστους. Μέχρι το 2030 το συνολικό κόστος εγκατάστασης θα μπορούσε να μειωθεί κατά 50% και 60%, λόγω της βελτιστοποίησης της κατασκευής εγκαταστάσεων και της μειωμένης χρήσης υλικών.

Το Πλαίσιο Αξιολόγησης Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ έχει σχεδιαστεί ως μέσο για την ενημέρωση των υπεύθυνων χάραξης πολιτικής βάσει λεπτομερούς και πολύπλοκης ανάλυσης. Η ανάλυση αυτή απαιτεί τη χρήση α) ενός μεγάλου όγκου δεδομένων και β) κατάλληλων εργαλείων βελτιστοποίησης.

Ένας αναλυτής που επιθυμεί να εφαρμόσει το πλαίσιο θα πρέπει να επιλέξει μεταξύ σχετικών εργαλείων μοντελοποίησης με διαφορετικές δυνατότητες και κόστος, και ταυτόχρονα να αναπτύξει μοντέλα/περιπτώσεις μελέτης που να είναι

αντιπροσωπευτικά της πραγματικότητας (λογικές υποθέσεις, ακριβή δεδομένα) και πρακτικά να μην απαιτούν αδικαιολόγητα μεγάλες ποσότητες δεδομένων και να έχουν λογικούς χρόνους εκτέλεσης.

## 1.2 Ο ρόλος της αποθήκευσης στην ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας

Από το πρώτο τέταρτο του 20ού αιώνα η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως με τη μορφή αντλούμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιείται για την παροχή ευρέος φάσματος υπηρεσιών δικτύου που υποστηρίζουν την οικονομική, ευέλικτη και αξιόπιστη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων εκατό χρόνων, η βιομηχανία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας συνέχισε να εξελίσσεται και να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες ενεργειακές και λειτουργικές απαιτήσεις και στις εξελίξεις της τεχνολογίας.

Εκτός από την αντλησιοταμίευση υδροηλεκτρικής ενέργειας, ένας αριθμός ηλεκτρικών τεχνολογιών αποθήκευσης με διαφορετικό κόστος και τεχνική συγγένεια για την παροχή συγκεκριμένων υπηρεσιών έχουν εμφανιστεί και βρίσκονται σήμερα σε διαφορετικά στάδια ωριμότητας και ανάπτυξης.

Τέτοιες τεχνολογίες είναι, για παράδειγμα, οι στερεές μπαταρίες, οι μπαταρίες ροής, οι σφόνδυλοι και η ενέργεια πεπιεσμένου αέρα αποθήκευσης. Οι πρόσφατες εξελίξεις έχουν αυξήσει σημαντικά το ενδιαφέρον για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι εξελίξεις στις τεχνολογίες αποθήκευσης και στις μειώσεις του κόστους αποθήκευσης (κυρίως για τις μπαταρίες λιθίου-ιόντων), η ανάπτυξη των απελευθερωμένων αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και η ανάπτυξη επικουρικών υπηρεσιών. Επιπλέον αυξάνονται οι προκλήσεις για την κατασκευή νέων συστημάτων μεταφοράς και διανομής υποδομών και ερευνάται ο ρόλος που μπορεί να διαδραματίσει η αποθήκευση ηλιακής και αιολικής ενέργειας, σε αντικατάσταση των ντιζελογεννητριών σε ένα πλαίσιο εκτός δικτύου.

Η ενσωμάτωση υψηλών μεριδίων ενέργειας παραγόμενης από ΑΠΕ αποτελεί πρόκληση λόγω των εγγενών χαρακτηριστικών της. Πιο συγκεκριμένα, η μεταβλητότητα και η αβεβαιότητα που σχετίζονται με τους ηλιακούς και αιολικούς πόρους θέτουν τεχνικές προκλήσεις για τη διαδικασία εξισορρόπησης της προσφοράς και της ζήτησης, γεγονός που με τη σειρά του αυξάνει την ανάγκη ευελιξίας του συστήματος. Η ενσωμάτωση της ενέργειας από ΑΠΕ έχει άμεσες επιπτώσεις στις λειτουργίες του συστήματος, καθώς επηρεάζει το μέγεθος των υπηρεσιών δικτύου που απαιτούνται, καθώς και το χρονοδιάγραμμα και το λειτουργικό προφίλ κάθε υπηρεσίας.

Οι επιπτώσεις στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας χαρακτηρίζονται από μια σειρά από χρονικές κλίμακες που εκτείνονται από υποδευτερόλεπτα (π.χ, όταν ένα σύννεφο περνάει πάνω από ένα φωτοβολταϊκό σταθμό) έως χρόνια (ο χρόνος

παράδοσης νέων γραμμών μεταφοράς για την αντιμετώπιση της συμφόρησης). Στη συντομότερη χρονική κλίμακα (υποδευτερόλεπτα), ορισμένες τεχνολογίες αποθήκευσης, όπως η αντλούμενη υδροηλεκτρική ενέργεια, μπορούν να παρέχουν αδράνεια ως πρώτη γραμμή άμυνας σε περίπτωση ξαφνικής απώλειας παραγωγής και μπορούν να μειώσουν την εξάρτηση ενός συστήματος από θερμοηλεκτρικές γεννήτριες για τον περιορισμό του ρυθμού μεταβολής της συχνότητας. Από τα υποδευτερόλεπτα έως τα δευτερόλεπτα, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας (κυρίως μπαταρίες, αλλά και σε συγκεκριμένες εφαρμογές σφόνδυλοι) είναι κατάλληλες για την παροχή ταχείας απόκρισης συχνότητας. Σε χρονική κλίμακα δευτερολέπτων έως λεπτά, η αποθήκευση έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως για την παροχή επιχειρησιακών εφεδρειών (κυρίως μπαταρίες, σφόνδυλοι και υδροηλεκτρική αντλία). Από λεπτά έως ώρες η αντλούμενη υδροηλεκτρική ενέργεια, η αποθήκευση ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα και οι μπαταρίες ροής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση του φορτίου και της χρονικής μετατόπισης της ενέργειας (ενεργειακό αρμπιτράζ), και από ώρες έως ημέρες, εβδομάδες ή ακόμη και μήνες η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε μακροχρόνιες αποθήκες ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται από το σημείο διασύνδεσης στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, όταν συνδέεται στο δίκτυο στο επίπεδο του σημείου μεταφοράς, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να υποστηρίξει αυξανόμενα μερίδια ανανεώσιμης ενέργειας, να συμμετέχει στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και να παρέχει επικουρικές υπηρεσίες σε διάφορες χρονικές κλίμακες, που σχετίζονται με τις τεχνικές δυνατότητες κάθε τεχνολογίας. Όταν συνδέεται στο επίπεδο διανομής, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να παρέχει όλες τις παραπάνω υπηρεσίες και επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει υπηρεσίες ποιότητας και αξιοπιστίας ισχύος σε τοπικό επίπεδο υποσταθμού και να υποστηρίξει την ενσωμάτωση της κατανεμημένης ανανεώσιμης ενέργειας.

Μπορεί επίσης να συνδεθεί με άλλες εγκαταστάσεις παραγωγής, επιτρέποντας υψηλότερο καθορισμό τιμών, παροχή υπηρεσιών δικτύου και ταυτόχρονα εξοικονόμηση κόστους σύνδεσης. Τέλος, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να τοποθετηθεί πίσω από τον μετρητή, για να υποστηρίξει έναν πελάτη στην αυξανόμενη αυτονομία των φωτοβολταϊκών, μειώνοντας έτσι τους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος (όπου υπάρχουν συστήματα διαχείρισης της ζήτησης κατά τη διάρκεια της χρήσης), βελτιώνοντας την ποιότητα και την αξιοπιστία της ηλεκτρικής ενέργειας, και δυνητικά επιτρέποντας τη συμμετοχή στη διαχείριση της ενέργειας, τη χονδρική και στις αγορές επικουρικών υπηρεσιών μέσω συγκεντρωτών.

Η φυσική τοποθεσία και ο τρόπος λειτουργίας (σε συνδυασμό με γεννήτριες ή αυτόνομα), μαζί με το ρυθμιστικό πλαίσιο και τη δομή της αγοράς, υπό την οποία η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τον τύπο της ανάλυσης που απαιτείται για την εκτίμηση τόσο του συστήματος όσο και του

έργου. Αυτές οι εκτιμήσεις εξηγούνται λεπτομερέστερα στη φάση 3. Για παράδειγμα, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να λειτουργήσει ως αυτόνομη μονάδα ή σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις παραγωγής, π.χ. ηλιακά φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα. Στην περίπτωση που η μονάδα αποθήκευσης τοποθετείται μαζί με ένα φωτοβολταϊκό πάρκο, αντί να είναι μια αυτόνομη μονάδα, είναι τμήμα ενός "υβριδικού σταθμού παραγωγής ενέργειας".

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μετριάσει τον αντίκτυπο της μεταβλητότητας και αβεβαιότητας της ανανεώσιμης ενέργειας απλά παρέχοντας ένα δίκτυο υπηρεσιών. Ο ανεξάρτητος διαχειριστής συστήματος της Καλιφόρνιας (CAISO) περιγράφει πώς η αποθήκευση μπορεί, για παράδειγμα, να προσφέρει την παροχή επικουρικών υπηρεσιών παρέχοντας ρύθμιση της συχνότητας και λειτουργικές εφεδρείες για την αποκατάσταση ανισορροπιών στη συχνότητα, ή παρέχοντας υπηρεσίες παρακολούθησης φορτίου. Η αποθήκευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατόπιση του χρόνου της παροχής της ανανεώσιμης ενέργειας, φορτίζοντας ουσιαστικά όταν ο άνεμος φυσάει (σε πολλές, αλλά όχι σε όλες τις περιπτώσεις, η αιολική παραγωγή είναι υψηλότερη κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλές) και εκφορτίζοντας κατά τις ώρες αιχμής για τη μεγιστοποίηση των εσόδων.

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη της ενσωμάτωσης της ανανεώσιμης ενέργειας, μειώνοντας τη μεταβλητότητα και το σφάλμα πρόβλεψης παραγωγής και βελτιώνοντας την ποιότητα της ισχύος. Επιπλέον, με την ύπαρξη κατάλληλων μηχανισμών, ο ιδιοκτήτης του μηχανισμού αποθήκευσης μπορεί να προσφέρει οφέλη σε όλο το σύστημα παρέχοντας ρύθμιση περιοχής. Ειδικότερα, σε μια καθετοποιημένη επιχείρηση κοινής ωφέλειας, η αποθήκευση θα πρέπει ιδανικά να εγκαθίσταται εκεί όπου η αξία της στο σύστημα είναι η υψηλότερη, ενώ σε απελευθερωμένες αγορές μπορεί να υπάρχει κίνητρο για τους παραγωγούς ή τους καταναλωτές να εγκαταστήσουν μηχανισμό αποθήκευσης για να μεγιστοποιήσουν τα έσοδά τους, κάτι που μπορεί να μη μεταφράζεται στη μέγιστη αξία του συστήματος, για τη συγκεκριμένη ποσότητα αποθήκευσης.

### **1.3 Μεθοδολογία**

Το Πλαίσιο Αξιολόγησης επιτρέπει τη σύγκριση του κόστους ανάπτυξης της αποθήκευσης, ενώ προσδιορίζει α) τις βέλτιστες ποσότητες πρόσθετης αποθήκευσης για ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του συστήματος β) τη βιωσιμότητα των έργων αποθήκευσης με βάση το υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο και ένα σύνολο πιθανών χρήσεων και γ) τα ρυθμιστικά μέτρα που θα μπορούσαν να διευκολύνουν την ανάπτυξη της αποθήκευσης, με κόστος που δεν θα υπερβαίνει τα οφέλη σε επίπεδο συστήματος.

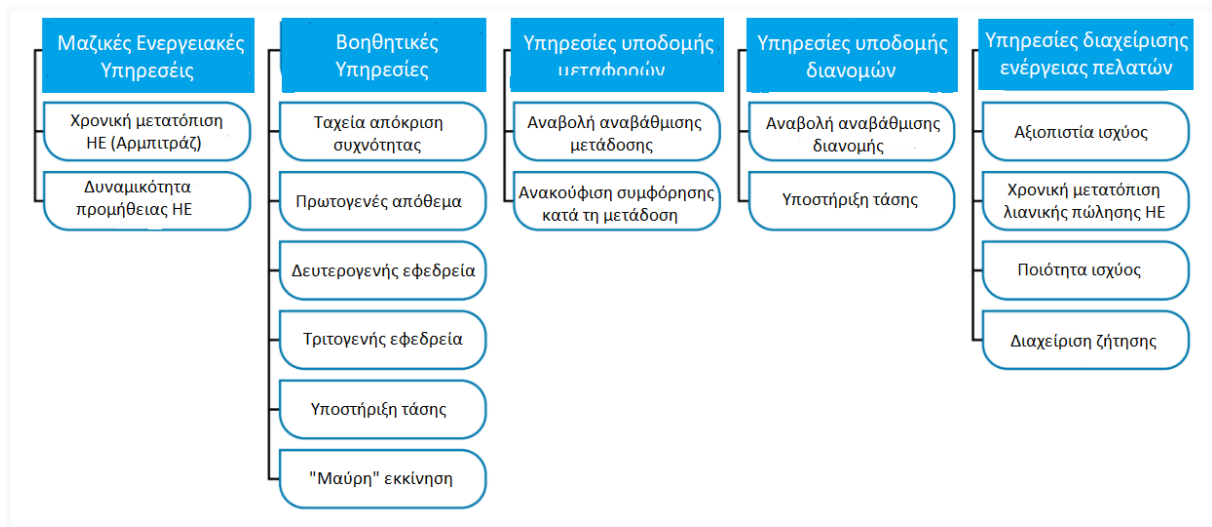
Το Πλαίσιο Αξιολόγησης ξεκινά στη φάση 1 με την επισήμανση των υπηρεσιών από την αποθήκευση που είναι σχετικές με την ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο (π.χ. χώρα, σχέδιο, κανονιστικό πλαίσιο).

Οι υπηρεσίες αυτές μπορούν στη συνέχεια να ομαδοποιηθούν για την ενίσχυση της βιωσιμότητας του έργου. Με βάση αυτό, πραγματοποιείται μια χαρτογράφηση των τεχνολογιών που είναι καταλληλότερες για την παροχή τέτοιων υπηρεσιών, δίνοντας μια προσωρινή κατάταξη με βάση την εφαρμοσιμότητα (Φάση 2). Η φάση 2 αποσκοπεί στο να αποτρέψει τον αναλυτή από το να προβεί σε ακατάλληλες επιλογές για την αποθήκευση στην αρχή της διαδικασίας μοντελοποίησης. Οι δύο αυτές φάσεις μπορούν να διεξαχθούν σε ένα απλό αναλυτικό περιβάλλον (π.χ. λογιστικό φύλλο), ενώ οι επόμενες φάσεις απαιτούν εργαλεία μοντελοποίησης.

Η φάση 3 απαιτεί μια κατανομή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας για την αξιολόγηση της αποθήκευσης. Αυτό συμπληρώνεται από μια διαδικασία ελαχίστου επενδυτικού κόστους για να συγκριθεί η αποθήκευση με εναλλακτικές επιλογές. Μόλις προσδιοριστεί η βέλτιστη ποσότητα αποθήκευσης και άλλα μέτρα ευελιξίας προσδιορίζεται ένα σύνολο δεδομένων στη φάση 3 (π.χ. τιμές ηλεκτρικής ενέργειας) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση λειτουργίας της αποθήκευσης στη φάση 4. Η φάση αυτή μετατοπίζει την εστίαση από την ανάλυση σε επίπεδο συστήματος στην ανάλυση με επίκεντρο την αποθήκευση, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της φάσης 3 ως εισροές και βελτιστοποιώντας εκ νέου την κατανομή της αποθήκευσης για τη μεγιστοποίηση των εσόδων. Τέλος, τα έσοδα αυτά συγκρίνονται με την αξία του συστήματος από τη φάση 3 στην τελική φάση του πλαισίου, τη φάση 5. Σε αυτή την τελευταία φάση, η βιωσιμότητα του έργου αξιολογείται εξετάζοντας το χάσμα μεταξύ των χρηματικών εσόδων και του κόστους του έργου. Αυτό επιτρέπει τη σύγκριση εναλλακτικών ρυθμιστικών μέτρων με στόχο να επιλύσουν το πρόβλημα της έλλειψης χρημάτων που συχνά συνδέεται με τις νέες τεχνολογίες.

Ανατύκωστε:

**Φάση 1: Προσδιορισμός υπηρεσιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που υποστηρίζουν την ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας**



**Σχ.1-2: Υπηρεσίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας**

Ο κατάλογος των υπηρεσιών, βασίζεται σε μελέτες που κατηγοριοποιούν τις επιλογές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με την ικανότητά τους να υποστηρίζουν τις υπηρεσίες του δικτύου, δηλαδή να απελευθερώνουν ενέργεια, να παρέχουν σταθερή χωρητικότητα, να υποστηρίζουν τη διαχείριση της ενέργειας από τους πελάτες και να υποστηρίζουν άμεσα την ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας.

Από τις άνωθι υπηρεσίες οι ακόλουθες είναι αυτές που συμβάλλουν στην ενσωμάτωση της ενέργειας των ΑΠΕ με άμεσους ή έμμεσους τρόπους, ανάλογα με την υποδομή του δικτύου και το σχεδιασμό της αγοράς της εκάστοτε χώρας: χρονικά μετατοπισμένη ικανότητα παροχής ενέργειας, ταχεία απόκριση συχνότητας, πρωτογενείς και δευτερογενείς εφεδρείες, ρύθμιση συχνότητας, αναβάθμιση της μεταφοράς και της διανομής, δυνατότητα χρονικής μετατόπισης επενδύσεων, χρονική μετατόπιση λιανικής ενέργειας και ισχύος (συμπεριλαμβανομένης της υποστήριξης της τάσης μέσω της έγχυσης άεργου ισχύος, ενδεχομένως υπηρεσίες black start). Για παράδειγμα, η αποθήκευση πίσω από τον μετρητή μπορεί να υποστηρίξει τόσο την ενσωμάτωση των καταναλωμένων πηγών ενέργειας όσο και την ενεργό συμμετοχή των καταναλωτών στη συνολική διαχείριση της ενέργειας. Ωστόσο, προκειμένου να αξιοποιηθεί πλήρως η αξία της, ο διαχειριστής του συστήματος διανομής πρέπει να έχει έναν πιο ενεργό ρόλο και οι μεσάζοντες πρέπει να είναι σε θέση να συμμετέχουν στις διάφορες αγορές ενέργειας μέσω διαφόρων συστημάτων, όπως στην περίπτωση των συσσωρευτών.

Παράδειγμα έμμεσης διευκόλυνσης για την ενσωμάτωση της ενέργειας των ΑΠΕ, είναι μία αυτόνομη αντλητική υδροηλεκτρική μονάδα που εκτελεί υπηρεσίες όπως το αρμπιτράζ ηλεκτρικής ενέργειας (αγορά ηλεκτρικής ενέργειας όταν είναι φθηνή, για να την πουλήσει όταν η αξία της είναι υψηλή), τη γρήγορη παρακολούθηση φορτίου,

την απόκριση συχνότητας ή την παροχή αδράνειας, θα μπορούσε επίσης να μειώσει την περικοπή της ενέργειας των ΑΠΕ την ίδια στιγμή.

Ομοίως, μια μονάδα αποθήκευσης ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα, που βρίσκεται σε κοινή θέση με ΑΠΕ και έχει ως πρωταρχικό της ρόλο τη μεγιστοποίηση του κέρδους της υβριδικής μονάδας (για παράδειγμα μέσω της παροχής σταθερής δυναμικότητας, ενεργειακού αρμπιτράζ και ελέγχου της αύξησης) θα μπορούσε επίσης έμμεσα να αναβάλει την ανάγκη για δυναμικότητα αιχμής και να μειώσει την ανάγκη επικουρικών υπηρεσιών. Επιπλέον, ένα σημαντικό μέρος της αξίας της αποθήκευσης αναμένεται να προέλθει από την αναβολή άλλων επενδύσεων, όπως οι σταθμοί αιχμής ή οι επενδύσεις μεταφοράς και διανομής (T&D), ιδίως σε συστήματα όπου η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται ή όπου η ενέργεια αποτελεί σημαντικό μερίδιο της ηλεκτροπαραγωγής.

## **Φάση 2: Χαρτογράφηση των τεχνολογιών αποθήκευσης με αναγνωρισμένες υπηρεσίες**

Οι υπηρεσίες αποθήκευσης που προσδιορίστηκαν στην προηγούμενη φάση συμπληρώνονται από μια ολοκληρωμένη ανάλυση τεχνικών και εμπορικών παραμέτρων των κυρίαρχων τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για τον κατάλληλο προσδιορισμό τους σε κάθε υπηρεσία.

Στη φάση αυτή, αποδίδονται βαθμολογίες στις διάφορες τεχνολογίες με στάθμιση των τεχνικών χαρακτηριστικών έναντι της καταλληλότητάς τους σε συγκεκριμένες εφαρμογές, και οι πίνακες που προκύπτουν χρησιμοποιούνται για να αξιολογηθεί πόσο κατάλληλη είναι μια συγκεκριμένη τεχνολογία σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Το αποτέλεσμα αυτής της φάσης είναι μια κατάταξη των τεχνολογιών αποθήκευσης με βάση την τεχνική τους συγγένεια ώστε να παρέχουν τις υπηρεσίες που ορίζονται στη φάση 1. Οι βασικές τεχνικοοικονομικές παράμετροι των επιλεγμένων τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι να εξετάζονται, όπως παρατίθενται στο Σχήμα 1-3.



<b>Οικονομικές</b>
Κεφαλαιουχικές Δαπάνες Αποθήκευσης (USD/KWh)
Κεφαλαιουχικές Δαπάνες Μετατροπέα Ισχύος (USD/KW)
Χρόνος ανάπτυξης και κατασκευής
Λειτουργικό Κόστος (USD/KWh)
Πυκνότητα Ενέργειας (Wh/kg)
Πυκνότητα Ενέργειας (Wh/L)
<b>Τεχνικές</b>
Αποτελεσματικότητα (AC σε AC) (%)
Ελάχιστος Δείκτης C
Μέγιστος Δείκτης C
Μέγιστο βάθος εκφόρτισης (%)
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας (%)
Ασφάλεια (Θερμική Σταθερότητα)

**Σχ.1 -3: Τεχνικοοικονομικές Παράμετροι για την καταλληλότητα αποθήκευσης**

Ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζεται η τεχνολογία, εξετάζονται οι παράμετροι, που θα πρέπει να σταθμίζονται σύμφωνα με τη σημασία τους για κάθε εφαρμογή. Μετά από αυτό, κάθε τεχνολογία μπορεί να βαθμολογηθεί ως προς την καταλληλότητά της για κάθε εφαρμογή, με τον υπολογισμό ενός σταθμισμένου μέσου όρου της κατάταξης κάθε τεχνικοοικονομικής παραμέτρου για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

### **Φάση 3: Ανάλυση της αξίας αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα σε σύγκριση με εναλλακτικές επιλογές ευελιξίας**

Ένας από τους στόχους του Πλαισίου Αξιολόγησης είναι η αξιολόγηση της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας έναντι άλλων επιλογών ευελιξίας. Συνήθως, αυτό συμβαίνει στη φάση 3 του πλαισίου. Ενώ η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί βασική τεχνολογία για την απαλλαγή του ενεργειακού συστήματος από τις ανθρακούχες εκπομπές ενδέχεται να υπάρχουν συγκεκριμένες περιπτώσεις όπου δεν είναι ανταγωνιστική έναντι των εναλλακτικών λύσεων. Στη φάση 3 η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας αποτιμάται τόσο για την αποτελεσματικότητά της στην παροχή προσδιορισμένων υπηρεσιών όσο και για την οικονομική της ελκυστικότητα σε σύγκριση με εναλλακτικές επιλογές. Εναλλακτικές τεχνολογίες θα μπορούσαν να

είναι, για παράδειγμα, άλλες πηγές ευελιξίας όπως η απόκριση στη ζήτηση και η ευέλικτη παραγωγή, ή ακόμη και η ενίσχυση του δικτύου μεταφοράς.

Η σύγκριση πραγματοποιείται μέσω ενός συνδυασμού βελτιστοποίησης της επέκτασης της δυναμικότητας με το ελάχιστο κόστος και της μοντελοποίησης του κόστους παραγωγής. Στόχος της ανάλυσης είναι να προσδιοριστούν οι επενδύσεις με το μικρότερο δυνατό κόστος που ανταποκρίνονται στο προβλεπόμενο προφίλ της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (τρέχουσα ή μελλοντική ζήτηση) ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τους τεχνικούς περιορισμούς και την εφαρμοστέα πολιτική.

Ενώ το λογισμικό επέκτασης δυναμικότητας εκτιμά τα λειτουργικά κόστη, συνήθως δεν είναι σε θέση να το πράξει εντός χρονικού πλαισίου αντιπροσωπευτικού των λειτουργιών πραγματικού χρόνου (δηλ. μοντελοποίηση της λειτουργίας του συστήματος σε υπο-ωριαίο επίπεδο, όπως στην περίπτωση των ενδοημερήσιων αγορών και της υπο-ωριαίας κατανομής). Για το λόγο αυτό, η προσομοίωση στο πλαίσιο της επέκτασης της δυναμικότητας λογισμικού ενσωματώνεται με την προσομοίωση του κόστους παραγωγής λογισμικού, για την ακριβή εκτίμηση του λειτουργικού κόστους του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η βελτιστοποίηση του κόστους παραγωγής είναι υπολογιστική μέθοδος για την προσομοίωση της δέσμευσης μονάδων και της οικονομικής κατανομής του στόλου παραγωγής ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε χρονικά βήματα μιας ώρας ή λιγότερο.

Η βελτιστοποίηση των επενδύσεων πρέπει να λαμβάνει υπόψη έναν αριθμό περιορισμών του πραγματικού κόσμου, όπως στην περίπτωση των στόχων πολιτικής (π.χ. στόχοι σχετικοί με τις εκπομπές διοξειδίου), η διαθεσιμότητα καυσίμων και η αξιοπιστία του συστήματος (δηλαδή τυχόν αλλαγές στη φυσική δομή του συστήματος δεν πρέπει να θέτουν σε κίνδυνο την αξιοπιστία του).

Η προσέγγιση του Πλαισίου Αξιολόγησης για την εκτίμηση του συνολικού συστήματος αξίας της αποθήκευσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

**Βήμα I:** Για τον προσδιορισμό των βέλτιστων επενδύσεων, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας εξετάζεται μαζί με εναλλακτικές τεχνολογίες (όπως η ενεργειακή απόδοση, η ζήτηση-απόκριση, η νέα μεταφορά και οι σταθμοί ισχύος αιχμής).

**Βήμα II:** Το βήμα I επαναλαμβάνεται με την αποθήκευση που αφαιρείται από τις διαθέσιμες επιλογές (συμπεριλαμβανομένων των εναλλακτικών τεχνολογιών που αναφέρθηκαν στο βήμα I). Η ανάλυση επέκτασης της δυναμικότητας θα παρέχει ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων για την εξυπηρέτηση των αναγκών του συστήματος. Η προσομοίωση κόστους παραγωγής χρησιμοποιείται για την ακριβή εκτίμηση του λειτουργικού κόστους.

**Βήμα III:** Η σύγκριση του συνολικού κόστους του συστήματος από τα Βήματα I και II δίνει τη συνολική αξία του συστήματος αποθήκευσης για την εκάστοτε περίοδο μελέτης. Η φάση 3 θα αναπτύξει μόνο την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας εάν

αυτό είναι επωφελές για το σύστημα. Η διαφορά σε σύγκριση με το σενάριο "όχι νέα αποθήκευση" θεωρείται ότι είναι το όφελος της προστιθέμενης αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα.

Σε γενικές γραμμές, οι κύριοι τύποι οφελών που μπορούν να εκτιμηθούν με την προτεινόμενη μεθοδολογία αφορούν τη μείωση του κόστους λειτουργικών και κεφαλαιουχικών δαπανών των επενδυτικών αναγκών.

### Λειτουργικές δαπάνες

Μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της κατανάλωσης καυσίμων, των μεταβλητών δαπανών λειτουργίας και διαχείρισης και κόστος εκκίνησης και διακοπής λειτουργίας, με:

- Αντικατάσταση της παραγωγής ενέργειας κατά τη διάρκεια της αιχμής
- Αντικατάσταση της θερμικής παραγωγής που ακολουθεί το φορτίο με κυκλική λειτουργία
- Αντικατάσταση άλλων πηγών επικουρικών υπηρεσιών
- Μείωση της συμφόρησης
- Αύξηση της διείσδυσης ενέργειας ΑΠΕ.

### Κεφαλαιουχικές δαπάνες

Μείωση του κόστους των επενδύσεων κεφαλαίου με:

- Αναβολή της ανάγκης για δυναμικότητα αιχμής
- Βελτίωση του συντελεστή δυναμικότητας της ενέργειας ΑΠΕ (λιγότερη δυναμικότητα ενέργειας απαιτείται για την επίτευξη των κλιματικών στόχων)
- Αναβολή της ανάγκης για δυναμικότητα μεταφοράς και διανομής.

1. Εξοικονόμηση κεφαλαιουχικών αναγκών από την αναβολή της ανάγκης εναλλακτικών λύσεων (συμπεριλαμβανομένης της δυναμικότητας αιχμής, της απόκρισης στη ζήτηση και υποδομές μεταφοράς). Εξοικονόμηση στις κεφαλαιουχικές ανάγκες εκτιμώνται με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης της επέκτασης της δυναμικότητας μεταξύ των "με αποθήκευση" και "χωρίς αποθήκευση".

2. Εξοικονόμηση σε λειτουργικές δαπάνες. Οι μειώσεις τους μπορούν να εκτιμηθούν χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του κόστους παραγωγής μοντέλων. Τα τυπικά μοντέλα κόστους παραγωγής είναι ικανά να απομονώσουν διάφορους τύπους λειτουργικών δαπανών, δηλαδή το κόστος καυσίμων (συμπεριλαμβανομένου του κόστους εκκίνησης), τη μεταβλητή λειτουργία και συντήρηση, το κόστος αξιοπιστίας (δηλ. κόστος μη εξυπηρετούμενης ενέργειας), την περικοπή ενέργειας ΑΠΕ (ανάλογα με τη ρύθμιση της αγοράς) και κατά περίπτωση, το κόστος των εκπομπών Σε

σενάρια υψηλών ποσών ενέργειας ΑΠΕ, οι κύριες μειώσεις κόστους προέρχονται από την εξοικονόμηση καυσίμων.

Η ανάπτυξη της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί επιπλέον να επιφέρει μια σειρά έμμεσων εξοικονομήσεων κόστους στο σύστημα και την κοινωνία γενικότερα. Αυτές θα μπορούσαν να αφορούν την αξιοπιστία του συστήματος (π.χ. όταν η αποθήκευση παρέχει αδράνεια στο σύστημα) ή ακόμη και την ασφάλεια του συστήματος (π.χ. όταν η αποθήκευση υποστηρίζει τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ως εκ τούτου την ενεργειακή ανεξαρτησία, όπως στην περίπτωση των χωρών που δε διαθέτουν φυσικούς πόρους). Αυτά μπορεί να είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν.

#### **Φάση 4: Προσομοίωση της λειτουργίας της αποθήκευσης και διαχείρισης των εσόδων**

Η φάση 4 του πλαισίου αναλύει την πραγματική λειτουργία ενός έργου αποθήκευσης, υποθέτοντας ότι το έργο είναι ένας τιμολογητής υπό τις οριακές τιμές του συστήματος που λαμβάνονται από τις προσομοιώσεις της φάσης 3. Στη φάση αυτή, τα έσοδα του έργου αποθήκευσης μεγιστοποιούνται συνδυάζοντας τις διάφορες υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει το έργο. Αυτή η φάση του Πλαισίου αξιολογεί τα έσοδα που μπορεί να επιφέρει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στον ιδιοκτήτη του έργου υπό συγκεκριμένες συνθήκες αγοράς. Ένα ευρύ φάσμα από οφέλη και κόστη αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε επίπεδο έργου εξαρτώνται από την αγορά και το ρυθμιστικό περιβάλλον που περιβάλλει το σύστημα ενδιαφέροντος. Και πάλι, χρησιμοποιείται αυτός ο τύπος λογισμικού προσομοίωσης για την ανάλυση. Ωστόσο, ο στόχος της ανάλυσης είναι διαφορετικός από το προηγούμενο βήμα. Αντί της ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους του συστήματος, το μοντέλο μεγιστοποιεί τα κέρδη ενός συγκεκριμένου έργου αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο πλαίσιο του συνολικού βέλτιστου χαρτοφυλακίου αποθήκευσης που προκύπτει από τη Φάση 3. Ενώ στα κάθετα ολοκληρωμένα περιβάλλοντα οι δύο στόχοι συμπίπτουν, στις απελευθερωμένες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας τα αποτελέσματα είναι πιθανό να είναι διαφορετικά και εστιάζουν σε ιδιωτικά συστήματα αποθήκευσης που συμμετέχουν σε χονδρικές αγορές ενέργειας (και επικουρικών υπηρεσιών).

Το μοντέλο σε αυτή τη φάση αγνοεί τη φυσική υποδομή του υπόλοιπου συστήματος, εστιάζοντας αποκλειστικά στο έργο αποθήκευσης. Με απλουστευμένους όρους, το μοντέλο υποθέτει ότι η συμπεριφορά του υπόλοιπου συστήματος παραμένει αμετάβλητη, καθώς το μεμονωμένο έργο δεν είναι σε θέση να επηρεάσει τις μεταβλητές-κλειδιά του συστήματος. Παραδείγματα τέτοιων μεταβλητών είναι α) οι τιμές της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, β) οι τιμές για την παροχή διαφόρων τύπων υπηρεσιών δικτύου, γ) η μορφή της καθαρής ζήτησης, δ) οι δείκτες αξιοπιστίας, και ε) η κατανομή όλων των άλλων γεννητριών, συμπεριλαμβανομένων των ΑΠΕ. Μια τέτοια προσέγγιση (ή μοντέλο) ονομάζεται μοντέλο του τιμοκατασκευαστή (price-taker model). Η εκ νέου κατανομή του πλήρους

συστήματος, ώστε να αξιοποιηθεί το μέγιστο όφελος από τη μονάδα αποθήκευσης και μόνο αποτελεί πρόκληση, καθώς οι διαφορετικές ομάδες περιουσιακών στοιχείων χρησιμοποιούν διαφορετικούς αλγόριθμους μεγιστοποίησης του κέρδους.

Η επιλογή διαφορετικών μακροπρόθεσμων μελλοντικών σεναρίων επηρεάζει τα κέρδη σε επίπεδο έργου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όταν η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλει στη μείωση του χάσματος μεταξύ των τιμών αιχμής και κοιλάδας (επειδή ο χρόνος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μετατοπίζει την ηλεκτρική ενέργεια χαμηλού κόστους προς τις περιόδους αιχμής). Όσο μεγαλύτερη είναι η ενσωματωμένη αποθήκευση, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση εξομάλυνσης των τιμών, η οποία επηρεάζει την κερδοφορία κατά τη συμμετοχή στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

Χρησιμοποιώντας τις εισροές από την περίπτωση χωρίς νέα αποθήκευση (Βήμα II ανωτέρω) παρέχονται πληροφορίες για την αξία της αποθήκευσης κατά τη διάρκεια των πρώτων σταδίων ανάπτυξής της. Τα αποτελέσματα αντιπροσωπεύουν τη βιωσιμότητα ενός έργου υπό την υπόθεση ότι η κατάσταση συνεχίζεται για μεγάλο χρονικό διάστημα (δηλ. δεν θα υπάρξει ούτε μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη της αποθήκευσης ούτε άλλες σημαντικές αλλαγές στη φυσική δομή του συστήματος). Έτσι, εάν αναπτυχθεί περαιτέρω αποθήκευση, η μακροπρόθεσμη οικονομική βιωσιμότητα του έργου είναι αβέβαιη, καθώς στην πραγματικότητα τα έσοδα θα μπορούσαν να μειωθούν (για παράδειγμα εάν η ανάπτυξη ενέργειας ΑΠΕ σταματήσει).

Η υπόθεση είναι ότι εάν η ποσότητα της αποθήκευσης που προσδιορίζεται στα προηγούμενα στάδια του πλαισίου είναι η πραγματική ποσότητα που αναμένεται να αναπτυχθεί, τα αποτελέσματα αυτής της φάσης θα είναι αρκετά ακριβή.

Το μοντέλο χρησιμοποιείται για την προσομοίωση των αναγκών εσόδων σε επίπεδο έργου ώστε να ενσωματώσει μια σειρά από τυπικές υπηρεσίες που προσφέρονται από τις αγορές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

*Αρμπιτράζ ενέργειας:* Αυτό περιλαμβάνει την επίτευξη κέρδους από τη φόρτιση της συσκευής όταν οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλές και την πώλησή της όταν οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλές. Ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της, μια συσκευή αποθήκευσης μπορεί να συμμετέχει είτε στις αγορές της επόμενης ημέρας είτε στις ενδοημερήσιες αγορές, ή και στις δύο. Οι εν λόγω υπηρεσίες μαζικής ενέργειας παρέχονται συνήθως από την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας που έχει μεγάλη χωρητικότητα και αργό χρόνο εκφόρτισης (όπως οι αντλησιοταμιευτήρες και η αποθήκευση ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα), μειώνοντας το χάσμα τιμών μεταξύ αιχμής και κοιλάδας (επειδή η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μετατοπίζει χρονικά τις χαμηλού κόστους περιόδους προς τις περιόδους αιχμής).

Για την προσομοίωση των οφελών από το αρμπιτράζ ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτείται μια χρονοσειρά των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο το σύστημα που αντιπροσωπεύει τη λειτουργία του μείγματος παραγωγής που προσδιορίζεται από το

προηγούμενο βήμα της φάσης 3. Όταν το μοντέλο του τιμοκατασκευαστή υποθέτει τέλεια πρόβλεψη των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχει ο κίνδυνος υπερεκτίμησης της αξίας του ενεργειακού αρμπιτράζ.

Τέλος, όταν δεν συνδυάζεται με ΑΠΕ, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας εξασφαλίζεται με ηλεκτρική ενέργεια από διάφορους άλλους τύπους γεννητριών. Ωστόσο, σε ένα σύστημα με υψηλό ποσοστό ενέργειας ΑΠΕ, οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι χαμηλές κατά τη διάρκεια των ωρών με υψηλή διείσδυση της ενέργειας ΑΠΕ και ουσιαστικά η αποθήκευση θα συμβάλλει ως επί το πλείστον στην εξομάλυνση του καθαρού φορτίου. Σε χαμηλά επίπεδα μεταβλητής ανανεώσιμης ενέργειας (και ενδεχομένως και σε υψηλότερα επίπεδα), η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχει ενεργειακά αρμπιτράζ θα μπορούσε να συμβάλλει στην αύξηση του συντελεστή δυναμικότητας των φθινών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα και το ενεργειακό τους μερίδιο στο μείγμα, όπως η έλλειψη ευελιξίας τους αντισταθμίζεται από την ευελιξία της αποθήκευσης.

*Παροχή επικουρικών υπηρεσιών:* Αυτές περιλαμβάνουν ένα σύνολο λειτουργικών υπηρεσιών, των οποίων ο πρωταρχικός ρόλος είναι να εξασφαλίζουν την αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου τόσο υπό α) κανονικές συνθήκες όσο και β) σε έκτακτες καταστάσεις. Η ορολογία, οι τύποι και ο ρόλος των επικουρικών υπηρεσιών ποικίλλουν σε όλο τον κόσμο. Η πληρωμή για τις βοηθητικές υπηρεσίες μπορεί να βασίζεται στην αγορασθείσα χωρητικότητα, στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ή και τα δύο ανάλογα με την περίπτωση. Πληρωμές για διάφορες υπηρεσίες πρέπει να εισάγονται στο εκάστοτε μοντέλο.

Οι επικουρικές υπηρεσίες περιλαμβάνουν συνήθως τη ρύθμιση της συχνότητας, την υποστήριξη της μαύρης εκκίνησης και τον έλεγχο της τάσης. Η μαύρη εκκίνηση και ο έλεγχος τάσης δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί ρητά με τη χρήση εργαλείων κατανομής και συνεπώς δεν μπορούν να αξιολογηθούν με τη χρήση του παρόντος πλαισίου. Ωστόσο, η προσομοίωση της πραγματικής χρήσης της αποθήκευσης στις επικουρικές υπηρεσίες μπορεί να αποτελέσει πρόκληση.

Χρησιμοποιώντας τις οριακές τιμές του συστήματος από τη φάση 3, οι διάφορες υπηρεσίες που μπορούν να παρέχουν ένα έργο αποθήκευσης μπορούν να βελτιστοποιηθούν, ώστε να μεγιστοποιηθούν τα έσοδα που λαμβάνει το έργο.

## **Φάση 5: Αξιολόγηση της βιωσιμότητας των έργων αποθήκευσης - Αξία έναντι χρηματικών εσόδων**

Τα οφέλη της αποθήκευσης σε επίπεδο συστήματος μπορούν να υλοποιηθούν μόνο εάν το έργο αποθήκευσης κρίνεται βιώσιμο, που σημαίνει ότι υπάρχουν επαρκείς ροές εσόδων για την ανταμοιβή των προγραμματιστών/ιδιοκτητών του έργου για την επένδυσή τους. Δυστυχώς, ορισμένα οφέλη του συστήματος δεν μπορούν να

αποτιμηθούν σε χρήμα ή δεν είναι άμεσα εφικτά από τον ιδιοκτήτη του έργου. Ως εκ τούτου, σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχει επαρκές κίνητρο για έναν υποψήφιο προγραμματιστή έργου να προχωρήσει.

Η ηλεκτρική ενέργεια που προέκυψε από τις προσομοιώσεις της φάσης 3 χρησιμοποιείται εδώ για τον υπολογισμό των ροών εσόδων για ένα έργο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα αποτελέσματα αντιπροσωπεύουν τις ροές εσόδων που είναι διαθέσιμες για έναν ιδιοκτήτη έργου αποθήκευσης παράλληλα με το σχετικό σύστημα οφέλους.

Το αποτέλεσμα αυτής της τελικής φάσης είναι ένα κόστος σε επίπεδο έργου και οφέλους. Το κόστος αναφέρεται στο κόστος κατασκευής και τη λειτουργία ενός έργου αποθήκευσης σε μια συγκεκριμένη περίπτωση.

Τα οφέλη αναφέρονται τόσο σε επίπεδο συστήματος (μη μετρήσιμα) όσο και σε επίπεδο έργου (χρηματικά) οφέλη.

Τα οφέλη κατηγοριοποιούνται ως μετρήσιμα ή μη μετρήσιμα. Εάν τα συνολικά οφέλη υπερβαίνουν το κόστος, αλλά τα νομισματοποιημένα οφέλη είναι μικρότερα από το κόστος, αυτό σημαίνει ότι οι φορείς υλοποίησης του έργου δεν έχουν αρκετά οικονομικά κίνητρα για να κατασκευάσουν αυτό το έργο, ακόμη και αν έχει όφελος-προς το κόστος μεγαλύτερο από τη μονάδα. Στην περίπτωση αυτή, η πολιτική παρέμβαση θα πρέπει να γίνει για να ενισχυθεί το συνολικό κοινωνικό καλό. Ωστόσο, υπάρχουν παράδειγμα που φαίνεται εκ του αποτελέσματος ότι επρόκειτο για ένα μοντέλο σκοπιμότητας έργου. Πχ τα οφέλη του συστήματος υπερτερούν του κόστους, τα χρηματικά οφέλη είναι μικρότερα από το κόστος, καθιστώντας το έργο οικονομικά ανέφικτο για τον ιδιοκτήτη. Η διαφορά μεταξύ του κόστους και του μετρήσιμου οφέλους, θα μπορούσε να οφείλεται σε υψηλό κόστος κεφαλαίου αποθήκευσης ή σε δυσμενείς μηχανισμούς της αγοράς.

## **1.4 Συστάσεις**

### **1.4.1 Συστάσεις για τους διάφορους ενδιαφερόμενους φορείς αποθήκευσης**

Διάφορα μέτρα πολιτικής μπορούν να εφαρμοστούν για να διασφαλιστεί ότι τα έργα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας θα αποζημιώνονται επαρκώς ώστε να αναπτυχθούν, χωρίς ωστόσο να αποζημιώνονται υπερβολικά. Πολιτικές συστάσεις που μπορεί να είναι σχετικές με τις ρυθμιστικές αρχές, τις καθετοποιημένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, την ερευνητική κοινότητα και τους προγραμματιστές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας παρατίθενται παρακάτω.

Για τους προγραμματιστές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Μέχρι το 2030 το συνολικό κόστος εγκατάστασης για την αποθήκευση μπαταριών θα μπορούσε να μειωθεί κατά 50% έως 60%. Οι προγραμματιστές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας έχουν μία ποικιλία επιχειρηματικών μοντέλων που αφορούν στην αγορά και είναι διαθέσιμα να κάνουν μια βιώσιμη υπόθεση για τα έργα τους. Ένα παράδειγμα επιχειρηματικού μοντέλου για την καταναμεμημένη αποθήκευση είναι αυτό των συσσωρευτών. Οι συσσωρευτές μπορούν να λειτουργήσουν μια ποικίλη δεξαμενή καταναμεμημένων ενεργειακών πόρων, συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης, δημιουργώντας μία σημαντική χωρητικότητα παρόμοια με εκείνη μιας συμβατικής γεννήτριας.

Αυτό τους επιτρέπει να συμμετέχουν σε διαφορετικές αγορές και επομένως να αξιοποιούν ροές εσόδων που διαφορετικά δε θα ήταν προσβάσιμες σε μεμονωμένα, μικρής κλίμακας έργα αποθήκευσης. Η συνεργασία, ιδίως με τις ρυθμιστικές αρχές και τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, είναι ζωτικής σημασίας για την ανάδειξη των οφελών που μπορεί να προσφέρει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα και τίθεται υπό συζήτηση ποια επιχειρηματικά μοντέλα θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην επιτάχυνση της ανάπτυξης της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

### *Για τις καθετοποιημένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας*

Οι κάθετα ολοκληρωμένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορεί να θελήσουν να εξετάσουν την αναβάθμιση των εργαλείων σχεδιασμού τους και την εκτέλεση ανοικτών διαβουλεύσεων με τα ενδιαφερόμενα μέρη για να επιτρέψουν στους σχεδιαστές των τιμών, τους σχεδιαστές και τους διαχειριστές του δικτύου να συνεργαστούν για την καταγραφή του πλήρους φάσματος των δυνατοτήτων της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Άλλες συστάσεις για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας περιλαμβάνουν την ενημέρωση και την επέκταση της μοντελοποίησης της αποθήκευσης στα ολοκληρωμένα σχέδια πόρων, την επικαιροποίηση των διαδικασιών σύναψης συμβάσεων για την απόδοση ή τις υπηρεσίες και τη διερεύνηση νέων μοντέλων ιδιοκτησίας για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα περισσότερα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως βασίζονται σε μία κάθετη ολοκληρωμένη δομή κοινής ωφέλειας, όπου η σύλληψη της πλήρους αξίας της αποθήκευσης είναι δυναμικά πιο απλή, σε σύγκριση με ένα πιο σύνθετο απορρυθμισμένο περιβάλλον όπου ζητήματα όπως η δομή ιδιοκτησίας των περιουσιακών στοιχείων αποθήκευσης και το ζήτημα των χαμένων χρημάτων αποτελούν μείζονα ανησυχία. Σε ένα περιβάλλον όπου η παραγωγή, η αποθήκευση και τα περιουσιακά στοιχεία του δικτύου ανήκουν στην ίδια οντότητα, οι εν λόγω οντότητες μπορούν να συλλάβουν την πλήρη αξία της αποθήκευσης για το σύστημα, υπό την προϋπόθεση ότι αυτή λογιστικοποιηθεί σωστά.

### *Για τις ρυθμιστικές αρχές*



Μια βασική σύσταση για τις ρυθμιστικές αρχές είναι η εξάλειψη των εμποδίων για τη συμμετοχή της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά. Ένα παράδειγμα εμποδίων θα μπορούσε να είναι η απαίτηση διάρκειας αποθεματικού, η οποία θα μπορούσε να είναι πολύ μεγάλη για πολλά συστήματα αποθήκευσης, ή η ελάχιστη χωρητικότητα για τη συμμετοχή σε αγορά επικουρικών υπηρεσιών, η οποία θα μπορούσε να είναι πολύ μεγάλη για ορισμένα συστήματα αποθήκευσης. Μια επιλογή στην περίπτωση αυτή θα ήταν ο σχεδιασμός ενός νέου προϊόντος στο οποίο η αποθήκευση θα μπορούσε να συμμετέχει ώστε να παρέχει την πλήρη αξία της.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της αποθήκευσης είναι η ικανότητά της να συσσωρεύει έσοδα από την παροχή πολλαπλών υπηρεσιών- ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις το ρυθμιστικό πλαίσιο δεν της επιτρέπει να το πράξει (για παράδειγμα, αυτό αντιμετωπίστηκε στην Καλιφόρνια με απόφαση, η οποία επιτρέπει τη συσσώρευση της αξιοπιστίας μεταφοράς και διανομής με τις υπηρεσίες παραγωγής). Μια άλλη πιθανή σύσταση για τις ρυθμιστικές αρχές είναι η απαίτηση από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να χρησιμοποιούν το λιγότερο δυνατό κόστος και μία τυποποιημένη μεθοδολογία που συγκρίνει την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας έναντι υφιστάμενων τεχνολογιών. Αυτό θα πρέπει να ισχύει για όλες τις διαδικασίες σχεδιασμού - συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού διανομής, του προγραμματισμού μεταφοράς και του προγραμματισμού πόρων.

Τα ρυθμιστικά πλαίσια για την αποθήκευση παρουσιάζουν θεμελιώδεις διαφορές ανάλογα με την ταξινόμησή τους ως προς τη ζήτηση ή την παραγωγή και ανάλογα με τους ενδιαφερόμενους φορείς επιτρέπεται να κατέχουν περιουσιακά στοιχεία αποθήκευσης. Η ρυθμιστική καινοτομία είναι απαραίτητη για την προσαρμογή μεγαλύτερων μεριδίων ενέργειας από ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται για αποθήκευση. Ένα συγκεκριμένο παράδειγμα είναι η Ιαπωνία, όπου ορισμένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας απαιτούν από τα μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά έργα να χρησιμοποιούν μπαταρίες για να καλύψουν τις απαιτήσεις συχνότητας του δικτύου και έτσι ελέγχουν την τροφοδότηση της ηλεκτρικής τους ενέργειας. Ένα σαφές παράδειγμα αυτού είναι το φωτοβολταϊκό έργο 38 μεγαβάτ (MW) Tomakomai που βρίσκεται στο βόρειο ιαπωνικό νησί Χοκάιντο.

Το φωτοβολταϊκό εργοστάσιο διαθέτει μια μπαταρία που ήταν μία από τις παγκοσμίως μεγαλύτερες κατά τη στιγμή της κατασκευής της το 2017: μια περίπου 20 MW/10 MWh μπαταρία ιόντων λιθίου. Ο μοναδικός σκοπός του συστήματος αποθήκευσης είναι η κάλυψη των απαιτήσεων συχνότητας της τοπικής εταιρείας παροχής ενέργειας, Hokkaido Electric Power Company.

### *Για την ερευνητική κοινότητα*

Μια βασική σύσταση για την ερευνητική κοινότητα είναι η ανάπτυξη και επικύρωση κατάλληλων εργαλείων και λεπτομερών μεθοδολογιών για τη διενέργεια αποτίμησης της αποθήκευσης. Οι στόχοι μπορεί να περιλαμβάνουν, για παράδειγμα, την αύξηση

της χρονικής ανάλυσης των εργαλείων (π.χ. από ωριαία σε υποωριαία), τη διασφάλιση της αποτύπωσης της χρονολογίας ή τον τρόπο με τον οποίο η αξία της αποθήκευσης μειώνεται με την αύξηση των ποσοτήτων αποθήκευσης. Επιπλέον, εξαιρετικά σημαντική είναι η μοντελοποίηση μελλοντικών σεναρίων και πιθανών τεχνικών και οικονομικών επιπτώσεων για την ενημέρωση των φορέων χάραξης πολιτικής και των ρυθμιστικών αρχών στη λήψη αποφάσεων.

#### **1.4.2 Πολιτικές και κανονισμοί για την υποστήριξη της οικονομικά αποδοτικής ανάπτυξης της αποθήκευσης**

Υπάρχουν δύο τρόποι για τη βελτίωση της οικονομικής σκοπιμότητας των έργων αποθήκευσης: α) με την αποζημίωση των προγραμματιστών του έργου με τη χρήση διαφόρων πολιτικών κινήτρων για να αντισταθμίσουν το κενό οικονομικής βιωσιμότητας, ή β) με τη βελτίωση των υφιστάμενων μηχανισμών της αγοράς για την αύξηση των χρηματικών οφελών που είναι διαθέσιμα για την αποθήκευση, προκειμένου να μειωθεί το χάσμα.

Κίνητρα πολιτικής: Τα κίνητρα πολιτικής για την κάλυψη της οικονομικής βιωσιμότητας των έργων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να είναι παρόμοια με εκείνα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη στήριξη των ΑΠΕ στα πρώτα στάδια της ανάπτυξής τους. Αυτά περιλαμβάνουν:

- **Δασμολόγια τροφοδότησης (ΔΤ)**: Για την ενθάρρυνση της ανάπτυξης των έργων ΑΠΕ, πολλές κυβερνήσεις καταβάλλουν μία σταθερή τιμή ανά kWh, ανεξάρτητα από τη χονδρική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Μία ΔΤ μπορεί επίσης να είναι ένα πολιτικό μέτρο για την παροχή κινήτρων για την ανάπτυξη αποθήκευσης για ενσωμάτωση των ΑΠΕ. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα συνδυασμένο περιουσιακό στοιχείο ΑΠΕ και αποθήκευσης πληρώνεται με μια σταθερή τιμή, ή με το ποσοστό τροφοδότησης, που αντικατοπτρίζει την υψηλότερη αξία που μπορεί να έχει ένα συνδυασμένο έργο ΑΠΕ και αποθήκευσης σε σύγκριση με ένα έργο ΑΠΕ μόνο.

- **Προσαυξήσεις τροφοδότησης (ΠΤ)**: Στο συγκεκριμένο σύστημα, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα συνδυασμένο σύστημα ΑΠΕ και αποθήκευσης πωλείται στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και προσφέρεται πριμοδότηση στους παραγωγούς, η οποία υπερβαίνει την τιμή της αγοράς. Η ΠΤ μπορεί να είναι είτε σταθερή (ανεξάρτητη από την τιμή της αγοράς) ή συρόμενη (μεταβαλλόμενη ανάλογα με την τιμή της αγοράς) και θα πρέπει να αντανakλά την αξία των υπηρεσιών που παρέχονται, εκτός από την ενέργεια.

- **Πληρωμές δυναμικότητας**: Περιοδικές πληρωμές στο έργο ιδιοκτήτη για τη συμβολή του στην επάρκεια του συστήματος (για παράδειγμα, με την αποφυγή της

ανάγκης για επενδύσεις σε σταθμούς αιχμής) υποστηρίζουν τη βιωσιμότητα του έργου με προβλέψιμη ροή εσόδων, ιδίως όταν η χονδρική ενέργεια και οι τιμές των επικουρικών υπηρεσιών είναι πολύ ευμετάβλητες για να κάνουν ένα έργο αποθήκευσης οικονομικά βιώσιμο. Για παράδειγμα, η Επιτροπή Δημόσιας Ωφέλειας της Καλιφόρνια απαιτεί από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να προμηθεύονται χωρητικότητες με μηνιαία πληρωμή κάτω των συμβολαίων, ώστε να διασφαλιστεί ότι υπάρχουν αρκετοί πόροι στην αγορά για λόγους ανταγωνιστικότητας και αξιοπιστίας.

- **Επιχορηγήσεις:** Οι επιχορηγήσεις χρησιμοποιούνται για τη μείωση του κόστους κεφαλαίου του περιουσιακού στοιχείου αποθήκευσης. Αυτό το μέτρο πολιτικής μπορεί να είναι ποσοστό του κόστους κεφαλαίου. Εκπτώσεις, όπως το πρόγραμμα κινήτρων αυτοπαραγωγής στην Καλιφόρνια, με έμφαση στην αποθήκευση πίσω από το μετρητή, είναι μια ευρέως εφαρμοσμένη μορφή επιχορήγησης.

- **Κίνητρα μείωσης της αιχμής:** Για τη μείωση των αιχμών ζήτησης, ορισμένες δικαιοδοσίες διαθέτουν προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση για την παροχή κινήτρων μείωσης του φορτίου. Η αποθήκευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μείωση του φορτίου κατά τις ώρες αιχμής του συστήματος. Ο ιδιοκτήτης του έργου λαμβάνει μόνο τα έσοδα από τη μείωση της αιχμής, μόνο όταν το περιουσιακό στοιχείο αποθήκευσης μειώνει το φορτίο κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής του συστήματος. Στην περίπτωση που ένα τιμολόγιο καταναλωτή συνδέεται με τη μέγιστη ζήτηση, η αποθήκευση μπορεί να παρέχει σημαντική εξοικονόμηση, μέσω της μείωσης της χρέωσης δυναμικότητας του τιμολογίου.

- **Φορολογικές πιστώσεις επενδύσεων(ΦΠΕ):** Εάν το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση του στοιχείου αποθήκευσης προέρχεται από ΑΠΕ, το έργο μπορεί να καταστεί επιλέξιμο για ΦΠΕ. Πολλές δομές ΦΠΕ έχουν όριο φόρτισης πάνω από το οποίο το έργο μπορεί να λάβει ΦΠΕ. Για παράδειγμα, εάν το όριο φόρτισης είναι 80%, το έργο είναι επιλέξιμο για ΦΠΕ μόνο όταν πάνω από το 80% της ηλεκτρικής ενέργειας φόρτισης που προέρχεται από ΑΠΕ. Ένα ΦΠΕ ορίζεται ως ένα ποσοστό συνολικής κεφαλαιουχικής δαπάνης εάν το στοιχείο αποθήκευσης φορτίζει αποκλειστικά από ΑΠΕ. Αν είναι μικρότερο από το 100%, αλλά μεγαλύτερο από το κατώτατο ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από ΑΠΕ, οι ΦΠΕ αναλογούν βάσει του ποσοστού φόρτισης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα οφέλη των ΦΠΕ κατανέμονται συνήθως σε μια σειρά ετών.

**Επιταχυνόμενη απόσβεση:** Αυτό το μέτρο πολιτικής επιτρέπει την απόσβεση του περιουσιακού στοιχείου αποθήκευσης σε επιταχυνόμενο συντελεστή για την παροχή φορολογικών πλεονεκτημάτων. Πολλές τέτοιες πολιτικές κατασκευές έχουν καθορισμένο συντελεστή απόσβεσης, ή άλλους τυποποιημένους συντελεστές, όπως η διπλή απόσβεση ή ένα τροποποιημένο σύστημα επιταχυνόμενης ανάκτησης κόστους.

Μηχανισμοί της αγοράς: Υφιστάμενες ρυθμίσεις της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας έχουν συνήθως σχεδιαστεί για την εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης, διαχωρίζοντας τις γεννήτριες και το φορτίο ως διακριτές οντότητες. Στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, οι ρόλοι της παραγωγής και της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας αλληλεπικαλύπτονται, καθιστώντας δύσκολη την ένταξη της αποθήκευσης στα υφιστάμενα πλαίσια της αγοράς, εκτός εάν αντιμετωπίζεται διαφορετικά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, συγκεκριμένα ως φορτίο κατά τη φόρτιση και ως γεννήτρια κατά την εκφόρτιση. Κατά συνέπεια, τα ρυθμιστικά και αγορανομικά εμπόδια στην πλήρη αξιοποίηση της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας παραμένουν σε πολλές αγορές. Επειδή οι κανόνες συμμετοχής και οι μηχανισμοί της αγοράς διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, οι λύσεις που ταιριάζουν σε κάθε τοπική κατάσταση είναι δύσκολο να βρεθούν. Ωστόσο, η τροποποίηση κανόνων ώστε να επιτραπεί στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας να συμμετέχει πλήρως στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για τη συνειδητοποίηση των οφελών, που μπορεί να προσφέρει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, και για την εξασφάλιση επαρκών χρηματικών εσόδων, ώστε να είναι βιώσιμα τα έργα αποθήκευσης.

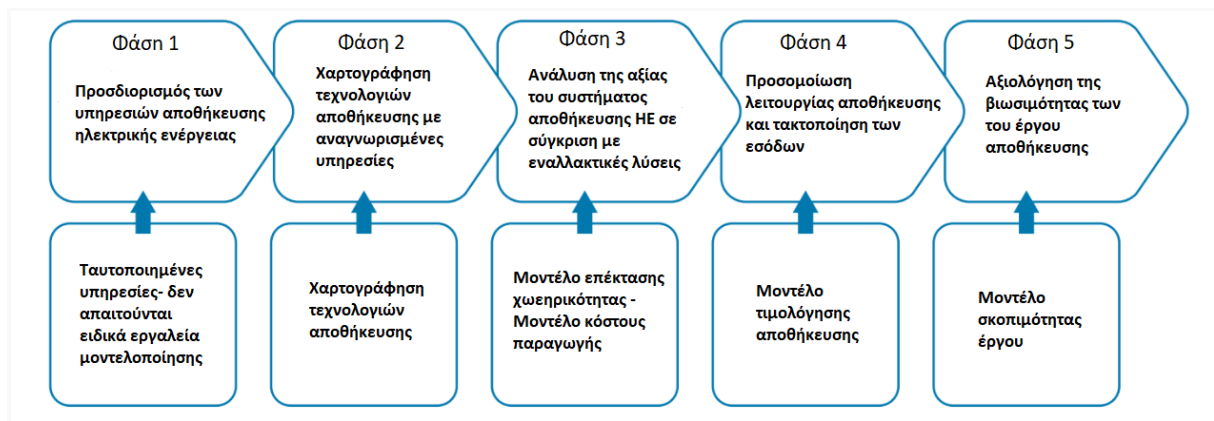
Σε μια απόφαση-ορόσημο τον Φεβρουάριο του 2018, η Ομοσπονδιακή Ρυθμιστική Επιτροπή Ενέργειας (FERC) στις Ηνωμένες Πολιτείες απαίτησε από τους διαχειριστές περιφερειακών συστημάτων δικτύου στο πλαίσιο της δικαιοδοσίας τους να αναθεωρήσουν τα τιμολόγια τους, ώστε να θεσπίσουν μηχανισμούς που αναγνωρίζουν τα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να διευκολυνθεί η συμμετοχή της στις αγορές.

Για να συμμορφωθεί, ο πόρος αποθήκευσης πρέπει:

- Να επιτρέπεται να παρέχει όλη τη δυναμικότητα, την ενέργεια και τις επικουρικές υπηρεσίες που είναι τεχνικά ικανός να παρέχει.
- Να μπορεί να καθορίζει την τιμή εκκαθάρισης της χονδρικής αγοράς.
- Να διαθέτει κατάλληλα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά.
- Να είναι σε θέση να διαχειρίζεται την κατάσταση φόρτισης.

# 2ο ΜΕΡΟΣ: Χρήση μοντέλων συστημάτων ισχύος για τον προσδιορισμό της αξίας και της βιωσιμότητας του έργου αποθήκευσης

## 2.1 Εισαγωγή



**Σχ. 2-1: Φάσεις του Πλαισίου και τύποι μοντέλων που χρησιμοποιούνται**

Το μέρος 2 της παρούσας έκθεσης έχει ως στόχο να υποστηρίξει τους αναλυτές να εφαρμόσουν το πλαίσιο αποτίμησης της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Το Πλαίσιο έχει μια σειρά από φάσεις που απαιτούν την εξειδικευμένη χρήση προηγμένων μοντέλων βελτιστοποίησης. Οι ακόλουθες ενότητες εξηγούν ποιοι τύποι μοντέλων απαιτούνται και πώς οι ενδιαφερόμενοι φορείς και αναλυτές μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν για την ολοκλήρωση της ανάλυσης.

Η φάση 1 του πλαισίου προσδιορίζει τις υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας για την ενσωμάτωση περισσότερης ανανεώσιμης ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Δεν υπάρχουν συγκεκριμένα εργαλεία μοντελοποίησης που να απαιτούνται για τη φάση αυτή.

Η φάση 2 απαιτεί εισροές από εμπειρογνώμονες σε θέματα τεχνολογίας αποθήκευσης για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας των διαφόρων τεχνολογιών σε διάφορες χώρες. Δεν απαιτούνται συγκεκριμένοι τύποι μοντέλων, αντίθετως, οι πληροφορίες μπορούν να συγκεντρωθούν σε ένα λογιστικό φύλλο.

Στη φάση 3 χρησιμοποιείται ένα μοντέλο επέκτασης της δυναμικότητας για τη βελτιστοποίηση της αποθήκευσης και τυχόν εναλλακτικών τεχνολογιών. Η φάση αυτή

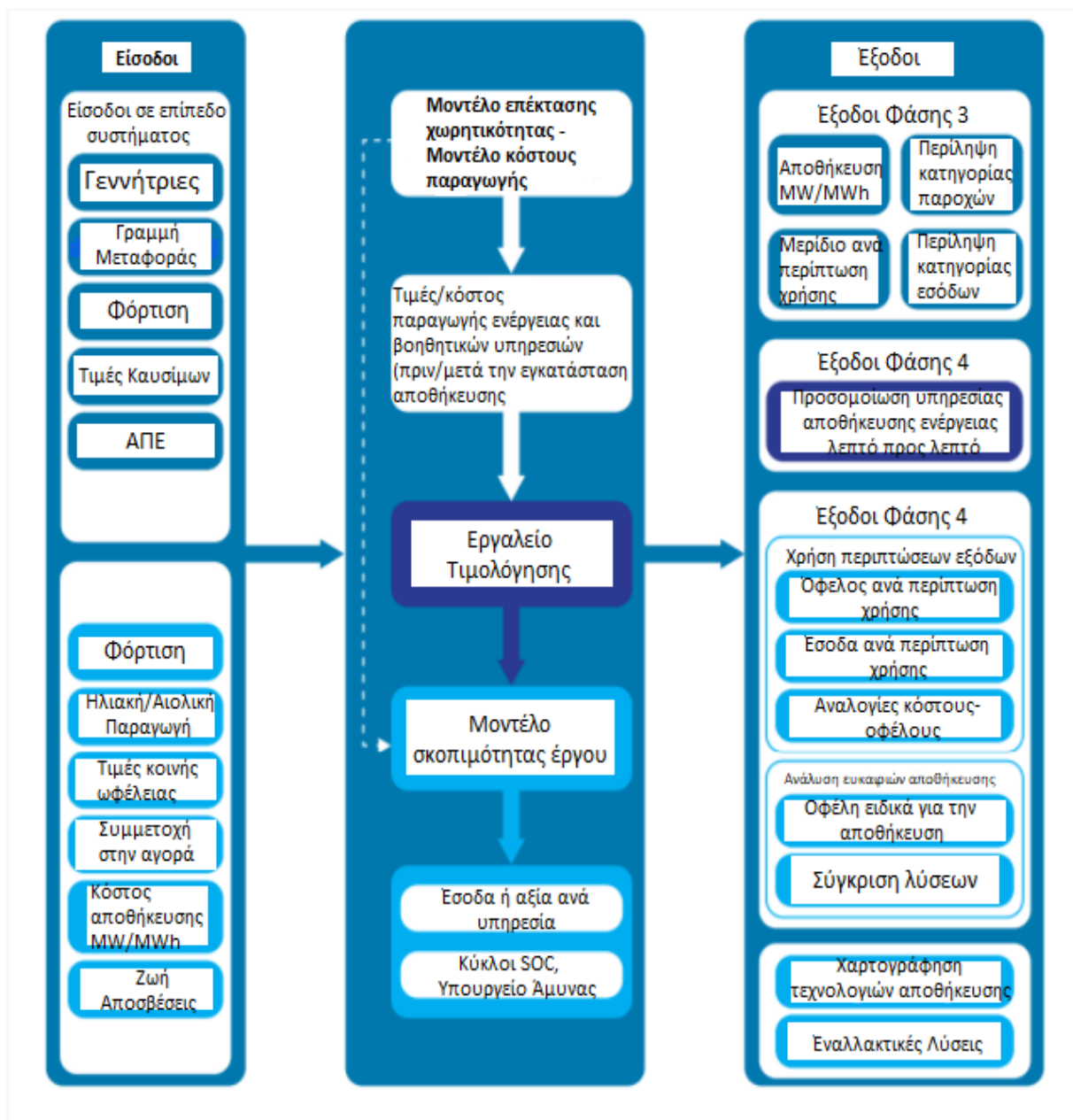
απαιτεί στη συνέχεια πολλαπλές επαναλήψεις για την αξιολόγηση και βελτιστοποίηση των πλεονεκτημάτων της αποθήκευσης στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη φάση 4 χρησιμοποιείται ένα εργαλείο κατανομής αποθήκευσης με βάση τις τιμές για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας της με στόχο την επίτευξη των μέγιστων πιθανών οφελών. Ως έξοδος από το εργαλείο κατανομής, η ωριαία (ή υποωριαία αν τα δεδομένα είναι διαθέσιμα) λειτουργία της αποθήκευσης θα πρέπει να είναι προσβάσιμη για περαιτέρω ανάλυση. Το εργαλείο αυτό είναι χρήσιμο κυρίως για προγραμματιστές έργων σε απελευθερωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας με αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Σε άλλες περιπτώσεις τα οφέλη της αποθήκευσης μπορούν να αντληθούν από το μοντέλο κόστους παραγωγής στη φάση 3.

Στη φάση 5 θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο σκοπιμότητας έργου για τη μελέτη του κόστους και των χρηματικών εσόδων από την αποθήκευση για τους ιδιοκτήτες των έργων. Το μοντέλο αυτό θα πρέπει να βοηθήσει στον προσδιορισμό των περιπτώσεων, όπου τα οφέλη για το σύστημα από ένα συγκεκριμένο βέργο αποθήκευσης υπερβαίνουν το κόστος.

Σε αυτές τις οικονομικά αποδοτικές περιπτώσεις, μια ποικιλία ρυθμιστικών επιλογών θα πρέπει να εξεταστεί για να διασφαλιστεί ότι αναπτύσσονται επικερδή έργα. Οι φορείς χάραξης πολιτικής και οι ρυθμιστικές αρχές μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης για να επιβεβαιώσουν ότι αξίζει τον κόπο να υλοποιηθούν σε επίπεδο συστήματος να αποζημιώνονται επαρκώς σε επίπεδο έργου για να προχωρήσουν.

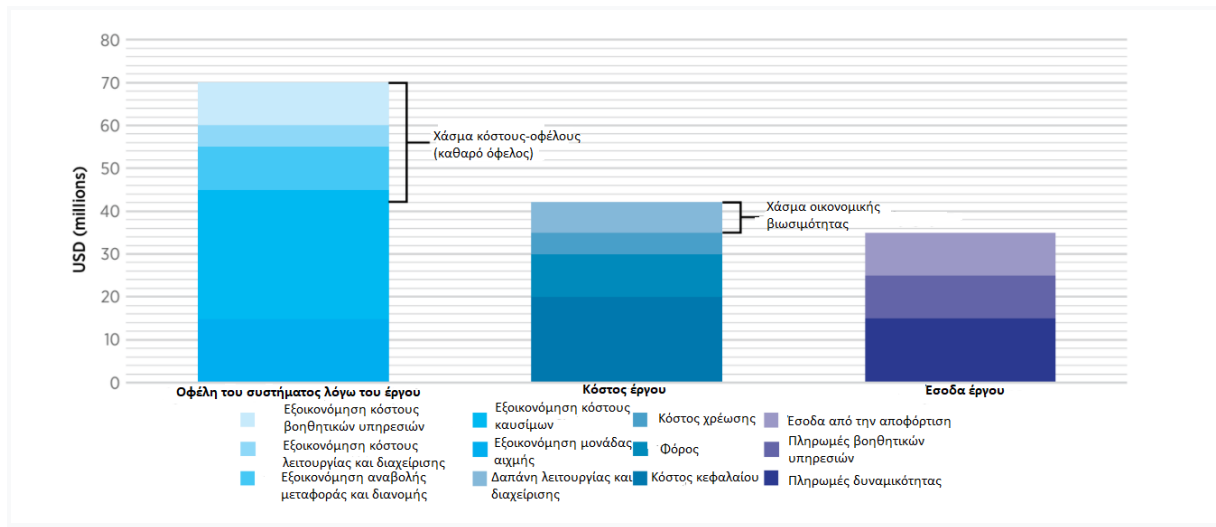
Η ροή πληροφοριών στις φάσεις 3-5 του πλαισίου (αυτές που απαιτούν μοντελοποίηση), καθώς και εκείνη μεταξύ των φάσεων, παρουσιάζεται παρακάτω (Σχήμα 2.2)



Σχ. 2-2: Ροή πληροφοριών μεταξύ των φάσεων του πλαισίου βάσει μοντέλων (φάσεις 3-5)

Ακολουθεί ένα παράδειγμα του αποτελέσματος ενός έργου μοντέλου σκοπιμότητας στη φάση 5 (Σχήμα 2-3). Σε αυτό το παράδειγμα, αν και τα οφέλη σε επίπεδο συστήματος υπερτερούν του κόστους αποθήκευσης, τα οφέλη που μπορούν να αποτιμηθούν σε χρήμα είναι μικρότερα από το κόστος, καθιστώντας το έργο οικονομικά ανέφικτο για το φορέα ανάπτυξης του έργου/ιδιοκτήτη. Η διαφορά μεταξύ του κόστους και του μετρήσιμου οφέλους, ή το κενό οικονομικής βιωσιμότητας, εάν είναι μεγαλύτερο του μηδενός, μπορεί να οφείλεται σε υψηλό κόστος κεφαλαίου αποθήκευσης ή σε δυσμενείς μηχανισμούς της αγοράς. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η αντιστάθμιση της αποθήκευσης για την εξισορρόπηση της ανάγκης

για επένδυση κεφαλαίου σε μονάδα αιχμής, θα ήταν αρκετή για να καταστήσει τα έργα αποθήκευσης βιώσιμα.



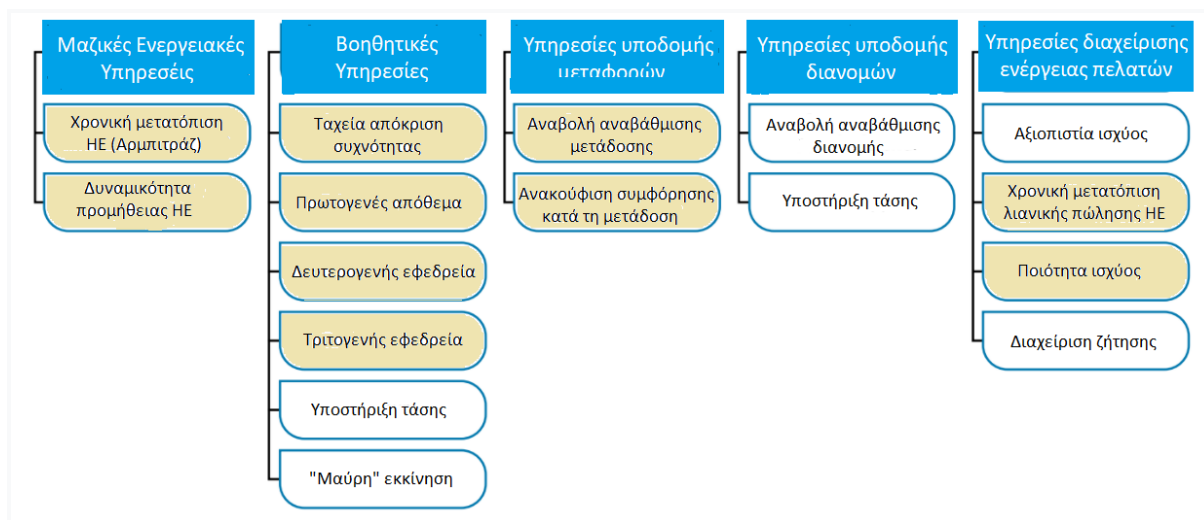
**Σχ.2-3: Κενό οικονομικής βιωσιμότητας στην ανάλυση σκοπιμότητας έργου**

## 2.2 Μεθοδολογία

### 2.2.1 Φάση 1: Προσδιορισμός υπηρεσιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, όλες οι υπηρεσίες που παρέχει η αποθήκευση για την υποστήριξη της ενσωμάτωσης της ανανεώσιμης ενέργειας προσδιορίζονται στη φάση 1. Το σχήμα 2-4 δείχνει την ποικιλία των υπηρεσιών που έχουν προσδιοριστεί από προηγούμενες αναλύσεις, με τα κίτρινα πλαίσια να αντιπροσωπεύουν τις υπηρεσίες που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν στο παρόν πλαίσιο. Για την παρούσα φάση, δεν απαιτούνται ειδικά εργαλεία μοντελοποίησης.





**Σχ. 2-4: Ποσοτικά μετρήσιμες υπηρεσίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας**

### 2.2.2 Φάση 2: Χαρτογράφηση της τεχνολογίας αποθήκευσης

Στη φάση 2 του Πλαισίου, θα γίνει επισκόπηση της καταλληλότητας των διαφόρων τεχνολογιών αποθήκευσης για διάφορες εφαρμογές που θα πρέπει να καθοριστούν. Η μέθοδος που περιγράφεται κατωτέρω κατατάσσει τις τεχνολογίες αποθήκευσης με βάση διάφορες τεχνικές και εμπορικές παραμέτρους για κάθε υπηρεσία.

#### Μεθοδολογία

##### **Βήμα 1: Απονομή ανταγωνιστικών βαθμολογιών στις τεχνολογίες**

Οι προτεινόμενες τεχνολογίες αποθήκευσης απαριθμούνται με βάση διάφορες τεχνικές και εμπορικές παραμέτρους (Σχήμα 2-5):

- Τεχνικές παράμετροι: Απόδοση AC-AC, ποσοστό φόρτισης, ρυθμός εκφόρτισης, ενεργειακή πυκνότητα, πυκνότητα ισχύος, ελάχιστος ρυθμός C-rate (Ο συντελεστής C είναι ένας δείκτης του λόγου μεταξύ της ονομαστικής ισχύος και της ονομαστικής ενέργειας μιας συσκευής αποθήκευσης. 1C σημαίνει ότι σε πλήρη ισχύ, η αποθήκευση θα εξαντληθεί σε 1 ώρα. Ρυθμός 2C = 30 λεπτά για την πλήρη αποφόρτιση της συσκευής, ενώ C/2 = 2 ώρες για πλήρη αποφόρτιση κ.ο.κ.), μέγιστος ρυθμός C, βάθος εκφόρτισης (DoD), μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας, και ασφάλεια όπως υποδεικνύεται κατά περίπτωση από τη θερμική σταθερότητα.

- Εμπορικές παράμετροι: κεφαλαιουχικές δαπάνες αποθήκευσης (CAPEX), κεφάλαιο συστήματος μετατροπής ισχύος (PCS CAPEX), έτη που απαιτούνται για την

ανάπτυξη και την κατασκευή του έργου, λειτουργικό κόστος, διάρκεια ζωής, και ωριμότητα της τεχνολογίας.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	VRLA	Στυμπισμένο Υδρογόνο	CAES	Σφόδουλοι	NMC	NCA	LFP	LTO	NaS	NaNiCl2 (Zebra)	ZBB	VRB
<b>Τεχνικές</b>												
Αποτελεσματικότητα (AC-to-AC (%))	81%	80%	64%	85%	92%	92%	86%	96%	81%	85%	72%	72%
C-rate (min)	C/10	C/20	C/10	1C	C/4	C/4	C/4	C/4	C/8	C/8	C/8	C/8
C-rate (max)	2C	C/6	C/4	4C	2C	1C	2C	10C	C/6	C/6	C/4	C/4
DOD (%)	50%	90%	40%	85%	90%	90%	90%	95%	100%	100%	100%	100%
Μέγιστη Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	50	NA	NA	NA	55	55	65	65	NA	NA	50	50
Ασφάλεια (Θερμική Σταθερότητα)	High	NA	NA	NA	Medium	Low	High	High	Medium	Medium	Medium	High
<b>Εμπορικές</b>												
Αποθήκευση CAPEX (\$/kWh)	226	21	48	2 656	339	284	466	380	436	323	696	268
Ανάπτυξη και Κατασκευή (Χρόνια)	0.25	5	3	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1
Κόστος Λειτουργίας (\$/kWh)	3	2	1	80	8	8	8	6	8	8	15	11
Ενεργειακή πυκνότητα (Wh/L)	75	1	4	110	470	410	410	410	220	215	45	42.5
Πυκνότητα Ισχύος (W/L)	355	NA	NA	7 500	5 050	5 050	5 050	5 050	140	210	13	2
Ζωή (πλήρεις ισοδύναμοι κύκλοι)	500	20 000	20 000	>100 000	3 500	1 500	3 500	10 000	5 000	3 500	4 000	10 000
Τεχνολογική Ωριμότητα	M	M	C	EC	C	C	C	EC	C	D	EC	EC

**Σχ. 2-5: Δείγμα προεπιλεγμένων τιμών για την αντιστοίχιση τεχνολογίας αποθήκευσης**

Ακολουθεί ένα δείγμα άσκησης για την απόδοση ανταγωνιστικών τιμών:

Με βάση τις τιμές των τεχνικών και εμπορικών παραμέτρων, μπορούν να αποδοθούν ανταγωνιστικές βαθμολογίες από 1 έως 5 σε κάθε παράμετρο, με το 5 να αντιπροσωπεύει την καλύτερη βαθμολογία και το 1 να αντιπροσωπεύει τη χειρότερη βαθμολογία (Σχήμα 2-6). Για ορισμένες παραμέτρους, όπως η αποδοτικότητα, το DoD, το λειτουργικό κόστος και η διάρκεια ζωής, δεν είναι δύσκολο να αναγνωριστούν. Έτσι, ένα 5 μπορεί να απονεμηθεί στην τεχνολογία που είναι πιο αποδοτική ή έχει τον βαθύτερο κύκλο DoD, το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος ή τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Για άλλες παραμέτρους:

- Οι βαθμολογίες για το C-Rate βασίζονται στη μέγιστη απόδοση ισχύος που είναι δυνατή για μία τεχνολογία. Για παράδειγμα, μία μπαταρία LFP 10 MWh μπορεί να παράγει ισχύ 20 MW (=2C) με κατάλληλο σύστημα μετατροπής ισχύος, ενώ μια μπαταρία συμπιεσμένου αέρα 10 MWh θα σχεδιαστεί πιθανότατα για χρόνο εκφόρτισης 4 ή περισσότερων ωρών που αντιστοιχεί σε C/4. Η βαθμολογία C-Rate για την LFP είναι επομένως υψηλότερη.

- Βαθμολογία για το αρχικό κόστος κεφαλαίου, τη διάρκεια ανάπτυξης και κατασκευής, τον απαιτούμενο χώρο και την ωριμότητα των τεχνολογιών. Αυτοί οι παράγοντες μπορεί να αλλάζουν από χώρα σε χώρα και οι βαθμολογίες θα πρέπει επομένως να προσαρμόζονται ανάλογα με την περίπτωση.

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ	5	4	3	2	1
<b>Τεχνική</b>					
Αποτελεσματικότητα	> 95%	86.25-95%	77.5-86.25%	68.75-77.5%	< 60%
Δείκτης C	1C και πάνω	C/2-1C	C/4-C/2	C/8-C/4	C/8 και κάτω
DoD	> 95%	86.25-95%	77.5-86.25%	68.75-77.5%	< 60%
<b>Εμπορική</b>					
Αρχικό Κόστος Κεφαλαίου	< USD100/kWh	USD100-325/kWh	USD325-550/kWh	USD550-775 / kWh	> USD1 000/kWh
Ανάπτυξη και Κατασκευή	6 μήνες και λιγότερο	6-16.5	16.5-27	27-37,5 μήνες	4 χρόνια και περισσότερο
Λειτουργικό Κόστος	Χαμηλότερο όλων των τεχνολογιών				Υψηλότερο όλων των τεχνολογιών
Απαιτούμενος Χώρος	> 500 Wh/kg	382.5-500 Wh/kg	265-382.5 Wh/kg	147.5-30 Wh/kg	< 30 Wh/kg
Διάρκεια Ζωής	Διαρκέστερο όλων των τεχνολογιών				Βραχύτερο όλων των τεχνολογιών
Τεχνολογική Ωριμότητα	Ωριμο	Εμπορευματοποίηση	Πρώιμη εμπορευματοποίηση	Επίδειξη	Πρωτότυπο

Σχ. 2-6: Δείγμα πίνακα αναζήτησης ανταγωνιστικής βαθμολογίας

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	VRLA	Συμπιεσμένο Υδρογόνο	CAES	Σφόδουλο	NMC	NCA	LFP	LTO	NaS	NaNiCl2 (Zebra)	ZBB	VRB
<b>Τεχνικές</b>												
Αποτελεσματικότητα	3.4	3.2	1	3.7	4.6	4.6	3.9	5	3.2	3.7	2.1	2.1
C-rate	5	2	2	5	5	4	5	5	2	2	2	2
DoD	1	3	3	4	4	3	4	4	3	3	5	5
<b>Εμπορικές</b>												
Αρχικό Κόστος Κεφαλαίου	4.7	4.4	4.3	2	3.8	4.1	3.4	2	3.5	3.9	2.3	3.2
Ανάπτυξη και Κατασκευή	5	1	2.1	4.7	5	5	5	4.7	4.7	4.7	4.2	4.2
Λειτουργικό κόστος	4.9	4.9	5	1	4.7	4.7	4.7	4.7	4.6	4.6	4	4
Απαιτούμενος Χώρος	1.5	1	1	2.3	3.3	3.3	3	3.3	1.3	1.2	1.2	1
Διάρκεια Ζωής	1.1	5	5	5	1.3	1	1.4	3.6	2.1	1.6	3.6	4.4
Τεχνολογική Ωριμότητα	5	5	4	3	4	4	4	3	4	2	1	2

Σχ. 2-7: Παράδειγμα ανταγωνιστικής βαθμολογίας για τεχνολογίες αποθήκευσης

## Βήμα 2: Εκχώρηση συντελεστών βαρύτητας στις παραμέτρους των εφαρμογών

Στη συνέχεια, εφαρμόζεται ένα σύνολο συντελεστών στάθμισης σε κάθε παράμετρο στις διάφορες εφαρμογές. Ανάλογα με την εφαρμογή, ορισμένες παράμετροι είναι πιο σημαντικές από άλλες. Το σχήμα 2-8 δείχνει ένα ενδεικτικό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο εξάγεται ο πίνακας των σταθμίσεων για κάθε παράμετρο. Όπως αναφέρθηκε, αυτές οι σταθμίσεις είναι μόνο ενδεικτικές και δεν προορίζονται για αδιαμφισβήτητη χρήση σε ασκήσεις αποτίμησης της αποθήκευσης. **Για κάθε άσκηση αποτίμησης οι συντελεστές στάθμισης θα πρέπει να προσαρμόζονται με βάση τα συγκεκριμένα έργα, τις τεχνολογίες, το ρυθμιστικό πλαίσιο και τις ρυθμίσεις της αγοράς.**

	Ανανεώσιμη μετατόπιση	Ανανεώσιμη εξομάλυνση	Ευελξία ράμπας	Βοηθητικές Υπηρεσίες	Αναβολή μεταφοράς και διανομής	Διαχείριση αέργου ισχύος	Διαχείριση ισχύος πίσω από τον μετρητή
<b>Τεχνικά</b>							
Αποτελεσματικότητα	10%	10%	10%	10%	5%	10%	10%
C-rate	0%	15%	0%	15%	0%	0%	5%
Χρησιμοποιούμενο SOC	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
<b>Εμπορικά</b>							
Αρχικό κόστος κεφαλαίου	40%	30%	40%	30%	30%	30%	30%
Ανάπτυξη και Κατασκευή	5%	5%	5%	5%	20%	5%	5%
Λειτουργικό κόστος	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Απαιτούμενος Χώρος	5%	0%	5%	0%	10%	15%	15%
Διάρκεια Ζωής	10%	10%	10%	10%	5%	10%	5%
Τεχνολογική Ωριμότητα	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Σχ. 2-8: Παράδειγμα ενδεικτικών σταθμίσεων παραμέτρων για διάφορες εφαρμογές

## Βήμα 3: Εφαρμογή του πίνακα καταλληλότητας

Οι ανταγωνιστικές βαθμολογίες για τις διάφορες τεχνολογίες και οι συντελεστές βαρύτητας για τις εφαρμογές παρέχουν μια συνολική εικόνα για το πόσο κατάλληλη είναι κάθε τεχνολογία σε κάθε εφαρμογή. Ωστόσο, ο συνδυασμός των βαθμολογιών και των σταθμίσεων των παραμέτρων είναι συχνά ανεπαρκής, επειδή μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τη συγκεκριμένη περίπτωση.

Για να αποφευχθεί η πολυπλοκότητα της παροχής ανταγωνιστικών βαθμολογιών και σταθμίσεων για κάθε τεχνολογία και κάθε περίπτωση, χρησιμοποιείται ο πίνακας

καταλληλότητας. Ο πίνακας καταλληλότητας παρέχει τη δυνατότητα περαιτέρω προσαρμογής της σταθμισμένης βαθμολογίας. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες μολύβδου είναι ανταγωνιστικές ως προς το κόστος, αλλά είναι λιγότερο κατάλληλες για χρήσεις με υψηλό συντελεστή C, όπως η εξομάλυνση της ανανεώσιμης ενέργειας ή η πρωτογενής/δευτερογενής εφεδρεία. Ενώ τεχνικά μια μπαταρία μολύβδου σε σύστημα μπαταριών οξέος μπορεί να σχεδιαστεί για να παρέχει εξομάλυνση της ανανεώσιμης ενέργειας ή πρωτογενή/δευτερογενή εφεδρεία, η ωφέλιμη χρήση του SOC αποτελεί περιορισμό, εκτός εάν το κόστος αυξηθεί σημαντικά.

Ένα δείγμα προεπιλεγμένων τιμών σε έναν πίνακα καταλληλότητας παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-9.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	VRLA	Συμπίεσιμένο Υδρογόνο	CAES	Σφόνδυλοι	NMC	NCA	LFP	LTO	NaS	NaNiCl2 (Zebra)	ZBB	VRB
Ανανεώσιμη Μετατόπιση	● 0.8	● 1.0	● 1.0	● 0.3	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0
Ανανεώσιμη Εξομάλυνση	● 0.8	● 0.3	● 0.3	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 0.3	● 0.3	● 0.3	● 0.3
Ευελιξία ράμπας	● 0.8	● 1.0	● 1.0	● 0.5	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0
Βοηθητικές Υπηρεσίες	● 0.5	● 0.3	● 0.3	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 0.3	● 0.3	● 0.3	● 0.3
Αναβολή μεταφοράς και Διανομής	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 0.3	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0
Διαχείριση Άεργου Ισχύος	● 1.0	● 0.3	● 0.3	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 0.3	● 0.3	● 0.3	● 0.3
Διαχείριση Ισχύος πίσω από το μετρητή	● 1.0	○ 0.0	○ 0.0	● 0.3	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0

Σχ. 2-9: Παράδειγμα πίνακα καταλληλότητας για διάφορες εφαρμογές

### Κατάταξη εφαρμογών

Ο σταθμισμένος μέσος όρος των ανταγωνιστικών βαθμολογιών για κάθε τεχνολογία και για κάθε περίπτωση υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τις ανταγωνιστικές βαθμολογίες, τους πίνακες στάθμισης και καταλληλότητας στα βήματα 1 έως 3. Οι τεχνολογίες κατατάσσονται στη συνέχεια με βάση τη σταθμισμένη μέση βαθμολογία τους για μια δεδομένη περίπτωση, με 1 να είναι η καταλληλότερη για μια συγκεκριμένη εφαρμογή και 10 η λιγότερο κατάλληλη. Οι κατατάξεις μπορούν να παρουσιαστούν ως χάρτης του πόσο κατάλληλη είναι κάθε τεχνολογία για κάθε περίπτωση (Σχήμα 2-10/2-11). Το πράσινο χρώμα υποδηλώνει την καταλληλότερη τεχνολογία, ενώ το κόκκινο χρώμα δείχνει τις λιγότερο κατάλληλες. Η κορυφαία τεχνολογία στην κατάταξη χρησιμοποιείται στην επόμενη φάση ανάλυσης σκοπιμότητας του Πλαισίου. Σημειώνεται ότι οι τιμές σε αυτό το τμήμα είναι καθαρά ενδεικτικές και πρέπει να προσαρμόζονται κατά περίπτωση κατά την εκτέλεση της ανάλυσης ανάλογα με το σύστημα, τις τεχνολογίες και άλλες ειδικές συνθήκες.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	VRLA	Συμπιεσμένο υδρογόνο	CAES	Σφόνδυλοι	NMC	NCA	LFP	LTO	NaS	NaNiCl2 (Zebra)	ZBB	VRB
Ανανεώσιμη Μετατόπιση	2.81	3.97	3.68	0.71	3.80	3.79	3.56	3.23	3.39	3.35	2.76	3.29
Ανανεώσιμη Εξομάλυνση	2.96	0.95	0.87	3.26	4.00	3.81	3.82	3.62	0.82	0.80	0.69	0.81
Ευελξία ούλιπας	2.81	3.97	3.68	1.41	3.80	3.79	3.56	3.23	3.39	3.35	2.76	3.29
Βοηθητικές Υπηρεσίες	1.98	0.95	0.87	3.26	4.00	3.81	3.82	3.62	0.82	0.80	0.69	0.81
Αναβολή Μεταφοράς και Διανομής	3.88	3.32	3.31	0.75	4.04	4.01	3.86	3.47	3.55	3.46	2.94	3.33
Διαχείριση Άεργου Ισχύος	3.43	0.91	0.84	2.85	3.75	3.71	3.52	3.36	0.79	0.77	0.66	0.77
Διαχείριση Ισχύος πίσω από το μετρητή	3.62	-	-	0.71	3.93	3.86	3.70	3.43	3.17	3.10	2.57	2.95

**Σχ. 2-10: Παράδειγμα σταθμισμένης βαθμολογίας**

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	VRLA	Συμπιεσμένο υδρογόνο	CAES	Σφόνδυλοι	NMC	NCA	LFP	LTO	NaS	NaNiCl2 (Zebra)	ZBB	VRB
Ανανεώσιμη Μετατόπιση	10	1	4	12	2	3	5	9	6	7	11	8
Ανανεώσιμη Εξομάλυνση	6	7	8	5	1	3	2	4	9	11	12	10
Ευελξία Ράμπας	10	1	4	12	2	3	5	9	6	7	11	8
Βοηθητικές Υπηρεσίες	6	7	8	5	1	3	2	4	9	11	12	10
Αναβολή Μεταφοράς και Διανομής	3	9	10	12	1	2	4	6	5	7	11	8
Διαχείριση Άεργου Ισχύος	4	7	8	6	1	2	3	5	9	10	12	11
Διαχείριση Ισχύος πίσω από το μετρητή	4	11	11	10	1	2	3	5	6	7	9	8

**Σχ. 2-11: Παράδειγμα κατάταξης εφαρμογών**

### 2.2.3 Φάση 3: Ανάλυση της αξίας του συστήματος

Η επόμενη φάση του Πλαισίου είναι η διεξαγωγή μιας ανάλυσης σε επίπεδο συστήματος για τον υπολογισμό του συνολικού οικονομικού οφέλους της οικοδόμησης περιουσιακών στοιχείων αποθήκευσης σε ένα δεδομένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Το βασικό σύστημα κατασκευάζεται με την επιλογή ενός αρχικού συστήματος, είτε πρόκειται για ένα υφιστάμενο σύστημα ή ένα μελλοντικό σχέδιο. Αυτό θα είναι το σύστημα αναφοράς για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων ανάπτυξης της αποθήκευσης και για τη μείωση του συνολικού κόστους. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια είσοδος σε αυτό το είδος ανάλυσης μαζί με άλλες (όπως τα καύσιμα και το κόστος επένδυσης), που απαιτούνται για την αξιολόγηση του συνολικού κόστους του σχεδίου. Εάν η ανάλυση αποσκοπεί στην εκτίμηση της αξίας της αποθήκευσης στην παρούσα χρονική στιγμή, δίνεται η τρέχουσα ζήτηση. Εναλλακτικά, μπορεί να ακολουθηθεί η ίδια προσέγγιση για την εκτίμηση των μακροπρόθεσμων οφελών της αποθήκευσης με την παροχή κάποιου μελλοντικού επιπέδου ζήτησης (είτε υποτιθέμενο είτε συναγόμενο από ένα μοντέλο από πάνω προς τα κάτω ή από κάτω προς τα πάνω, τροφοδοτούμενο με σχετικά δεδομένα και παραδοχές), αναπτύσσοντας ουσιαστικά ένα μελλοντικό μακροπρόθεσμο σενάριο. Η

ανάλυση θα υπολογίσει στη συνέχεια τη βέλτιστη ποσότητα που πρέπει να κατασκευαστεί με βάση ένα συνδυασμό της βελτιστοποίησης του ελάχιστου κόστους επέκτασης της δυναμικότητας και της μοντελοποίησης του κόστους παραγωγής.

Σε αυτόνομη λειτουργία, μια μονάδα αποθήκευσης θα μπορούσε να είναι (για παράδειγμα) ένα περιουσιακό στοιχείο που ανήκει στη ΔΕΗ (σε ρυθμιζόμενα περιβάλλοντα) ή να λειτουργεί ανεξάρτητα υπό ένα συγκεκριμένο πλαίσιο της αγοράς. Στην πρώτη περίπτωση, η αποθήκευση προσφέρει ένα σύστημα υπηρεσιών σε ολόκληρη την υπηρεσία κοινής ωφέλειας και το κόστος κεφαλαιουχικών δαπανών της αποθήκευσης θα πρέπει να συγκριθεί με τα οφέλη από την αποθήκευση σε επίπεδο κοινής ωφέλειας.

Εάν υπάρχει καθαρό όφελος για την υπηρεσία κοινής ωφέλειας, τότε η επένδυση στην αποθήκευση έχει οικονομικό νόημα για την επιχείρηση κοινής ωφέλειας και δε χρειάζεται να εφαρμοστεί η φάση 4 του πλαισίου.

Στην περίπτωση ενός ανεξάρτητου παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας, η φάση 4 του πλαισίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί εάν ένας ανεξάρτητος φορέας εκμετάλλευσης θα μπορούσε να αποκομίσει κέρδος ανεξάρτητα από τη λειτουργία της αποθήκευσης. Ομοίως, σε ένα περιβάλλον αγοράς, τα οφέλη της αποθήκευσης σε επίπεδο συστήματος πρέπει να συγκριθούν με τις πιθανές ροές εσόδων που μπορεί να προσφέρει η αγορά. Η σύγκριση των δύο περιπτώσεων δεν αρκεί για να συμπεράνουμε αν η επένδυση στην αποθήκευση έχει νόημα. Η οικονομική βιωσιμότητα ενός έργου εξαρτάται από την ανάλυση αποτίμησης του έργου που συγκρίνει τις κεφαλαιουχικές δαπάνες και τις λειτουργικές δαπάνες με τα έσοδα.

Μια περαιτέρω σύγκριση με τα οφέλη σε επίπεδο συστήματος δίνει πρόσθετες πληροφορίες, ιδίως για το κατά πόσον απαιτούνται πολιτικές παρεμβάσεις για την καλύτερη υποστήριξη της ανάπτυξης της αποθήκευσης.

## **Βελτιστοποίηση της επέκτασης της δυναμικότητας**

Η βελτιστοποίηση της επέκτασης της δυναμικότητας είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του βέλτιστου συνδυασμού επενδύσεων στον τομέα της ενέργειας. Η ανάλυση θα πρέπει να ξεκινά από το υφιστάμενο σύστημα και να λαμβάνει υπόψη το κόστος των πρόσθετων επενδύσεων στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και εναλλακτικές λύσεις ευελιξίας. Τα αποτελέσματα είναι πρόσθετες επενδύσεις σε τεχνολογίες όπου α) η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι διαθέσιμη και β) η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας είναι διαθέσιμη, καθώς και η ποσότητα της αποθηκευτικής ικανότητας που απαιτείται.

## **Μοντελοποίηση κόστους παραγωγής**

Μετά τη χρήση των αποτελεσμάτων από τη βελτιστοποίηση της επέκτασης της παραγωγικής ικανότητας, το επόμενο βήμα είναι η μοντελοποίηση του κόστους

παραγωγής για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας με και χωρίς αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα μοντέλα κόστους παραγωγής μπορούν να συν-βελτιστοποιήσουν την πραγματική κατανομή και την κατανομή των λειτουργικών αποθεμάτων ενός συγκεκριμένου στόλου παραγωγής σε ένα χρονικό βήμα αντιπροσωπευτικό της λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο (από 1 ώρα έως δευτερόλεπτα) λαμβάνοντας υπόψη διάφορους περιορισμούς του πραγματικού κόσμου.

Η μοντελοποίηση του κόστους παραγωγής στην αξιολόγηση σε επίπεδο συστήματος της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για τους ακόλουθους δύο λόγους:

- Για να επιτευχθεί ακριβέστερη εκτίμηση του λειτουργικού κεφαλαίου.

Τα μοντέλα επέκτασης δυναμικότητας αξιολογούν το λειτουργικό κεφάλαιο σε μια χρονική στιγμή με βήμα πολύ μεγαλύτερο από 1 ώρα. Ως αποτέλεσμα, η δυναμικότητα λογισμικού επέκτασης επιστρέφει μόνο μια προσέγγιση του κόστους παραγωγής. Αφού το μείγμα δυναμικότητας έχει βελτιστοποιηθεί, τα μοντέλα κόστους παραγωγής χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση και τη βελτίωση της εκτίμησης του λειτουργικού κεφαλαίου.

- Για την αξιολόγηση των λειτουργικών οφελών της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Όσο λεπτομερέστερη είναι η χρονική ανάλυση της δυναμικότητας ενός μοντέλου επέκτασης, τόσο υψηλότερη είναι η ακρίβεια της στα αποτελέσματα. Τα μοντέλα επέκτασης δυναμικότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για να δώσουν μια προσέγγιση της χωρητικότητας ισχύος και ενέργειας της απαιτούμενης αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η δυναμικότητα ισχύος που προκύπτει από την επέκταση της δυναμικότητας βελτιστοποίησης χρησιμοποιείται ως είσοδος σε ένα επόμενο βήμα, όπου η μοντελοποίηση του κόστους παραγωγής χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της αξιολόγησης της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται στο σύστημα μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας που αποσκοπεί στην ανεύρεση της βέλτιστης διάρκειας αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διαδικασία θα πρέπει να ξεκινήσει με μικρής διάρκειας αποθήκευση (0,5 ώρες ή λιγότερο) και σταδιακά να αυξάνεται, για να βρεθεί η λύση με το μικρότερο κόστος. Ενώ μπορεί να υπάρχει μια βέλτιστη ποσότητα αποθηκευτικής ικανότητας ηλεκτρικής ενέργειας, στην πράξη το χαρτοφυλάκιο αποθήκευσης θα περιλαμβάνει μια σειρά από διάφορες διάρκειες από 0,5 έως 8+ ώρες. Για την παροχή σταθερής δυναμικότητας, η οποία είναι ένα μεγάλο κομμάτι της αξίας της αποθήκευσης, θα χρειαστεί αποθήκευση μεγαλύτερης διάρκειας. Για ορισμένες αγορές αυτό είναι 4 ώρες.

Τα βήματα για τον υπολογισμό των οφελών στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας έχουν ως εξής:



## Βελτιστοποίηση της επέκτασης της δυναμικότητας

### Βήμα 1

Αυτό το βήμα απαιτεί ένα κατάλληλο εργαλείο, ικανό να βελτιστοποιεί το μέγεθος της αποθήκευσης (τόσο σε ισχύ όσο και σε ενέργεια). Τα διαθέσιμα εργαλεία ποικίλλουν ως προς τη λεπτομέρεια, την τεχνική εστίαση και την πρακτικότητα, και η επιλογή του εργαλείου πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που πρόκειται να μελετηθούν και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

### Βήμα 2:

Εκτέλεση ενός μοντέλου κόστους παραγωγής με βάση το βασικό σύστημα για την εκτίμηση του λειτουργικού κόστους.

### Βήμα 3:

Εκτέλεση ενός άλλου μοντέλου κόστους παραγωγής στο "με νέα αποθήκευση", με ονομαστική ισχύ από τη βελτιστοποίηση της επέκτασης στο βήμα 1 και μια εκτίμηση ενέργειας ίδια με την τιμή ισχύος.

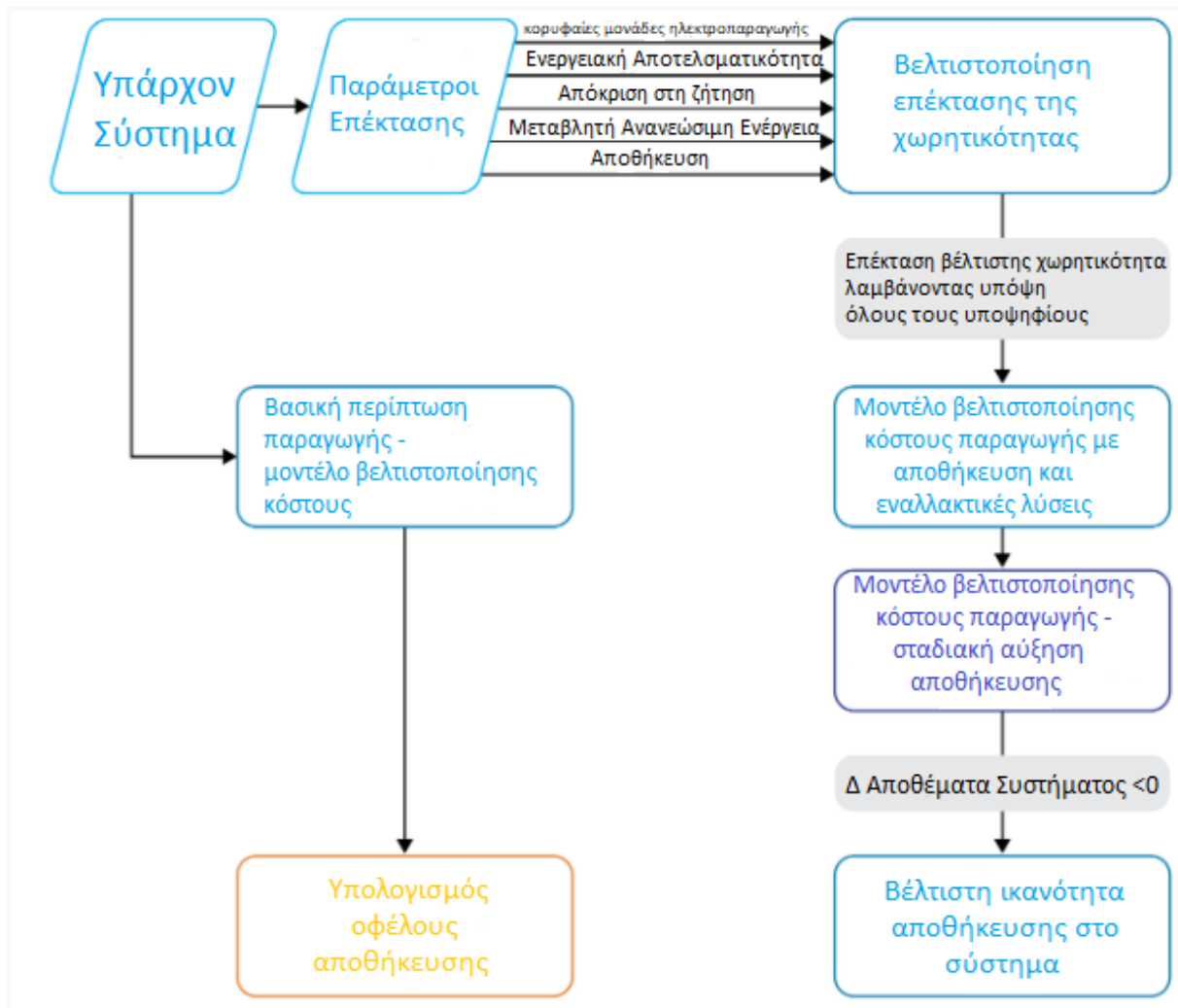
### Βήμα 4:

Σταδιακή αύξηση της ενεργειακής χωρητικότητας (διάρκειας) της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας- εκτέλεση μοντέλου κόστους παραγωγής με κάθε αύξηση για να βρεθεί η βέλτιστη διάρκεια αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που ελαχιστοποιεί το κόστος παραγωγής.

### Βήμα 5:

Σύγκριση του κόστους παραγωγής μεταξύ των βημάτων 2 και 4 και ανάλυση των πλεονεκτημάτων της αποθήκευσης, συμπεριλαμβανομένων των πιθανών οφελών από τη μείωση του κόστους των επικουρικών υπηρεσιών.

Στο σχήμα 2-12, απεικονίζεται το φορτίο σε ένα σενάριο χωρίς αποθήκευση, ως η σκιασμένη γκριζα περιοχή, ενώ το φορτίο σε ένα σενάριο με αποθήκευση παρουσιάζεται με πορτοκαλί χρώμα.



Σχ. 2-12: Βήματα υπολογισμού στην ανάλυση αξίας του συστήματος

## Οφέλη αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες, από τη σύγκριση των περιπτώσεων "χωρίς νέα αποθήκευση" και "με νέα αποθήκευση" μπορεί να εκτιμηθούν τα οφέλη που σχετίζονται με τις κεφαλαιουχικές και λειτουργικές δαπάνες της αποθήκευσης. Τα μοντέλα βελτιστοποίησης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να κατανέμουν τις εν λόγω δαπάνες, που σχετίζονται με τις νέες επενδύσεις στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Το συνολικό ποσό της εξοικονόμησης του κόστους καυσίμου λόγω της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τη συνδυασμένη επίδραση των διαφόρων λειτουργιών της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αφορούν σε μια οικονομικότερη κατανομή της ηλεκτρικής ενέργειας των μέσων παραγωγής λόγω της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που συμβάλλει στην ενέργεια και στις βοηθητικές υπηρεσίες.

Πιο συγκεκριμένα, η εξοικονόμηση που σχετίζεται με το κόστος καυσίμου μπορεί να προκύπτει από:

- Τη μείωση της κυκλικής λειτουργίας της θερμικής παραγωγής, η οποία οδηγεί σε α) μικρότερο αριθμό εκκινήσεων και β) σε μειωμένες ώρες λειτουργίας σε μερικό φορτίο (οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά τη θερμική απόδοση).
- Την αντικατάσταση των ακριβών θερμικών γεννητριών κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής.
- Την αντικατάσταση ευέλικτων θερμικών παραγωγών για την παρακολούθηση του φορτίου.
- Την αντικατάσταση θερμικής ισχύος για την παροχή επικουρικών υπηρεσιών. Αυτό οδηγεί σε μια πιο αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος μέσω α) της αυξημένης διαθεσιμότητας θερμικής δυναμικότητας για ενεργειακές υπηρεσίες, και β) την κατανομή της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για τη ρύθμιση της συχνότητας.
- Την υποστήριξη της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε βάρος της θερμικής παραγωγής.
- Τις μειωμένες λειτουργικές δαπάνες του δικτύου μέσω ανακούφισης από τη συμφόρηση της μεταφοράς.
- Τις πρόσθετες εξοικονομήσεις κόστους που σχετίζονται με τις λειτουργικές δαπάνες, οι οποίες είναι: το μειωμένο κόστος λειτουργίας και συντήρησης για τους θερμικούς παραγωγούς, οι μειωμένες εκπομπές CO<sub>2</sub>, η εξοικονόμηση κόστους λόγω μείωσης της περιεκτικότητας των επιπέδων ανανεώσιμης ενέργειας.

Παρόλο που η εκτίμηση του συνολικού ποσού εξοικονόμησης λειτουργικών δαπανών που σχετίζεται με τα καύσιμα (ή είναι μη σχετιζόμενη με το καύσιμο) είναι απλή, ο περαιτέρω διαχωρισμός σε επιμέρους συνιστώσες είναι είτε δύσκολος ή ακόμη και πρακτικά αδύνατος μέσω της χρήσης μοντέλων βελτιστοποίησης. Αυτό οφείλεται κυρίως στην πολύπλοκη και δυναμική αλληλεπίδραση των στοιχείων του συστήματος και οποιαδήποτε προσπάθεια διαχωρισμού του κόστους θα απαιτούσε την εισαγωγή πρόσθετων σεναρίων για να επιτευχθεί μόνο μία εκτίμηση των πρόσθετων δαπανών.

Η παρακάτω λίστα κατηγοριοποιεί τα οφέλη από την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας ως άμεσα ποσοτικοποιήσιμα και ως δύσκολα ποσοτικοποιήσιμα. Τα μετρήσιμα οφέλη μπορούν να ποσοτικοποιηθούν με μοντέλα βελτιστοποίησης, ενώ εκείνα της δεύτερης στήλης είναι δυσκολότερο να αποτυπωθούν με μοντέλα βελτιστοποίησης, καθώς τείνουν να είναι πολύ συγκεκριμένα για την τοποθεσία και την αγορά ή να απαιτούν άλλες μεθοδολογίες μοντελοποίησης.

### **Μετρήσιμα Οφέλη:**

#### Οφέλη που σχετίζονται με τις λειτουργικές δαπάνες

- Συνολική εξοικονόμηση κόστους καυσίμου λόγω οικονομικότερης κατανομής που προκύπτει από συνδυασμό παραγόντων (π.χ. αποθήκευση αντικαθιστώντας την παραγωγή από ορυκτά καύσιμα και παροχή βοηθητικών υπηρεσιών)

- Εξοικονόμηση κόστους εκκίνησης (η εξοικονόμηση κόστους εκκίνησης είναι μέρος του κόστους εξοικονόμησης καυσίμου)
- Εξοικονόμηση περικοπών ανανεώσιμης ενέργειας
- Εξοικονόμηση κόστους λειτουργίας και συντήρησης
- Μειωμένες εκπομπές CO<sub>2</sub> (όπου υπάρχει τιμολόγηση άνθρακα υπάρχουν άμεσα οφέλη).

#### Οφέλη που σχετίζονται με τις κεφαλαιουχικές δαπάνες

- Αναβολή της ανάγκης για δυναμικότητα αιχμής
- Εξοικονόμηση μεταφορικής ικανότητας
- Σε ορισμένες περιπτώσεις, αναβολή της ανάγκης για άλλη ευελιξία με εναλλακτικές λύσεις (π.χ. αντλίες θερμότητας ή ηλεκτρικοί λέβητες).

#### **Δυσκολότερα μετρήσιμα οφέλη**

##### Οφέλη που σχετίζονται με τις λειτουργικές δαπάνες

- Αντικατάσταση της δαπανηρής παραγωγής ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής
- Υποστήριξη της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε βάρος της παραγωγής ορυκτών καυσίμων
- Αντικατάσταση της θερμικής δυναμικότητας ταχείας απόκρισης που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση του φορτίου και άλλες επικουρικές υπηρεσίες
- Μείωση των λειτουργικών δαπανών του δικτύου μέσω ανακούφισης από τη συμφόρηση της μεταφοράς
- Μείωση της κυκλικής λειτουργίας των θερμικών παραγωγών

##### Οφέλη που σχετίζονται με τις κεφαλαιουχικές δαπάνες

- Εξοικονόμηση χωρητικότητας δικτύου διανομής

#### Λεπτομερέστερη ανάλυση των επιμέρους οφελών από την αποθήκευση

#### **A. Μειωμένο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**

Το μειωμένο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκδηλώνεται στα μοντέλα κόστους παραγωγής ως μειωμένο κόστος καυσίμου, μειωμένο μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, μειωμένο κόστος εκκίνησης και κόστος διακοπής λειτουργίας.

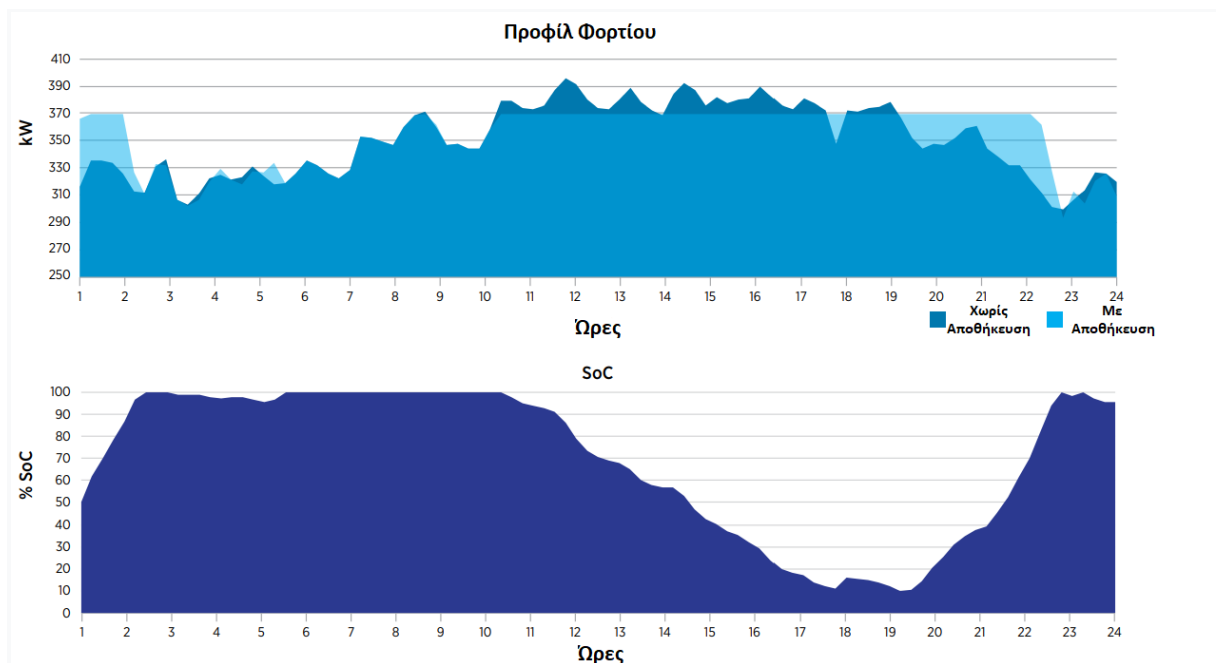
Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλει το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με διάφορους τρόπους:

- Καλύπτοντας τη ζήτηση κατά τις ώρες αιχμής με χαμηλού κόστους ηλεκτρική ενέργεια, που αποθηκεύεται κατά τις ώρες εκτός αιχμής.

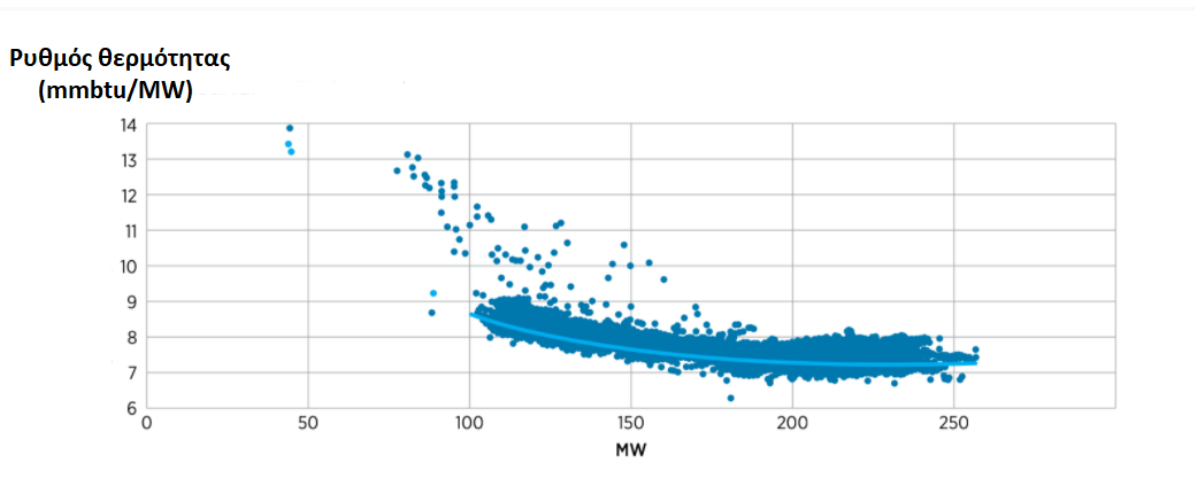
Σε ένα σύστημα δικτύου με αυξανόμενη διείσδυση ανανεώσιμης ενέργειας, ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια ωρών άφθονης παραγωγής - συνήθως περιόδους με χαμηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας - για να χρησιμοποιηθεί αργότερα.

Αυτό εκτοπίζει τους ακριβότερους πόρους παραγωγής, όπως το πετρέλαιο, μειώνοντας τις τιμές κατά τις ώρες αιχμής. Σε μια δομή κάθετα ολοκληρωμένου συστήματος όπου μία εκκαθαρισμένη τιμή της αγοράς δεν υπολογίζεται ρητά, το κόστος της προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται για τους ίδιους λόγους.

Το σχήμα 2-13 απεικονίζει πώς η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μειώνει το φορτίο αιχμής και, συνεπώς, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής. Με τη φόρτιση κατά τις ώρες εκτός αιχμής και εκφορτίζοντας κατά τις ώρες αιχμής, όπως φαίνεται στον κάτω πίνακα, η αποθήκευση ισοπεδώνεται αποτελεσματικά και μειώνει το φορτίο αιχμής.



Σχ. 2-13: Προφίλ φορτίου για 24 ώρες με και χωρίς αποθήκευση (πάνω) και φόρτιση και εκφόρτιση αποθήκευσης για 24 ώρες (κάτω)



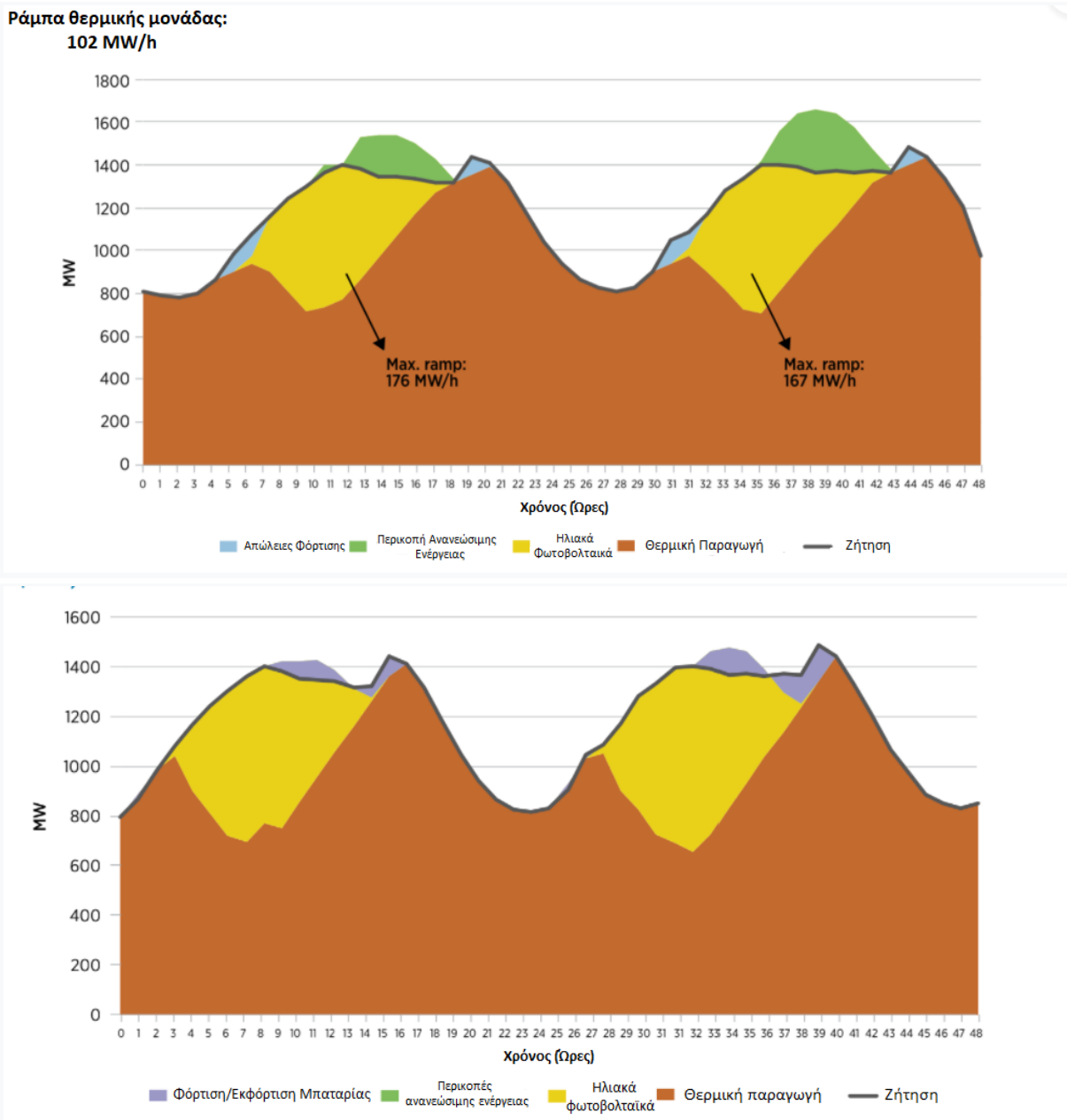
**Σχ. 2-14: Καμπύλη ρυθμού θερμότητας μιας θερμικής γεννήτριας**

- Χρησιμοποιώντας την αποθήκευση για την παρακολούθηση των μεταβολών του φορτίου επιτρέποντας στις θερμικές γεννήτριες να βελτιώσουν τη συνολική λειτουργική αποδοτικότητα. Υψηλότερα ποσοστά ανανεώσιμης ενέργειας στο σύστημα προκαλούν τις συμβατικές θερμικές γεννήτριες να κάνουν συχνότερα κύκλους για να εξισορροπήσουν τις διακυμάνσεις του καθαρού φορτίου που προκαλείται από την ηλιακή και αιολική μεταβλητότητα και αβεβαιότητα.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-15, ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας μιας θερμικής γεννήτριας αυξάνεται (ή η απόδοσή της μειώνεται), όταν η παραγωγή αποκλίνει από το βέλτιστο σημείο λειτουργίας της.

Εάν μια γεννήτρια ακολουθεί το φορτίο αυξάνοντας ή μειώνοντας την παραγωγή της, απομακρύνεται από το βέλτιστο σημείο λειτουργίας της, με αποτέλεσμα τη μη αποδοτική χρήση καυσίμου. Αντίθετα, εάν η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για να καλύψει τις αλλαγές στο καθαρό φορτίο, τα ορυκτά καύσιμα μπορούν να λειτουργούν σε σταθερή και βέλτιστη απόδοση, μειώνοντας το κόστος καυσίμου και το κόστος φθοράς τους, που σχετίζεται με την ανακύκλωση.

Η εξοικονόμηση καυσίμου λόγω της αυξημένης θερμικής απόδοσης πραγματοποιείται περισσότερο σε μικρά συστήματα που λειτουργούν κυρίως με ντίζελ χωρητικότητα. Το παράδειγμα στο Σχήμα 15 δείχνει πώς η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να εκτελέσει ταχεία αναβάθμιση, αποφεύγοντας την ηλιακή περικοπή και απώλεια φορτίου λόγω ανεπαρκούς ανακυκλωτικής ικανότητας των θερμικών γεννητριών.

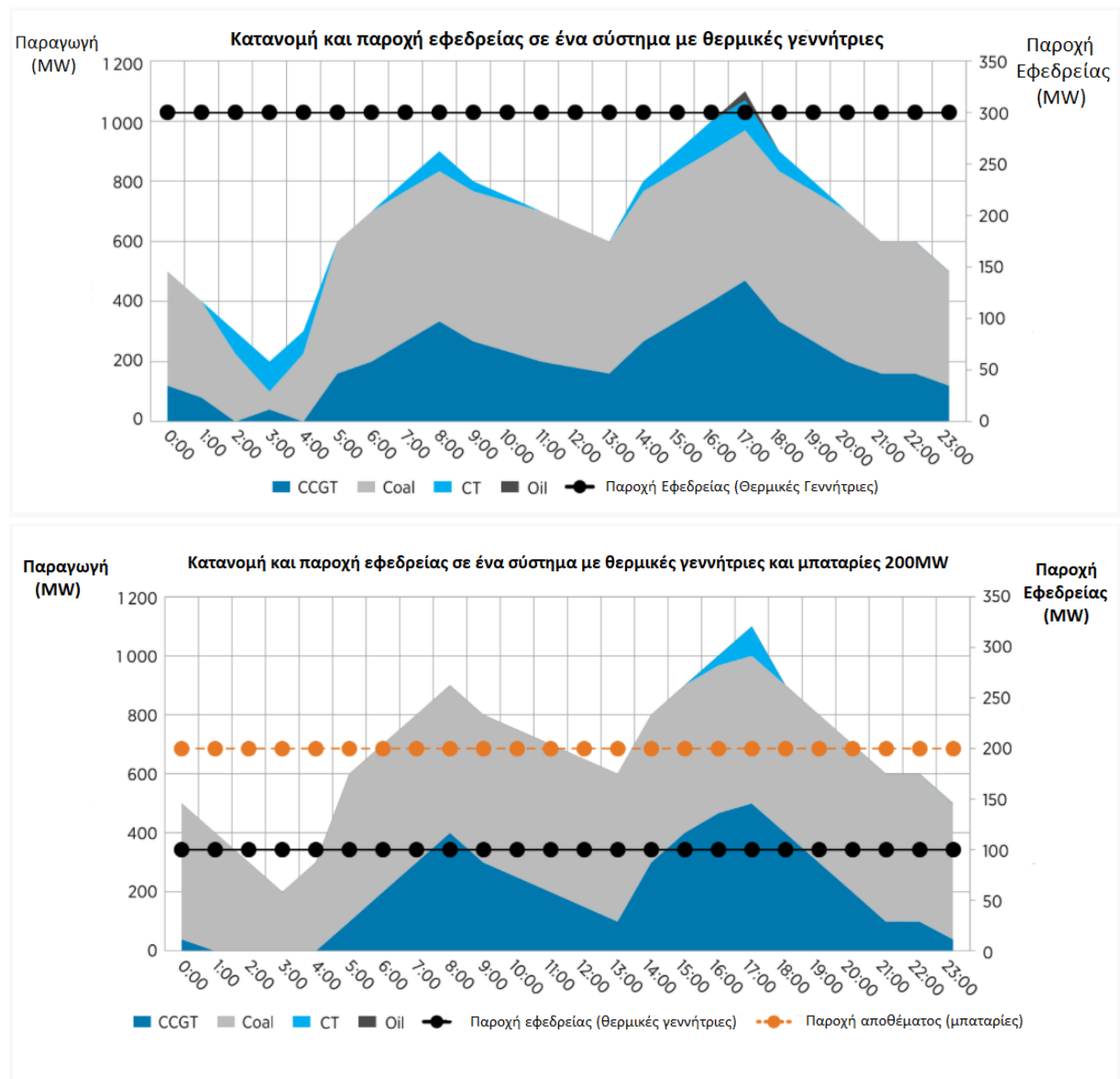


**Σχ. 2-15: Ζήτηση, καμπύλες κλιμάκωσης και περικοπή ανανεώσιμης ενέργειας χωρίς αποθήκευση (πάνω) και με αποθήκευση (κάτω)**

- Με τη μείωση της συμφόρησης και των απωλειών στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής, ιδίως κατά τις ώρες αιχμής. Αυτό προϋποθέτει ότι τα περιοριστικά στοιχεία αποθήκευσης αναπτύσσονται πάνω από τις βεβαρυμένες γραμμές στο σύστημα μεταφοράς.

- Επιτρέποντας στην αποθήκευση να παρέχει εφεδρείες, οι οποίες μπορούν να αποτρέπουν τη δέσμευση θερμικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως για την παροχή εφεδρειών. Όταν αυτό συμβαίνει η αποθήκευση μπορεί να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση για το σύστημα αποφεύγοντας την ανάγκη να

φέρει μια πιο ακριβή μονάδα στην αξιολογική σειρά. Το σχήμα 2-16 παρέχει ένα απλό παράδειγμα με βάση την προσομοίωση του κόστους παραγωγής.



**Σχ. 2-16: Διανομή και παροχή εφεδρείας με θερμικές γεννήτριες και μπαταρίες 200 MW**

## B. Οριακή εξοικονόμηση κόστους σταθμού αιχμής

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σχεδιάζονται με αρκετά σταθερή δυναμικότητα για να καλύψουν την αναμενόμενη ζήτηση τόσο υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας όσο και σε απρόβλεπτες καταστάσεις. Σε ένα σύστημα δικτύου με αυξανόμενο φορτίο, η αντίστοιχη αυξανόμενη αιχμή καλύπτεται συνήθως με την κατασκευή νέας ικανότητας αιχμής, η πόρους παραγωγής που χρησιμοποιούνται μόνο κατά τη



διάρκεια των ωρών αιχμής. Σε συστήματα με αυξανόμενα ποσοστά ανανεώσιμης ενέργειας, οι αιχμές του καθαρού φορτίου γίνονται υψηλότερες και στενότερες, μειώνοντας τις ώρες λειτουργίας των μονάδων αιχμής και καθιστώντας επιχειρηματική υπόθεση την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Στην ανάλυση της αξίας του συστήματος, η κατηγορία αυτή αναφέρεται ως εξοικονόμηση από την αποφυγή του κόστους κεφαλαίου για την κατασκευή μονάδων αιχμής που θα απαιτούνταν διαφορετικά αν η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας δεν υπήρχε. Εάν ένα σύστημα δικτύου δεν έχει αυξανόμενη ζήτηση και μπορεί να χρησιμοποιήσει τους υπάρχοντες πόρους παραγωγής του για την κάλυψη της ζήτησης, η εξοικονόμηση κόστους σε αυτή την κατηγορία μπορεί να είναι όταν οι σταθμοί αιχμής φτάσουν στο τέλος της ζωής τους και, αντ' αυτού αντί να αντικατασταθούν με νέες μονάδες αιχμής, αντικαθίστανται με αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, στη μελέτη State of Charge της Μασαχουσέτης, οι εν λόγω εξοικονομήσεις από την αποφυγή σταθμών εξισορρόπησης ανήλθαν σε 1 093 εκατ. δολάρια ΗΠΑ, ή σχεδόν το ήμισυ των μοντελοποιημένων οφελών. Τέτοιες μεγάλες εξοικονομήσεις προέρχονται όχι μόνο από την αποφυγή του υψηλού κόστους κατασκευής μονάδων φυσικού αερίου με τουρμπίνα καύσης, αλλά και από την αποφυγή του κόστους καυσίμου και την πληρωμή του διαχειριστή δικτύου για την προμήθεια δυναμικότητας. Συνεπώς, η κατηγορία αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αύξηση του φορτίου και άλλες τοπικές συνθήκες προμήθειας.

## **Γ. Εξοικονόμηση περικοπών ανανεώσιμης ενέργειας**

Με την αυξανόμενη ποσότητα ανανεώσιμης ενέργειας, οι διαχειριστές δικτύου μερικές φορές πρέπει να περιορίσουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται για διάφορους λόγους:

- παραγωγή που υπερβαίνει την ικανότητα μεταφοράς
- περιορισμοί αναβάθμισης
- ανάγκη για υπηρεσίες συστήματος από συμβατικούς παραγωγούς.

Στην τελευταία από αυτές τις τρεις περιπτώσεις, ορισμένοι συμβατικοί παραγωγοί πρέπει να παραμείνουν σε λειτουργία για να διατηρήσουν την ελάχιστη αδράνεια του συστήματος, να παρέχουν δυνατότητες ελέγχου της τάσης και ρεύματος βραχυκύκλωσης και να καλύπτουν τις απαιτήσεις εφεδρείας λειτουργίας. Όταν η ποσότητα ανανεώσιμης ενέργειας είναι πολύ υψηλή, μπορεί να υπάρξει μια κατάσταση όπου η παραγωγή υπερβαίνει το φορτίο, που μερικές φορές αναφέρεται ως υπερπαραγωγή. Η αποθήκευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ποσότητας της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, με στόχο να χρησιμοποιηθεί αργότερα, ελαχιστοποιώντας την ή εξαλείφοντας την περικοπή. Σημειώνεται ότι με την αποφυγή περικοπής της ανανεώσιμης ενέργειας, ενσωματώνεται περισσότερη στο σύστημα, το οποίο συνεπάγεται λιγότερη παραγωγή από ορυκτά καύσιμα.

## **Δ. Εξοικονόμηση αναβολής μεταφοράς και διανομής**

Τα συστήματα μεταφοράς και διανομής αναβαθμίζονται με βάση το προβλεπόμενο φορτίο αιχμής σε κάθε γραμμή και τις ροές ισχύος εντός του συστήματος.

Ωστόσο, το φορτίο αιχμής στα διάφορα κυκλώματα του συστήματος, εμφανίζεται μόνο για λίγες ώρες την ημέρα και συχνά είναι εποχιακό. Η τοποθέτηση ενός αποθηκευτικού στοιχείου κοντά στο κέντρο φορτίου μπορεί να βοηθήσει στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής χωρίς να απαιτείται αναβάθμιση της εισερχόμενης μεταφοράς ή διανομής, αναβάλλοντας την αναβάθμιση. Επιπλέον, τα συστήματα μεταφοράς και διανομής αναβαθμίζονται συνήθως σε "κομμάτια" λόγω του παρατεταμένου χρόνου κατασκευής. Για παράδειγμα, εάν ένα κέντρο φορτίου προβλέπεται να αυξηθεί κατά 2 MW τα επόμενα 5 χρόνια, ο διαχειριστής δικτύου μπορεί να σχεδιάσει ένα δίκτυο διανομής 20 MW, με αποτέλεσμα να υπάρχει πλεονάζουσα χωρητικότητα για πολλά χρόνια έως ότου το φορτίο αιχμής φτάσει τα πρόσθετα 20 MW. Η ηλεκτρική ενέργεια αποθήκευσης, από την άλλη πλευρά, μπορεί να προστεθεί σταδιακά, καλύπτοντας το φορτίο αιχμής καθώς αυτό αυξάνεται και εξαλείφοντας τη σπατάλη της δημιουργίας εφεδρικής χωρητικότητας.

## **E. Εξοικονόμηση πόρων για την υποστήριξη της αέργου ισχύος**

Επειδή οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης μπορούν να παρέχουν τόσο ενεργό όσο και άεργο ισχύ, η τοποθέτησή τους κοντά σε ένα κέντρο φορτίου ενισχύει την τάση της ισχύος που ρέει προς το φορτίο. Αυτό μειώνει την ανάγκη εγκατάστασης αυτόνομου εξοπλισμού, για τη διαχείριση της ποιότητας ισχύος και εξοικονομεί το πιθανό κόστος των κατεστραμμένων ηλεκτρονικών συσκευών λόγω κακής ποιότητας ισχύος. Δεδομένου ότι τα περιουσιακά στοιχεία αποθήκευσης είναι πολυλειτουργικά, η άεργος ισχύς από την αποθήκευση αποτελεί συνήθως πρόσθετο όφελος, το οποίο είναι δύσκολο να αποτιμηθεί σε χρήμα. Η υποστήριξη της αέργου ισχύος δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με τη χρήση των μοντέλων βελτιστοποίησης, που αναφέραμε, και απαιτεί διαφορετικά σύνολα εργαλείων που είναι πιο κατάλληλα για την ανάλυση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης της ποιότητας ισχύος και της ευστάθειας.

## **ΣΤ. Εξοικονόμηση μαύρης εκκίνησης**

Επειδή οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να παρέχουν τόσο ενεργό όσο και άεργο ισχύ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πόρος εκκίνησης σε κατάσταση διακοπής ρεύματος για την αποκατάσταση του δικτύου όταν συνδέονται με σύγχρονη γεννήτρια (π.χ. υδροηλεκτρική ενέργεια, αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα). Δεδομένου ότι η αποθήκευση είναι πολυλειτουργική, η ικανότητα εκκίνησης σε κατάσταση "black start" είναι ουσιαστικά δωρεάν όταν τα περιουσιακά στοιχεία εγκαθίστανται για άλλους σκοπούς (π.χ. αναβολή μεταφοράς

και διανομής). Τα οφέλη από την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με τη μορφή εξοικονόμησης κατά την εκκίνηση δεν μπορούν να εκτιμηθούν με το παρόν Πλαίσιο. Ωστόσο, εάν δεν υπάρχει δυνατότητα εκκίνησης σε κατάσταση αιφνιδιασμού στο σύστημα, η εξοικονόμηση είναι ίση με ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ντίζελ που χρησιμοποιείται κανονικά για τη μαύρη εκκίνηση μίας μεγάλης θερμικής γεννήτριας.

#### **2.2.4 Φάση 4: Προσομοίωση λειτουργίας αποθήκευσης**

Με βάση τις υπηρεσίες που επιτρέπονται στον αποθηκευτικό πόρο, το μοντέλο που χρησιμοποιείται σε αυτή τη φάση θα πρέπει να συνδιαμορφώνει τα έσοδα από τις διάφορες υπηρεσίες για τη μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους του πόρου αποθήκευσης. Αυτές οι προσομοιώσεις είναι χρήσιμες κυρίως για τους προγραμματιστές έργων σε απελευθερωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας με αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Μοντέλο κατανομής αποθήκευσης με βάση την τιμή

Για να βρεθεί το βέλτιστο έσοδο ενός έργου αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο κατανομής αποθήκευσης με βάση τις τιμές, ώστε να απλοποιηθεί το πρόβλημα. Ένα τέτοιο μοντέλο συν-βελτιστοποιεί τα έσοδα από τις διάφορες υπηρεσίες που το έργο αποθήκευσης μπορεί να παρέχει, υποθέτοντας ότι η αποθήκευση πόρος είναι αποδέκτης τιμών, δηλαδή το έργο λαμβάνει τη χονδρική τιμή για την υπηρεσία που παρέχει, αντί να είναι ένας οριακός πόρος που επηρεάζει τη χονδρική τιμή. Για παράδειγμα, το Storage Value Estimation Tool (SVET) είναι ένα εργαλείο αποτίμησης της αποθήκευσης με βάση τις τιμές ανοικτού κώδικα.

Το μοντέλο κατανομής λαμβάνει δεδομένα όπως η ενέργεια και οι τιμές εφεδρείας από την ανάλυση της αξίας του συστήματος, σε συνδυασμό με τις εισροές του χρήστη για το έργο αποθήκευσης, και εξάγει την κατανομή της αποθήκευσης σε κάθε δεδομένη ώρα. Αυτό είναι ακριβές όταν ένα έργο αποθήκευσης είναι μικρό σε σύγκριση με τη συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης και το μέγεθος του συστήματος. Ωστόσο, η ακρίβεια περιορίζεται καθώς το μέγεθος του έργου αυξάνεται, δεδομένου ότι κάθε κατανομή θα επηρεάζει επίσης τις μεταβλητές σε επίπεδο συστήματος που υποτίθενται ως σταθερές στο μοντέλο.

*Εισροές και εκροές από το μοντέλο κατανομής αποθήκευσης με αποδέκτη τιμών*

#### **Είσοδοι**

Από την ανάλυση της αξίας του συστήματος:

- τιμές ενέργειας

- τιμές αποθεμάτων (θα μπορούσε επίσης να παρέχεται ως είσοδος του χρήστη, όπως σε ορισμένες αγορές όπου η αξία τους είναι σταθερή ή αλλάζει εποχιακά)
- αρχικό φορτίο
- τροποποιημένο φορτίο με αποθήκευση
- παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές.

#### Από το χρήστη:

- Παράμετροι αποθήκευσης (ισχύς και ενεργειακές χωρητικότητες), αποδοτικότητα, όρια φόρτισης κλπ)
- Διάρκεια προϊόντος
- Λόγος χρήσης αποθεμάτων
- Σήμα ενεργοποίησης αποθεμάτων (προαιρετικό).

Υπηρεσίες που θα μπορούσε να παρέχει ένα έργο (χαρτοφυλάκιο που επιλέγει ο χρήστης):

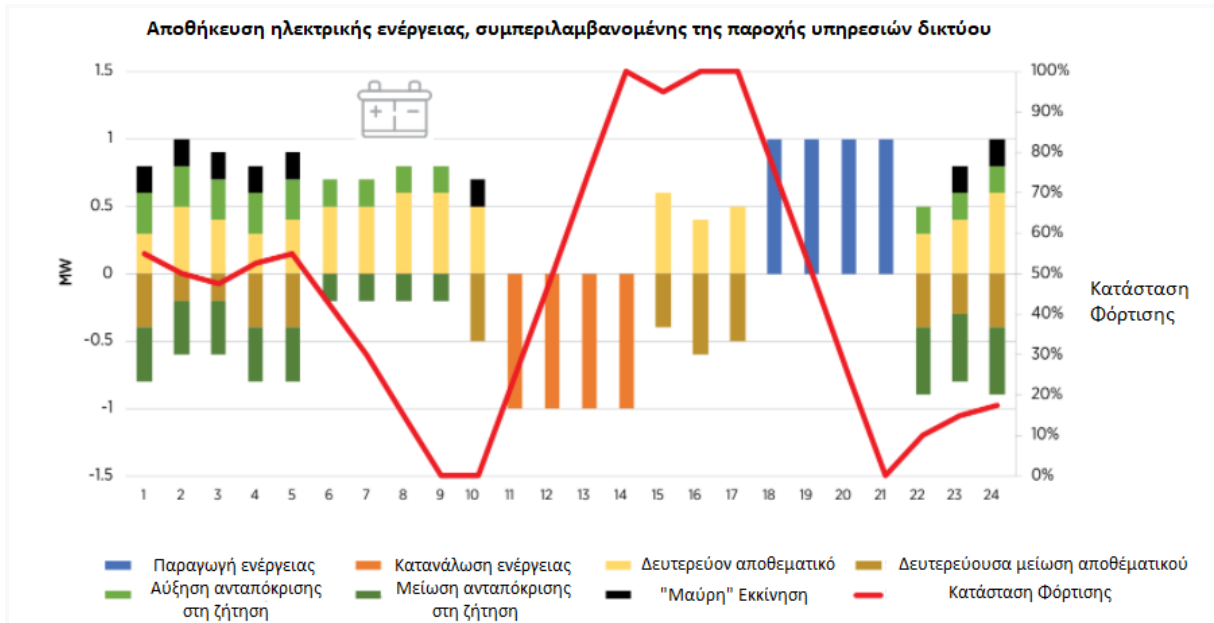
- ενεργειακό αρμπιτράζ
- πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή αποθέματα
- εξοικονόμηση αιχμής
- απόκριση ζήτησης με βάση την τιμή
- ανανεώσιμες μετατοπίσεις
- ικανότητα εκκίνησης σε κατάσταση black start.

#### Έξοδοι

- Κατανομή αποθήκευσης για όλες τις υπηρεσίες για κάθε ώρα κατά τη διάρκεια του ορίζοντα του μοντέλου.
- Αποθήκευση κατάστασης φόρτισης για τον ορίζοντα του μοντέλου.

Οι έξοδοι μπορούν να ενισχύσουν τις επακόλουθες οικονομικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό της βιωσιμότητας του έργου.

Στο Σχήμα 2-17 παρουσιάζεται ο τύπος των αποτελεσμάτων που προσδιορίζουν την κατάσταση φόρτισης και τις διάφορες υπηρεσίες, που παρέχονται για κάθε ώρα. Σε αυτό το ενδεικτικό παράδειγμα, ο πόρος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας απορροφά από το δίκτυο και εγχέει στο δίκτυο την ίδια ώρα, βάσει του στόχου μεγιστοποίησης του κέρδους του.



**Σχ. 2-17: Ενδεικτικά αποτελέσματα από ένα μοντέλο κατανομής αποθήκευσης με βάση τις τιμές**

## 2.2.5 Φάση 5: Ανάλυση βιωσιμότητας του έργου αποθήκευσης

Η επόμενη φάση του Πλαισίου είναι να εξεταστούν τα έσοδα που λαμβάνει ένα μεμονωμένο έργο αποθήκευσης σε κάθε περίπτωση και να μελετηθεί κατά πόσον τα έσοδα αυτά είναι αρκετά για να συντηρήσουν το έργο αποθήκευσης, και αν όχι, ποιες είναι οι πιθανές διορθωτικές ενέργειες.

### Μοντέλο σκοπιμότητας έργου

Το μοντέλο σκοπιμότητας έργου είναι μια ανάλυση κόστους-οφέλους για να εκτιμηθεί κατά πόσον το έργο αποθήκευσης, με τις προκαθορισμένες υπηρεσίες που παρέχει, είναι οικονομικά αποδοτικό, δηλαδή το όφελος προς το κόστος του να είναι μεγαλύτερο από τη μονάδα. Σε προηγούμενες εκτιμήσεις αποθήκευσης, τα οφέλη που εξετάστηκαν ήταν συχνά μόνο τα οφέλη που μπορούν να αποτιμηθούν σε χρήμα και όχι τα οφέλη που επιφέρει η αποθήκευση στο σύστημα δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Επειδή τα εν λόγω οφέλη για το σύστημα δεν αποδόθηκαν με ακρίβεια σε ένα μεμονωμένο έργο αποθήκευσης, η ανάλυση διαπίστωνε συχνά ότι η αποθήκευση δεν ήταν οικονομικά αποδοτική, ή ήταν οικονομικά αποδοτική μόνο υπό ορισμένες συνθήκες. Στο Πλαίσιο προτείνεται μια πιο ολοκληρωμένη μέθοδος, για να ληφθούν υπόψη τα οφέλη του πόρου αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία περιλαμβάνει τόσο τις ροές εσόδων (χρηματικά οφέλη) όσο και τα οφέλη για το σύστημα του δικτύου (μη μετρήσιμα οφέλη).

### Χρηματοποιήσιμα οφέλη και κόστος

Με τις τιμές ενέργειας και εφεδρείας από την ανάλυση του συστήματος και τα αποτελέσματα της βέλτιστης κατανομής από το μοντέλο κατανομής της αποθήκευσης, μπορούν να υπολογιστούν τα έσοδα της αποθήκευσης.

Με βάση την εφαρμογή κατάταξης από τις χαρτογραφήσεις της τεχνολογίας αποθήκευσης - δηλώνοντας ποιες τεχνολογίες είναι καταλληλότερες για την περίπτωση - μπορεί να προσδιοριστεί η πλευρά του κόστους της ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένων των δαπανών λειτουργίας και κεφαλαίου, των αποσβέσεων και των φόρων. Η ταμειακή ροή, καθώς και η καθαρή παρούσα αξία και ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης για το έργο, μπορούν να υπολογιστούν (Σχήμα 2-18).

		Καθαρή παρούσα αξία: -1,326,841		Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης: 9,55%					
Οικονομική κατάσταση	Έτος 0	Έτος 1	Έτος 2	Έτος 3	Έτος 4	Έτος 5	Έτος 6	Έτος 6	
<b>Οφέλη</b>									
Πρόβλεψη αποθεματικών	0	2 796 635	2 936 467	3 076 299	3 216 131	3 355 963	3 495 794	3 635 626	
Έσοδα εκρών	0	2 821 368	2 906 009	2 993 189	3 082 985	3 175 474	3 270 738	3 368 861	
Πληρωμές Χωρητικότητας	0	8 160 000	8 160 000	8 160 000	8 160 000	8 160 000	8 160 000	8 160 000	
Μείωση περικοπής ανανέωσης ενέργειας	0	116 636	116 636	116 636	116 636	116 636	116 636	116 636	
<b>Κατάσταση Εισοδήματος</b>									
Συνολικά Οφέλη	0	13 894 639	14 119 112	14 346 124	14 575 752	14 808 073	15 043 168	15 281 123	
Κόστος Φόρτισης	0	-1 926 872	-1 984 678	-2 044 218	-2 105 545	-2 168 711	-2 233 772	-2 300 785	
Λειτουργικά έξοδα	0	-240 000	-247 200	-254 616	-262 254	-270 122	-278 226	-286 573	
Αποσβέσεις	0	-63 360 000	-7 920 000	-3 960 000	-2 376 000	-1 584 000	0	0	
Φορολογητέο εισόδημα	0	-51 632 233	3 967 234	8 087 290	9 831 953	10 785 240	12 531 170	12 693 765	
Φορολογία	0	0	-1 190 170	-2 426 187	-2 949 586	-3 235 572	-3 759 351	-3 808 130	
Καθαρά λειτουργικά έσοδα	0	-51 632 233	2 777 064	5 661 103	6 882 367	7 549 668	8 771 819	8 885 636	
<b>Ταμειακές ροές</b>									
Κεφαλαιουχικές Δαπάνες	-79 200 000	0	0	0	0	0	0	0	
κέρδη προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων	0	11 727 767	11 887 234	12 047 290	12 207 953	12 369 240	12 531 170	12 693 765	
Μείον: Φόρος	0	0	-1 190 170	-2 426 187	-2 949 586	-3 235 572	-3 759 351	-3 808 130	
Ωφέλεια πίστωσης φόρου επί των επενδύσεων	0	4 752 000	4 752 000	4 752 000	4 752 000	4 752 000	0	0	
Ελεύθερες ταμειακές ροές	-79 200 000	16 479 767	15 449 064	14 373 103	14 010 367	13 885 668	8 771 819	8 885 636	

**Σχ. 2-18: Παράδειγμα οικονομικών καταστάσεων έργου αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας**

### Ανάθεση αξίας συστήματος σε μεμονωμένα έργα αποθήκευσης

Η πραγματική αξία συστήματος ενός έργου αποθήκευσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υφιστάμενο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στο οποίο προστίθεται. Εάν υπάρχει σήμερα πολύ λίγη αποθήκευση στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, η

προσθήκη ενός έργου αποθήκευσης μπορεί να δημιουργήσει μεγάλη αξία συστήματος, αντικαθιστώντας για παράδειγμα την ικανότητα αιχμής ή αναβάλλοντας επενδύσεις μεταφοράς. Εδώ, η μέση αξία του συστήματος ενός έργου αποθήκευσης που παρέχει ένα συγκεκριμένο σύνολο υπηρεσιών υπολογίζεται με βάση τα αποτελέσματα από την ανάλυση της αξίας του συστήματος. Η προτεινόμενη μέθοδος που ακολουθεί κλιμακώνει το σύστημα αξίας του συστήματος σε επίπεδο έργου ανάλογα με τις χρήσεις και τη βαθμολογία C του έργου.

Ο υπολογισμός ακολουθεί τα βήματα που περιγράφονται εδώ:

### Βήμα 1:

Η ανάλυση της αξίας του συστήματος προσδιορίζει την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε MW και MWh, κατηγοριοποιημένες με βάση το συντελεστή C, και την αξία του συστήματος σε κάθε κατηγορία οφέλους, εάν η προτεινόμενη αποθήκευση αναπτύσσεται σε ολόκληρο το σύστημα δικτύου (Σχήμα 2-19/2-20)

Κατηγορία	Ισχύς (MW)	Κατηγορία	Ενέργεια (MWh)
Σύντομη διάρκεια	72	Σύντομη διάρκεια (C2)	36
Μεσαίας-βραχείας διάρκειας (1C)	344	Μεσαίας-βραχείας διάρκειας (1C)	344
Μεσαίας-μακράς διάρκειας (0,5C)	645	Μεσαίας-μακράς διάρκειας (0,5C)	1290
Μεγάλης διάρκειας (0,25C)	1670	Μεγάλης διάρκειας (0,25C)	6679
Συνολικά MW	<b>2731</b>	Συνολικά MW	<b>8349</b>

**Σχ. 2-19: Ενδεικτικό παράδειγμα δυναμικού αποθήκευσης σε MW και MWh**

Κατηγορίες οφελών	"Καλάθι" οφελών	Αξία (USD)
Μείωση του κόστους παραγωγής	Εξοικονόμηση κόστους καυσίμων	380 035 285
	Εξοικονόμηση μεταβλητού κόστους λειτουργίας και συντήρησης	24 713 782
Μείωση του κόστους μεταφοράς και διανομής	Εξοικονόμηση αέργου ισχύος	4 347
	Αποταμιεύσεις αναβολής μεταφοράς και διανομής	8 998 297
	Εξοικονόμηση "μαύρης" εκκίνησης	899 830
Μείωση Αιχμής	Εξοικονόμηση κεφαλαίου μονάδας αιχμής	1 587 934 758

**Σχ. 2-20: Ενδεικτικό παράδειγμα της χρηματικής αξίας των οφελών για το σύστημα**

## Βήμα 2:

Τα βάρη αποδίδονται σε διαφορετικά ποσοστά C στις επιμέρους κατηγορίες οφελών για να αντικατοπτρίζεται ο τρόπος χρήσης της αποθήκευσης. Για παράδειγμα, οι βοηθητικές υπηρεσίες μπορούν να εκπληρωθούν από την αποθήκευση μικρής διάρκειας (η στάθμιση για την αποθήκευση 2C και 1C είναι συνεπώς υψηλότερη σε αυτές τις κατηγορίες οφέλους) (Σχήμα 2-21). Εναλλακτικά, οι προσομοιώσεις κόστους παραγωγής θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της τεχνικής συγγένειας της αποθήκευσης των διαφόρων διαρκειών για συγκεκριμένες υπηρεσίες και να αποδοθούν βάρη αναλόγως.

Κατηγορίες Οφελών	"Καλάθι" Οφελών	Βαρύτητα			
		2C	1C	0.5C	0.25C
Μείωση κόστους παραγωγής	Εξοικονόμηση Κόστους Καυσίμων	0	0	0.3	0.7
	Εξοικονόμηση μεταβλητού κόστους λειτουργίας και συντήρησης	0	0	0.3	0.7
Μείωση κόστους Μεταφοράς και Διανομής	Εξοικονόμηση Άεργου Ισχύος	0.25	0.25	0.25	0.25
	Αποταμιεύσεις αναβολής μεταφοράς και διανομής	0	0	0.3	0.7
	Εξοικονόμηση "μαύρης" εκκίνησης	0.5	0.5	0	0
Μείωση Αιχμής	Εξοικονόμηση κεφαλαίου μονάδας αιχμής	0	0.3	0.3	0.4

**Σχ. 2-21: Παράδειγμα συντελεστών στάθμισης ανάλογο με τον συντελεστή C που απαιτείται για ένα δεδομένο όφελος**

## Βήμα 3:

Οι συντελεστές στάθμισης εφαρμόζονται στις τιμές του συστήματος κάθε κατηγορίας οφέλους για να προκύψει το όφελος για κάθε συντελεστή C (Σχήμα 2-22).

Κατηγορίες Οφελών	"Καλάθι" Οφελών	Βαρύτητα			
		2C	1C	0.5C	0.25C
Μείωση του κόστους παραγωγής	Εξοικονόμηση κόστους καυσίμων	0	0	114 010 586	266 024 700
	Εξοικονόμηση μεταβλητού κόστους μεταφοράς και διανομής	0	0	7 414 135	17 299 647
Μείωση του κόστους μεταφοράς και διανομής	Εξοικονόμηση Άεργου Ισχύος	1 087	1 087	1 087	1 087
	Αποταμιεύσεις αναβολής μεταφοράς και διανομής	0	0	2 699 489	6 298 808
	Εξοικονόμηση "μαύρης" εκκίνησης	449 915	449 915	0	0
Μείωση Αιχμής	Εξοικονόμηση κεφαλαίου μονάδας αιχμής	0	476 380 427	476 380 427	635 173 903

**Σχ. 2-22: Ενδεικτικό παράδειγμα οφελών ανά συντελεστή C (σε δολάρια ΗΠΑ)**

## Βήμα 4:

Η αξία συστήματος ανά MW για κάθε κατηγορία οφέλους προσδιορίζεται με βάση το συντελεστή C της αποθήκευσης (Σχήμα 2-23).



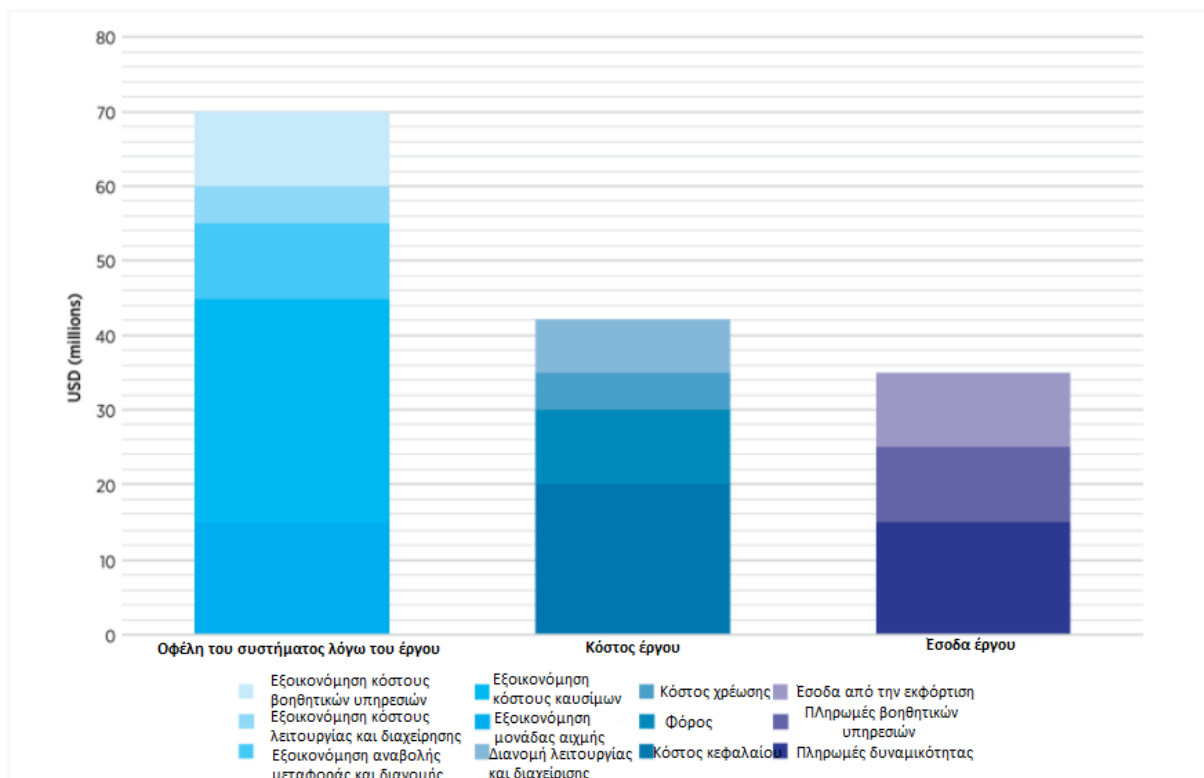
		Μέγεθος αποθήκευσης ενέργειας			
		2C	1C	0.5C	0.25C
		72	344	645	1670
Κατηγορίες Οφελών	"Καλάθι" Οφελών	USD /MW	USD /MW	USD /MW	USD /MW
		2C	1C	0.5C	0.25C
Μείωση κόστους παραγωγής	Εξοικονόμηση κόστους καυσίμων	0	0	176 826	159 314
	Εξοικονόμηση μεταβλητού κόστους λειτουργίας και συντήρησης	0	0	11 499	10 360
Μείωση κόστους μεταφοράς και διανομής	Εξοικονόμηση Άεργου Ισχύος	15	3	2	1
	Αποταμιεύσεις αναβολής μεταφοράς και διανομής	0	0	4 187	3 772
	Εξοικονόμηση "μαύρης" εκκίνησης	6 271	1 306	0	0
Μειωμένη Αιχμή	Εξοικονόμηση κεφαλαίου μονάδας αιχμής	0	1 383 138	738 849	380 387

**Σχ. 2-23: Ενδεικτικό παράδειγμα οφελών ανά συντελεστή C (σε δολάρια ΗΠΑ)**

Μετά τη λογιστικοποίηση των εσόδων που μπορούν να αποτιμηθούν σε χρήμα και σε αξία του συστήματος, καθώς και το κόστος της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας έργου, το μοντέλο σκοπιμότητας του έργου θα πρέπει να συλλέξει τα έσοδα σε χρήμα και να τα συγκρίνει με το κόστος.

### **Κενό οικονομικής βιωσιμότητας και ζήτημα ελλειπόντων χρημάτων**

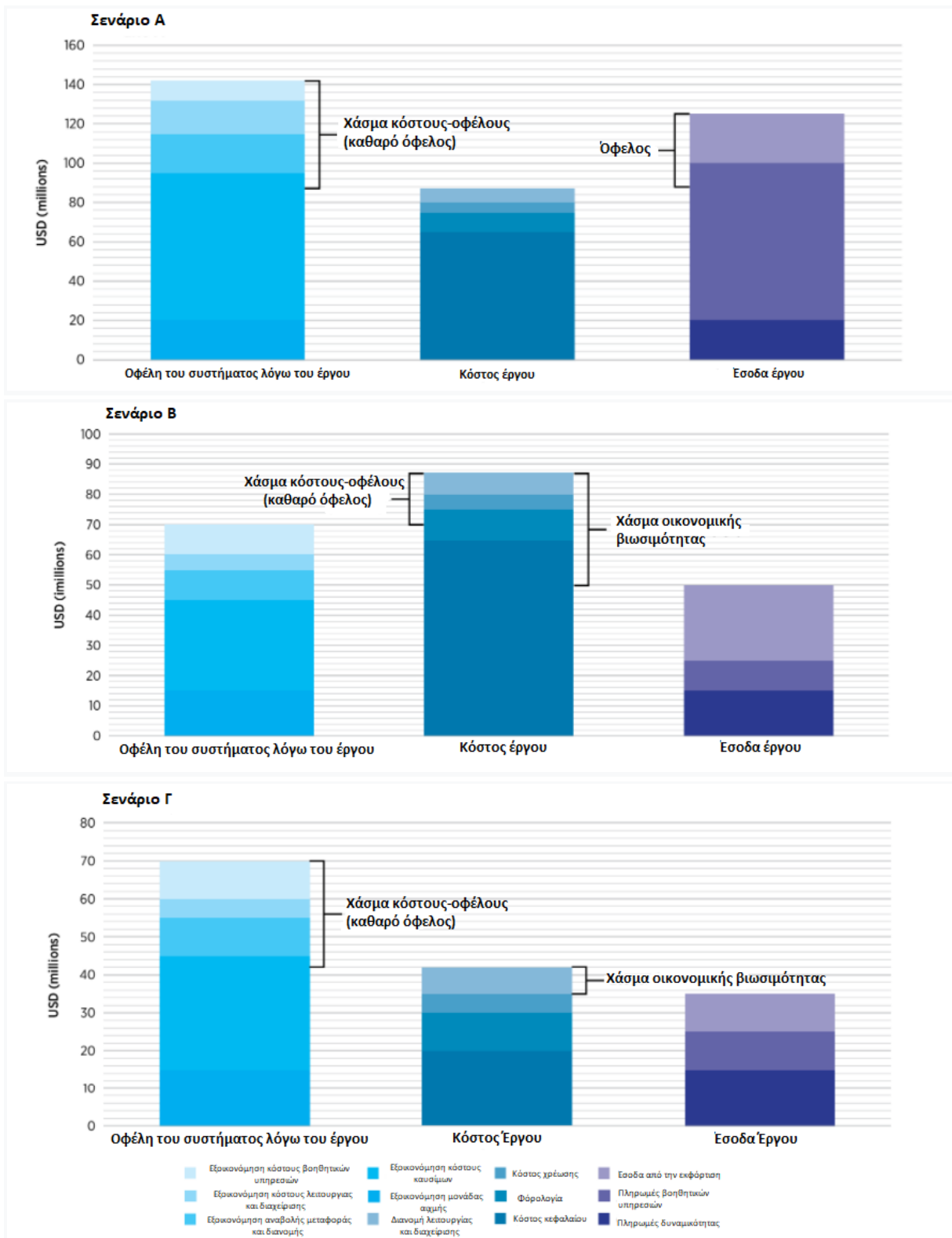
Στο σχήμα 2-24 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα του αποτελέσματος ενός μοντέλου σκοπιμότητας έργου. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, αν και τα οφέλη του συστήματος σε συνδυασμό υπερτερούν του κόστους, τα χρηματικά οφέλη (δηλ. τα έσοδα του έργου) είναι μικρότερα από το κόστος, καθιστώντας το έργο οικονομικά ανέφικτο για τον ιδιοκτήτη του έργου. Η διαφορά μεταξύ του κόστους και του μετρήσιμου οφέλους, ή το οικονομικό χάσμα βιωσιμότητας, εάν είναι μεγαλύτερο του μηδενός, μπορεί να οφείλεται στο κανονιστικό πλαίσιο που δεν επιτρέπει στην αποθήκευση να εισπράττει έσοδα ανάλογα με την αξία του συστήματός του, χάνοντας την ευκαιρία για μείωση του συνολικού κόστους του συστήματος.



**Σχ. 2-24: Ανάλυση κόστους και οφέλους**

Κατά τη σύγκριση του κόστους και των οφελών της αποθήκευσης του έργου, υπάρχουν τρία διαφορετικά πιθανά αποτελέσματα (Σχήμα 2-25).

- α. Εάν τα νομισματοποιημένα οφέλη είναι μεγαλύτερα από το κόστος της αποθήκευσης, το έργο είναι βιώσιμο.
- β. Εάν η αξία του συστήματος είναι μικρότερη από το κόστος του έργου, το έργο έχει λόγο οφέλους προς κόστος μικρότερο από τη μονάδα και δεν αξίζει να συνεχιστεί.
- γ. Εάν η αξία του συστήματος του έργου υπερβαίνει το κόστος της αποθήκευσης, αλλά τα μετρήσιμα οφέλη είναι χαμηλότερα από το κόστος, το έργο έχει συντελεστή οφέλους προς κόστος μεγαλύτερο από τη μονάδα, αλλά δεν μπορεί να αναπτυχθεί επειδή τα μετρήσιμα οφέλη είναι πολύ χαμηλά. Αυτή είναι η στιγμή που οι φορείς χάραξης πολιτικής και οι ρυθμιστικές αρχές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα για να προσδιορίσουν το κενό οικονομικής βιωσιμότητας και να σχεδιάσουν κατάλληλα κίνητρα ή προσαρμογές στο ρυθμιστικό πλαίσιο, έτσι ώστε τα έργα αυτά να αναπτυχθούν και να μειώσουν το συνολικό κόστος του συστήματος.



Σχ. 2-25: Αποτελέσματα τριών σεναρίων που υπόκεινται σε ανάλυση κόστους-οφέλους

## 2.3. Συμπεράσματα

### Η χρήση μοντέλων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας για την αξιολόγηση της αξίας και της βιωσιμότητας

Καθώς το ποσοστό της ανανεώσιμης ενέργειας αυξάνεται στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας αρχίζει να αναγνωρίζεται από τους ενδιαφερόμενους ως σημαντικό εργαλείο για την αποτελεσματική ενσωμάτωσή της. Ανάλογα με την πρωταρχική υπηρεσία που προσφέρει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας ωστόσο, άλλες τεχνολογίες μπορεί να είναι ικανές να καλύψουν την ίδια ανάγκη. Η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει επομένως να αξιολογείται στο σύστημα και να συγκριθεί με άλλες τεχνολογίες.

Προηγούμενες έρευνες έχουν αποδείξει ότι η στοίβαξη των εσόδων από την ποικιλία των υπηρεσιών που μπορεί να προσφέρει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας είναι το κλειδί για την ακριβή αποτίμηση των πλεονεκτημάτων της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και απαραίτητη προϋπόθεση για την εμπορική βιωσιμότητά της. Το Πλαίσιο που περιγράφεται στην παρούσα έκθεση δίνει έμφαση στα οφέλη (συμπεριλαμβανομένων των ροών εσόδων) που μπορεί να αποφέρει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας τόσο στους ιδιοκτήτες της και, το σημαντικότερο, στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Το Πλαίσιο εξετάζει τις υπηρεσίες που παρέχει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και οι τεχνολογίες αποθήκευσης συγκρίνονται ως προς την καταλληλότητα για την παροχή αυτών των υπηρεσιών. Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με και χωρίς αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας αξιολογείται στη συνέχεια για να προσδιοριστούν τα οφέλη που μπορεί να επιφέρει στο δίκτυο. Η κατανομή των ενός μεμονωμένου έργου αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μοντελοποιείται και, τέλος, αξιολογείται η οικονομική βιωσιμότητά του για να προσδιοριστεί εάν απαιτούνται παρεμβάσεις πολιτικής για την παροχή κινήτρων για την ανάπτυξη έργων. Οι φάσεις που ορίζονται στο πλαίσιο είναι απαραίτητα βήματα για την ορθή αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων που η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιφέρει στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε επίπεδο έργου, τα οφέλη του συστήματος από την αποθήκευση κατηγοριοποιούνται ως μετρήσιμα ή μη μετρήσιμα. Εάν τα συνολικά οφέλη υπερβαίνουν το κόστος, αλλά τα νομισματοποιημένα οφέλη είναι μικρότερα από το κόστος, αυτό σημαίνει ότι οι προγραμματιστές/ιδιοκτήτες έργων δεν έχουν αρκετά οικονομικά κίνητρα για την κατασκευή ενός έργου, ακόμη και αν αυτό έχει λόγο οφέλους προς κόστος μεγαλύτερο από 1. Στην περίπτωση αυτή, είναι πιθανό να χρειαστεί παρέμβαση πολιτικής για να δοθούν κίνητρα την ανάπτυξη ενός τέτοιου έργου, ώστε να αξιοποιηθεί το συνολικό κοινωνικό όφελος.)

# 3ο Μέρος: Πραγματικές περιπτώσεις αποθήκευσης σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

## 3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το τρίτο και τελευταίο μέρος, στόχος είναι να παρουσιαστούν οκτώ επιλεγμένες περιπτώσεις χρήσης της αποθήκευσης ενέργειας στην πράξη. Τυπικές χρήσεις επιβεβαιώνονται από παραδείγματα οικονομικά αποδοτικής ανάπτυξης της αποθήκευσης με βάση μια συγκεκριμένη περίπτωση, όπου συχνά υποστηρίζεται από πρόσθετα έσοδα από άλλες χρήσεις, αναδεικνύοντας την ικανότητα της αποθήκευσης να συσσωρεύει πολλαπλές ροές εσόδων.

Κάθε περίπτωση αποσκοπεί στην παροχή συγκεκριμένων παραδειγμάτων α) για το πώς οι εν λόγω χρήσεις οδηγούνται από την επιταχυνόμενη ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, β) πώς οι προκλήσεις έχουν μετατραπεί σε επιχειρηματική υπόθεση, γ) πώς αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη της αποθήκευσης, και δ) πώς η αποθήκευση αποδίδει στην παροχή αυτών των υπηρεσιών σε σύγκριση με άλλα περιουσιακά στοιχεία του δικτύου ή γεννήτριες.

Οι οκτώ περιπτώσεις που επιλέχθηκαν είναι

1. Λειτουργικές εφεδρείες
2. Ευέλικτη κλιμάκωση
3. Ενεργειακό αρμπιτράζ
4. Εξομάλυνση ανανεώσιμης ενέργειας
5. Αναβολή επενδύσεων μεταφοράς και διανομής
6. Εξοικονόμηση κεφαλαίου σταθμών αιχμής
7. Ενεργοποίηση υψηλών μεριδίων ανανεώσιμης ενέργειας σε περιβάλλον εκτός δικτύου
8. Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας πίσω από τον μετρητή.

Οι περιπτώσεις 1 έως 7 επικεντρώνονται στην αποθήκευση σε επίπεδο συστήματος μεγάλης κλίμακας, αλλά τα περισσότερα από αυτά μπορούν επίσης να εφαρμοστούν σε συστήματα αποθήκευσης μικρής κλίμακας. Αποθήκευση σε συστήματα μικρής κλίμακας εξετάζεται χωριστά στην περίπτωση 8, η οποία επικεντρώνεται στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας πίσω από τον μετρητή.

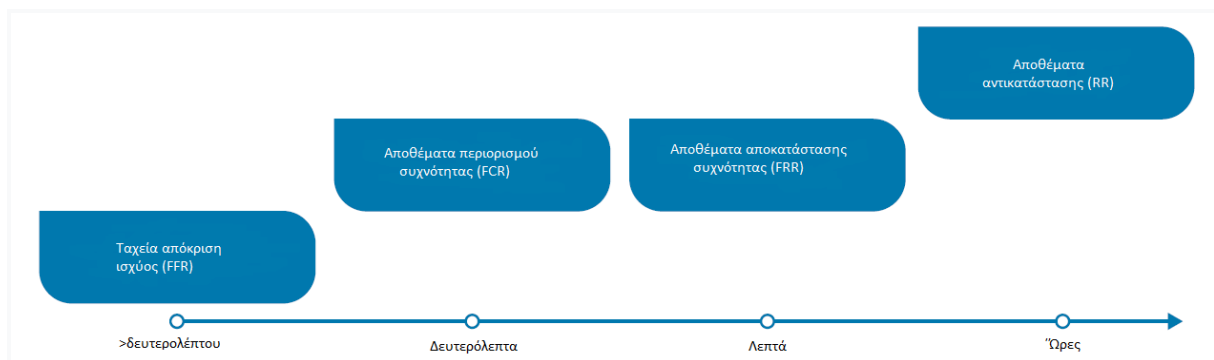
## 3.2 Παραδείγματα Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας

### 3.2.1 Περίπτωση 1: Λειτουργικές εφεδρείες

1. Πρόκληση - Αυξημένη ανάγκη για λειτουργικά αποθέματα και ταχύτερη ανταπόκριση

Για τη διασφάλιση ενός ασφαλούς και αξιόπιστου εφοδιασμού με ηλεκτρική ενέργεια, η παραγωγή πρέπει να είναι ανά πάσα στιγμή ίση με τη ζήτηση. Εάν η παραγωγή υπερβαίνει τη ζήτηση, τότε η συχνότητα θα αυξηθεί, ενώ θα μειωθεί αν η παραγωγή υπολείπεται της ζήτησης. Οποιαδήποτε άμεση πτώση ή αύξηση της συχνότητας επιβραδύνεται αρχικά από την αδράνεια των σύγχρονων γεννητριών και στη συνέχεια ανακόπτεται από την απόκριση των ρυθμιστών των γεννητριών που διαθέτουν αυτή τη δυνατότητα. Επιπλέον, οι διαχειριστές του συστήματος προμηθεύονται ένα σύνολο λειτουργικών εφεδρειών ταχείας δράσης για να γεφυρώσουν τυχόν αναντιστοιχίες μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.

Τα λειτουργικά αποθέματα μπορούν να οριστούν ως πρόσθετη χωρητικότητα, πάνω από τη χωρητικότητα που απαιτείται για την κάλυψη του πραγματικού φορτίου ζήτησης, η οποία διατίθεται είτε σε απευθείας σύνδεση είτε βρίσκεται σε ετοιμότητα για να βοηθήσει σε περίπτωση αύξησης του φορτίου ή μείωσης της παραγωγής. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι λειτουργικών εφεδρειών, με διαφορετικές ονοματολογίες ανάλογα με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Στο σχήμα 3-1 παρουσιάζεται μία σύνοψη των λειτουργικών αποθεμάτων με τη χρήση της ευρωπαϊκής ονοματολογίας.



Σχ. 3-1: Σύνοψη των λειτουργικών εφεδρειών

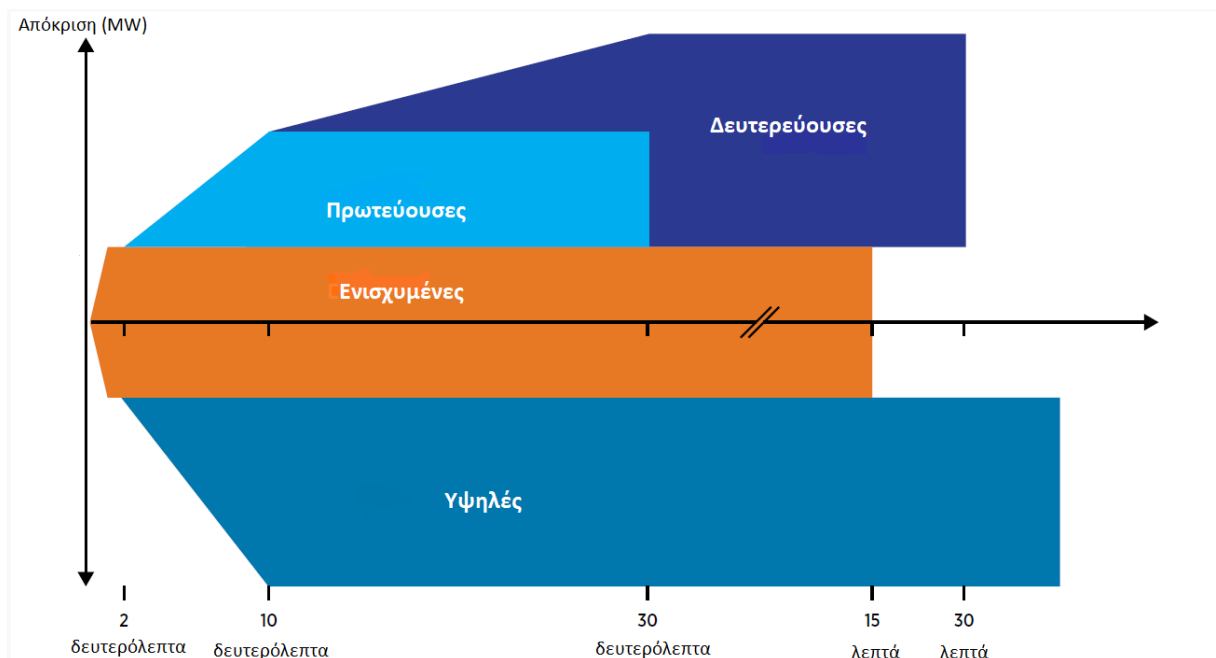
Η FCR χρησιμοποιείται για τη διακοπή της συχνότητας και πρέπει να δράσει εντός των πρώτων δευτερολέπτων μετά την απρόβλεπτη κατάσταση. Η FRR αποκαθιστά τη συχνότητα στην αρχική της ονομαστική τιμή και ενεργεί εντός 30 δευτερολέπτων

και η RR χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση του FRR και ενεργεί εντός 15 λεπτών.

## 2. Καινοτόμα προϊόντα για την παροχή εφεδρειών

Οι μπαταρίες μπορούν να παρέχουν ταχύτερη απόκριση από ό,τι οι θερμικές γεννήτριες. Αυτό σημαίνει ότι συγκεκριμένα προϊόντα, όπως η FFR (ταχεία απόκριση συχνότητας), μπορούν να σχεδιαστούν για να αντικαταστήσουν πολλαπλές μονάδες συμβατικών προϊόντων πρωτογενούς εφεδρείας με μία μόνο μονάδα με μεγαλύτερη απόκριση. Ωστόσο, η αποθήκευση έχει υψηλό κόστος επένδυσης και πρέπει να ανταγωνίζεται άλλους δυνητικούς πόρους εφεδρείας. Για αυτό το λόγο, καινοτόμα προϊόντα θα μπορούσαν να είναι χρήσιμα για να ξεκλειδώσουν την πλήρη αξία της αποθήκευσης για το σύστημα.

Το προϊόν EFR (βελτιωμένη απόκριση συχνότητας), το οποίο ορίζεται ως μια δυναμική υπηρεσία όπου η ενεργός ισχύς μεταβάλλεται αναλογικά ως απόκριση στις μεταβολές της συχνότητας του συστήματος. Η υπηρεσία EFR δημιουργήθηκε ειδικά για αποθήκευση ενέργειας και απαιτεί απόκριση εντός 1 δευτερολέπτου μόλις η συχνότητα υπερβεί ένα όριο, το οποίο μπορεί να είναι είτε  $\pm 0,05$  Hz (υπηρεσία 1, ευρείας ζώνης) είτε  $\pm 0,015$  Hz (υπηρεσία 2, στενής ζώνης). Στο σχήμα 3-2 το EFR είναι τοποθετημένο σε σχέση με τις άλλες υπηρεσίες απόκρισης συχνότητας στο Ηνωμένο Βασίλειο.



Σχ. 3-2: Υπηρεσίες απόκρισης συχνότητας στο Ηνωμένο Βασίλειο

Σφάλματα πρόβλεψης για την ηλιακή και αιολική ενέργεια πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον υπολογισμό των απαιτήσεων εφεδρείας του συστήματος για να αντιμετωπιστεί η αβεβαιότητα του καθαρού φορτίου

Ένα επιπλέον προϊόν είναι το FFR, το οποίο αναφέρεται ως "παροχή μίας ταχείας αύξησης ή μείωσης της ενεργού ισχύος κατά την παραγωγή ή ενός φορτίου σε χρονικό πλαίσιο δύο δευτερολέπτων ή λιγότερο, σε διόρθωση μιας ανισορροπίας προσφοράς-ζήτησης και υποβοήθηση της διαχείρισης συχνότητας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας". Το FFR ενεργοποιείται με συχνότητα 59,85 Hz, χρειάζεται πλήρη απόκριση σε 0,25 δευτερόλεπτα και απαιτεί διάρκεια 15 λεπτών. Αυτή η τελευταία απαίτηση θα είναι ζωτικής σημασίας για τη συμμετοχή της αποθήκευσης, καθώς αρκετή ενέργεια θα πρέπει να αποθηκευτεί για να εκφορτιστεί για 15 λεπτά.

### 3. Επίδραση των λειτουργικών εφεδρειών στην ανάπτυξη της αποθήκευσης

Τον Αύγουστο του 2016, η National Grid εγκαινίασε μία δημοπρασία 200 MW για την παροχή EFR στο Ηνωμένο Βασίλειο. Η δημοπρασία αυτή έλαβε 64 προσφορές, εκ των οποίων οι 61 ήταν έργα αποθήκευσης με μπαταρίες, 2 ήταν έργα απόκρισης ζήτησης και 1 ήταν θερμική παραγωγή. Από αυτές τις προσφορές, η National Grid επέλεξε 8 έργα αποθήκευσης μπαταριών με μέση τιμή 9,44 GBP ανά MW του EFR ανά ώρα, για να εξασφαλίσει συνολικά 201 MW αποθήκευσης μπαταριών για 4 χρόνια. Συγκεκριμένα παραδείγματα από αυτή τη δημοπρασία είναι τα δύο έργα που ανατέθηκαν στη Low Carbon για την εγκατάσταση μπαταριών ιόντων λιθίου (Li-ion), το Glassenbury (40 MW) και Cleator (10 MW). Το Glassenbury (Εικόνα 3-1) έχει καθαρή δυναμικότητα 28 μεγαβατώρες (MWh), ενώ η καθαρή χωρητικότητα του Cleator είναι 7 MWh. Τα δύο αυτά έργα παρέχουν επί του παρόντος το ένα τέταρτο της συνολικής χωρητικότητας EFR στο Ηνωμένο Βασίλειο και συμβάλλουν στη σταθεροποίηση της συχνότητας στο δίκτυο.





**Εικόνα 3-1: Το έργο Glassenbury της Low Carbon**

Ένα άλλο παράδειγμα ανάπτυξης αποθήκευσης για την παροχή ρύθμισης της συχνότητας είναι η μπαταρία 100 MW/129 MWh που έχει εγκαταστήσει η Tesla στη Νότια Αυστραλία με ονομασία Hornsdale Power Reserve (Εικόνα 3-2), δεδομένης της εγγύτητάς του αιολικού πάρκου Hornsdale ισχύος 309 MW στο Jamestown.



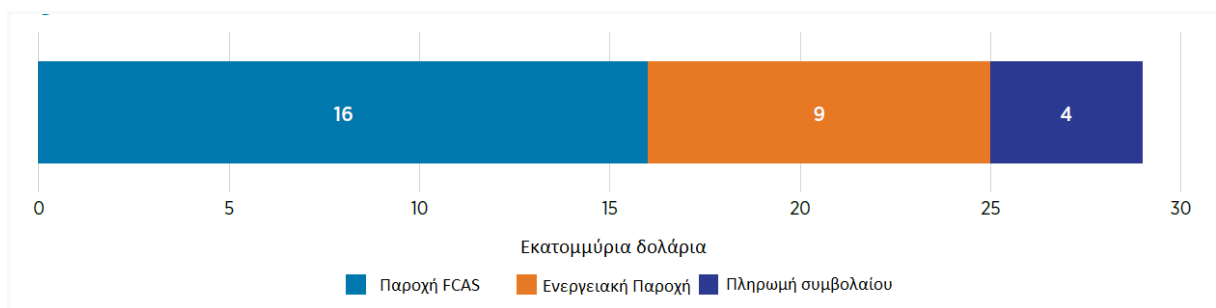
**Εικόνα 3-2: Το έργο Hornsdale power reserve στη Νότια Αυστραλία**

Το έργο αυτό ήταν η μεγαλύτερη εγκατάσταση μπαταριών ιόντων λιθίου στον κόσμο κατά τη στιγμή της εγκατάστασής του. Τέθηκε σε λειτουργία μετά το μπλακ άουτ της Νότιας Αυστραλίας το 2016 για να παρέχει έλεγχο της συχνότητας και βραχυπρόθεσμη ασφάλεια του δικτύου και να λειτουργεί από την 1η Δεκεμβρίου 2017. Το συνολικό κόστος της μπαταρίας ήταν 89 εκατομμύρια δολάρια, το οποίο οδηγεί σε 690 δολάρια ανά κιλοβατώρα (kWh). Η τιμή αυτή φαίνεται υψηλή, δεδομένου ότι το κόστος των Tesla Powerwall εκείνη την εποχή ήταν 642 δολ/kWh, αλλά η μπαταρία έπρεπε να κατασκευαστεί σε 100 ημέρες και μόνο η Tesla μπορούσε να κάνει μια προσφορά που να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις, αυξάνοντας έτσι την τιμή.

#### 4. Αποθήκευση που παρέχει λειτουργικά αποθέματα

Στην έργο Hornsdale power reserve, δεδομένου ότι η μπαταρία ήδη λειτουργεί για πάνω από ένα έτος, ορισμένοι συγγραφείς έχουν αναλύσει την αξία που παρέχει και τα έσοδα που αποφέρει. Πρώτον, η Neoen, η εταιρεία στην οποία ανήκει το έργο, κερδίζει 4 εκατ. ευρώ (περίπου 2,8 εκατ. δολάρια ΗΠΑ) κάθε χρόνο και θα το κάνει για 10 χρόνια, ώστε η κυβέρνηση να μπορεί να χρησιμοποιήσει 90 MW και 10 MWh της μπαταρίας για την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών ελέγχου συχνότητας. Το υπόλοιπο της χωρητικότητας (30 MW/119 MWh) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συμμετοχή σε διάφορες αγορές, και αυτό είναι από το οποίο η μπαταρία έχει κερδίσει το μεγαλύτερο μέρος των εσόδων της.

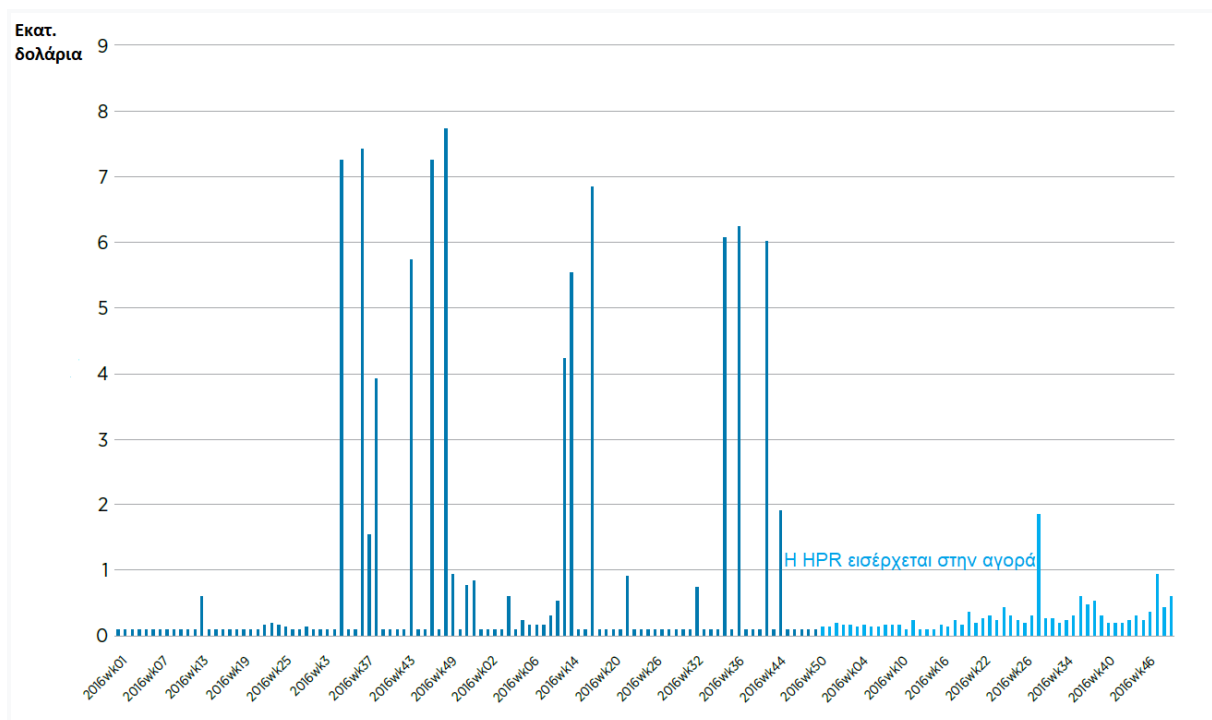
Εξαιρουμένων των ετήσιων 4 εκατ. ευρώ (2,8 εκατ. δολ), τα συνολικά έσοδα της μπαταρίας από την παροχή επικουρικών υπηρεσιών και αρμπιτράζ ήταν 25 εκατ. δολάρια (περίπου 17,5 εκατ. δολ) το 2018 (Σχήμα 3-3).



**Σχ. 3-3: Έσοδα της Hornsdale Power Reserve το 2018**

Επιπλέον, ο Διαχειριστής της αυστραλιανής αγοράς ενέργειας, δήλωσε ότι το τέταρτο τρίμηνο του 2018 η μπαταρία έλαβε 4 εκατ. δολάρια από την αγορά επικουρικών υπηρεσιών μόνο. Αν υποθέσουμε ότι αυτό επαναλαμβάνεται κάθε τρίμηνο, από τα 25 εκατ. δολάρια, τα 16 εκατ. θα προέρχονταν από την παροχή επικουρικών υπηρεσιών και 9 εκατομμύρια από το ενεργειακό αρμπιτράζ.

Επομένως, η παροχή επικουρικών υπηρεσιών είναι η κύρια πηγή εσόδων της. Επιπλέον, υποθέτοντας έσοδα ύψους 29 εκατ. δολάρια(25 + 4) ετησίως, το έργο θα ανακτήσει τις επενδύσεις του (89 εκατ. - πάνω από 60 εκατ.) σε περίπου τέσσερα χρόνια. Παρά ταύτα, η Tesla ισχυρίζεται ότι δεν έχει πληρωθεί για περισσότερα από το ένα τρίτο των επικουρικών υπηρεσιών που παρείχαν οι μπαταρίες της στη Νότια Αυστραλία, επειδή είναι πολύ γρήγορο για να καταμετρηθεί, αλλά όπως εξηγήθηκε στην προηγούμενη ενότητα, ο Διαχειριστής σχεδιάζει να εφαρμόσει μια υπηρεσία FFR από την οποία η μπαταρία θα είναι σε θέση να αυξήσει τη ροή εσόδων της. Όσον αφορά στην αξία, οι μπαταρίες αποδεδειγμένα έχουν μειώσει το κόστος των επικουρικών υπηρεσιών στη Νότια Αυστραλία (Σχήμα 3-4).



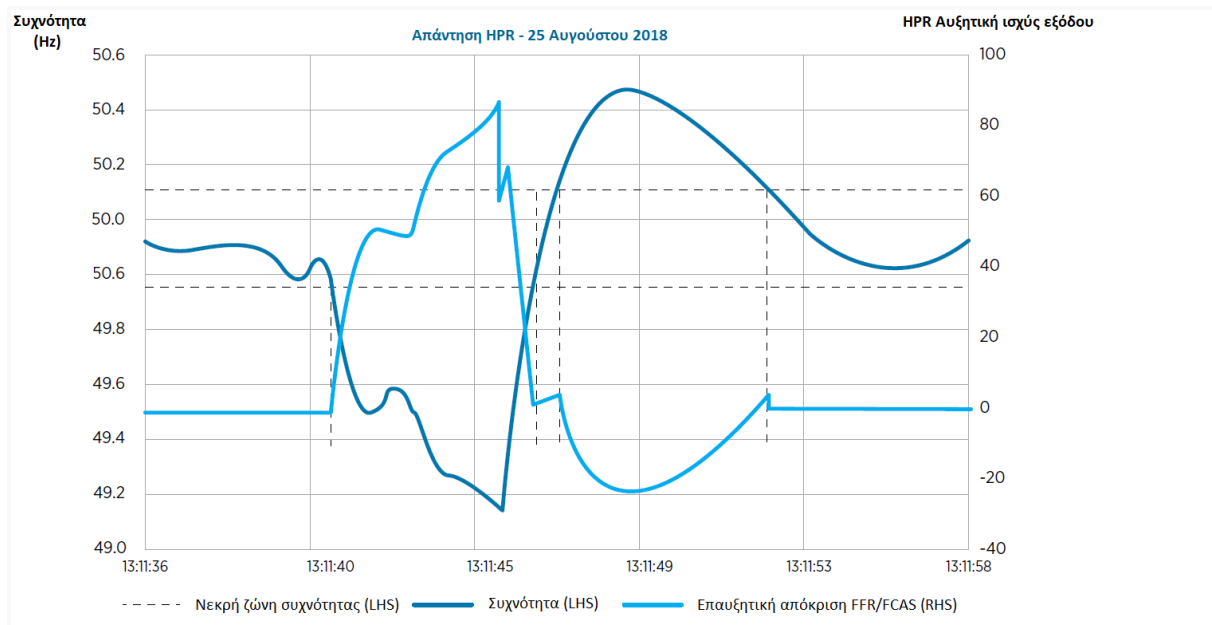
**Σχ. 3-4: Συνολικές πληρωμές επικουρικών υπηρεσιών της Νότιας Αυστραλίας**

.Δεδομένα δείχνουν ότι κατά τη διάρκεια του τέλους του 2016 και το 2017 οι πληρωμές σε υφιστάμενους παραγωγούς ορυκτών καυσίμων ήταν πολύ υψηλές, ξεπερνώντας τα 7 εκατ. δολάρια σε ορισμένες περιόδους έξι εβδομάδων. Με την εγκατάσταση του έργου Hornsdale, η υπηρεσία αυτή μπορεί να παρασχεθεί με φθηνότερο τρόπο. Το 2018 η συνολική εξοικονόμηση στην αγορά επικουρικών υπηρεσιών εκτιμάται σε 40 εκατομμύρια δολάρια.

Εκτός από την οικονομία, η μπαταρία παρέχει επίσης γρήγορη απόκριση που διατηρεί τη συχνότητα εντός των προκαθορισμένων ορίων.

Αυτό αποδείχθηκε στις 25 Αυγούστου 2018, όταν η μπαταρία απέτρεψε την απόρριψη φορτίου. Την ημερομηνία αυτή κεραυνός έπληξε τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας στο βόρειο τμήμα της Νέας Νότιας Ουαλίας, γεγονός που διέκοψε όλες τις

τις διασυνδέσεις μεταξύ της Νότιας Αυστραλίας και άλλων πολιτειών. Τη στιγμή που συνέβη αυτό, η Νότια Αυστραλία εισήγαγε ενέργεια από τη Βικτώρια και ως εκ τούτου δημιουργήθηκε μια έλλειψη ενέργειας που προκάλεσε πτώση της συχνότητας. Ωστόσο, χάρη στο Hornsdale, το οποίο ανταποκρίθηκε σε 0,1 δευτερόλεπτα, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας συνέχισε να λειτουργεί κανονικά (Σχήμα 3-5).



**Σχ. 3-5: Απόκριση του Hornsdale κατά τη διάρκεια του συμβάντος υποσυχνότητας της 25ης Αυγούστου 2018 στη Νότια Αυστραλία**

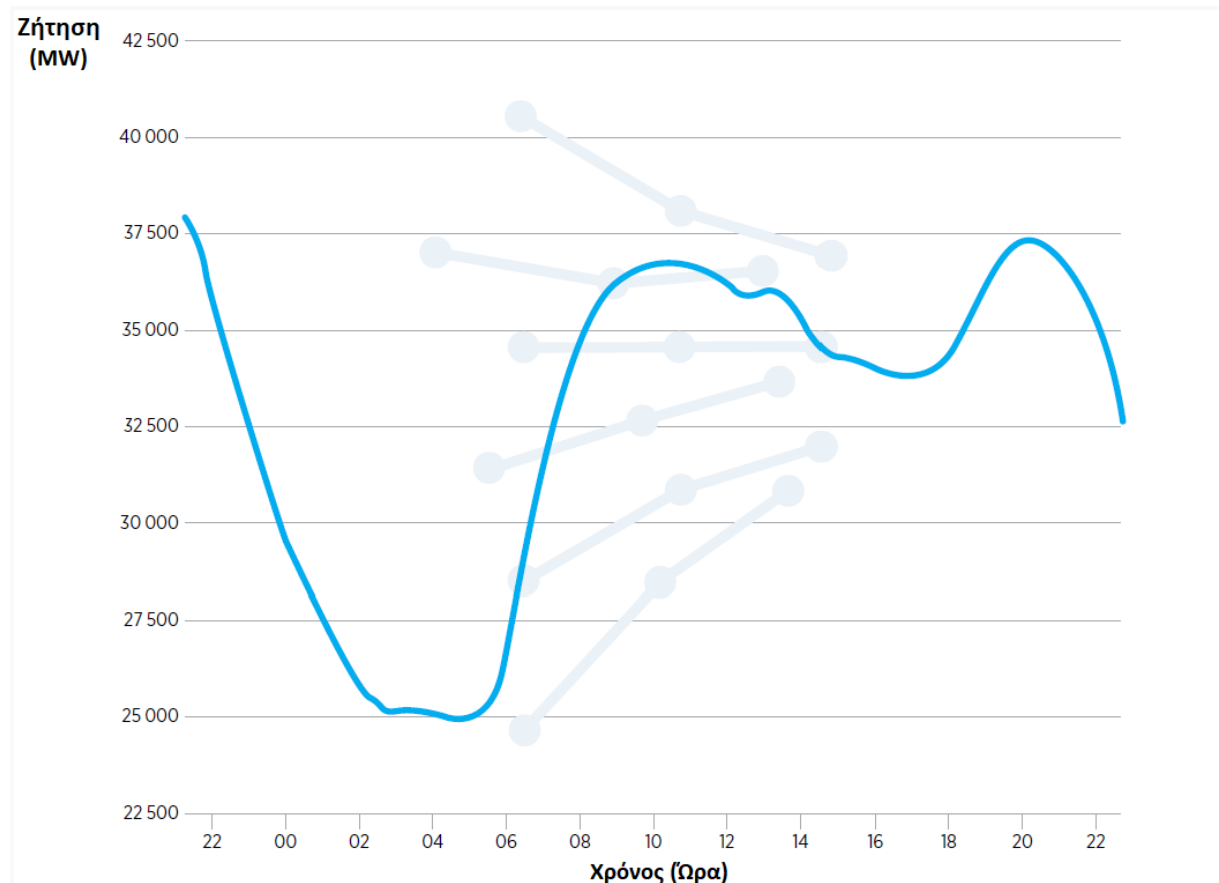
Όταν η συχνότητα μειώθηκε ξαφνικά, η ισχύς της μπαταρίας αυξήθηκε στα 80 MW για την παροχή σταθερότητας. Δεδομένης της μεγάλης αύξησης της παραγωγής, η συχνότητα κινήθηκε προς την αντίθετη κατεύθυνση, φθάνοντας πάνω από 50,4 Hz, οπότε η μπαταρία άρχισε να φορτίζει στα -20 MW για να μειώσει τη συχνότητα. Μετά από αυτό, η συχνότητα είχε ήδη σταθεροποιηθεί (εντός των ορίων ασφαλείας) και η μπαταρία επανήλθε σε κατάσταση αναμονής.

### 3.2.2 Περίπτωση 2: Ευέλικτη αύξηση

#### 1. Πρόκληση - Η καμπύλη “πάπιας”

Μία από τις πιο χαρακτηριστικές καμπύλες στην ανάλυση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι η καμπύλη ζήτησης ή φορτίου, η οποία αντιπροσωπεύει την ενέργεια που απαιτείται από τους πελάτες σε κάθε περίοδο (δευτερόλεπτα, λεπτά, ώρες). Στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας όπου η διείσδυση ανανεώσιμης ενέργειας είναι χαμηλή, η καμπύλη αυτή συχνά χαρακτηρίζεται από δύο αιχμές, η

πρώτη το πρωί όταν οι άνθρωποι είναι στο σπίτι και ετοιμάζονται να πάνε στη δουλειά τους, και η δεύτερη το βράδυ όταν οι άνθρωποι επιστρέφουν από τη δουλειά και χρησιμοποιούν τις ηλεκτρικές συσκευές τους (π.χ. για μαγείρεμα, παρακολούθηση τηλεόρασης). Το σχήμα αυτής της καμπύλης μερικές φορές παρομοιάζεται με μια καμήλα και την καμπούρα της (Σχήμα 3-6), γι' αυτό και αναφέρεται ως "καμπύλη καμήλας".

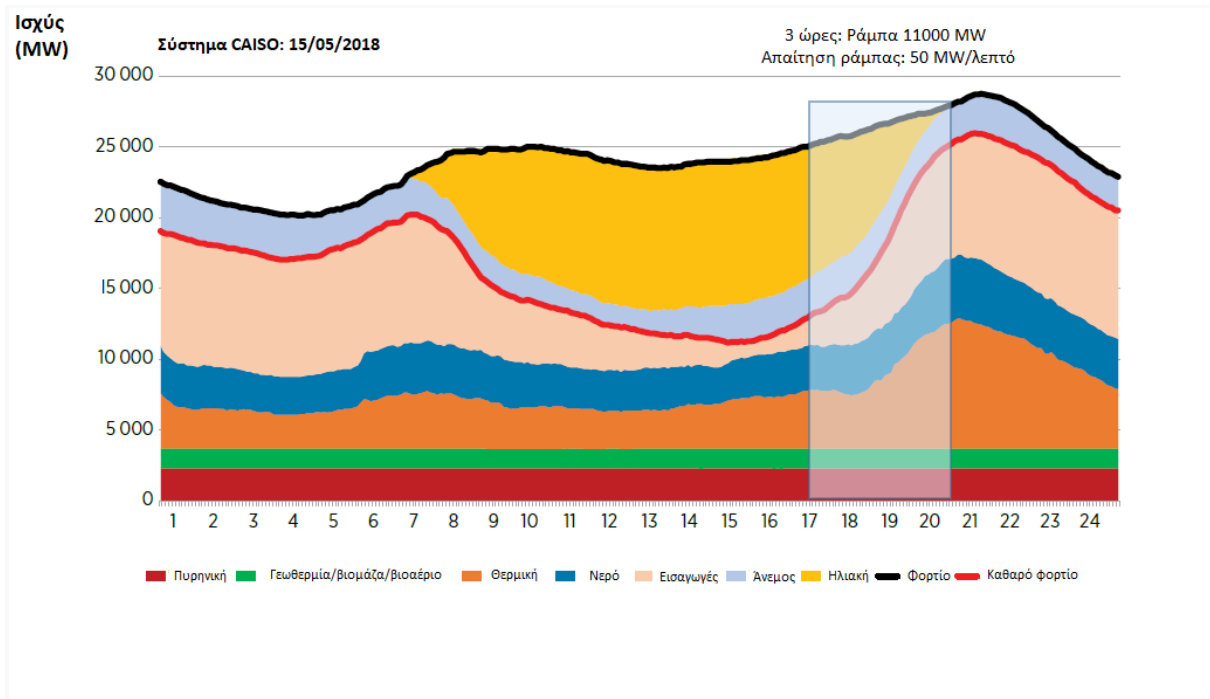


**Σχ. 3-6: Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στο ισπανικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, 31 Ιανουαρίου 2019**

Η καμπύλη καθαρού φορτίου ισούται με τη ζήτηση του συστήματος μείον την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Όταν η διείσδυση της ανανεώσιμης ενέργειας και πιο συγκεκριμένα η διείσδυση των φωτοβολταϊκών, αρχίζει να αυξάνεται, το σχήμα του καθαρού φορτίου αλλάζει δραματικά. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά χαρακτηρίζονται κυρίως από τη μεταβλητότητά τους: ο ήλιος ανατέλλει το πρωί αυξάνοντας την ηλιακή φωτοβολταϊκή παραγωγή, η οποία βρίσκεται στο μέγιστό της προς τα μέσα της ημέρας, και δύει το βράδυ, με αποτέλεσμα η ηλιακή φωτοβολταϊκή παραγωγή να εξαφανίζεται γρήγορα. Με υψηλή διείσδυση, η μεταβλητότητα των φωτοβολταϊκών θα αυξήσει την προς τα κάτω απαίτηση του συστήματος το πρωί και την απαίτηση ανοδικής αναβάθμισης το

βράδυ. Η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια μπορεί επίσης να δημιουργήσει κατάσταση υπερπροσφοράς στη μέση της ημέρας. Αυτό θα προκαλέσει τη μετατροπή της "καμπύλης καμής" στο Σχήμα 29 σε "καμπύλη πάπιας" (Σχήμα 3-7).



**Σχ. 3-7: Καθαρή καμπύλη φορτίου (καμπύλη πάπιας) για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Καλιφόρνια, 15 Μαΐου 2018**

Στην Καλιφόρνια η πρώτη κλιμάκωση σε μια ανοδική κατεύθυνση εμφανίζεται το πρωί, ξεκινώντας γύρω στις 4 π.μ. Η δεύτερη, με καθοδική κατεύθυνση, συμβαίνει μετά την ηλιοφάνεια γύρω στις 7 π.μ., όταν η συμβατική παραγωγή σε απευθείας σύνδεση αντικαθίσταται από την προσφορά από ηλιακούς πόρους παραγωγής. Καθώς ο ήλιος δύει, ξεκινώντας γύρω στις 5 μ.μ., και η ηλιακή παραγωγή τελειώνει, ο διαχειριστής του δικτύου πρέπει να διαθέσει πόρους που να μπορούν να καλύψουν την τρίτη και σημαντικότερη ημερήσια κλιμάκωση, η οποία απαιτεί περίπου 11 000 MW παραγωγής για να αυξηθεί ή να ξεκινήσει σε μόλις 3 ώρες. Αυτό συνεπάγεται ένα σύστημα με ανοδική ικανότητα ανάκαμψης 50 MW/λεπτό και επομένως ένα πολύ ευέλικτο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

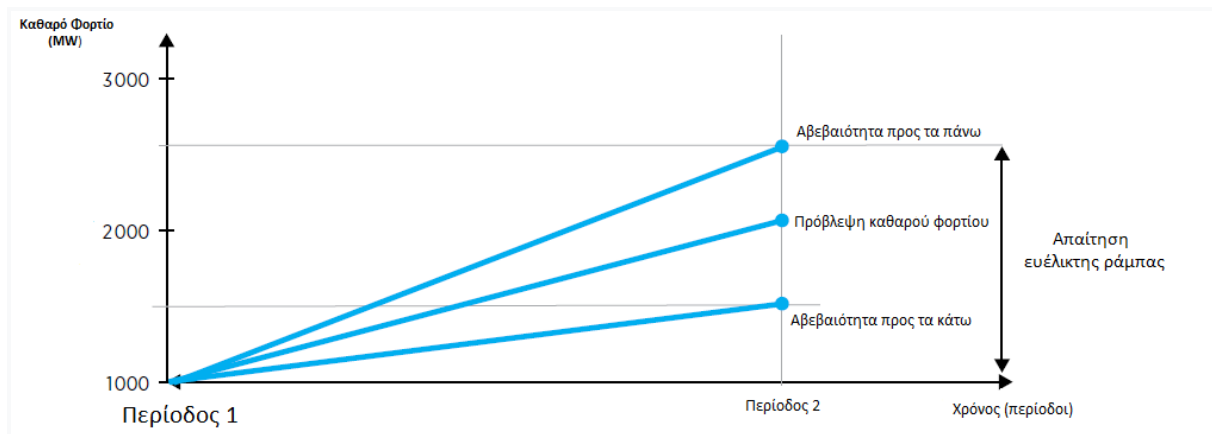
## 2. Η ευέλικτη αναβάθμιση ως λύση

Είναι σαφές ότι η καμπύλη πάπιας μπορεί να θέσει ζήτημα αξιοπιστίας και οι φορείς εκμετάλλευσης πρέπει να βρουν μια λύση που να συμβάλλει στην εξομάλυνσή της. Ορισμένοι ανεξάρτητοι διαχειριστές συστημάτων (ISO) στις Ηνωμένες Πολιτείες έχουν ήδη εφαρμόσει αυτό που αναφέρεται ως το ευέλικτο προϊόν ράμπας

(κλιμάκωσης) (FRP), το οποίο επιτρέπει στον ISO να προμηθεύεται αρκετή ικανότητα αναβάσεων στο σύστημα και να αποφύγει τυχόν ανισορροπία ισχύος.

Το FRP είναι μια επικουρική υπηρεσία και έχει συνήθως δύο ξεχωριστά προϊόντα, ένα για την ανοδική αύξηση που ονομάζεται flexible ramping-ευέλικτη ανάκαμψη προς τα πάνω-up (FRU) και ένα άλλο για την καθοδική, που ονομάζεται flexible ramping down-ευέλικτη ανάκαμψη προς τα κάτω (FRD). Το προϊόν ορίζεται ως η συνεκτίμηση της μεταβολής του καθαρού φορτίου, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις ράμπας τόσο της ζήτησης όσο και της ανανεώσιμης ενέργειας, και στη συνέχεια αντικατοπτρίζει την αβεβαιότητα της πρόβλεψης της ράμπας.

Αυτή η τελευταία συνιστώσα, όπως και οι απαιτήσεις εφεδρείας σε ορισμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, προσπαθεί να λάβει υπόψη τα σφάλματα πρόβλεψης στα προφίλ ζήτησης και ανανεώσιμης ενέργειας. Στο σχήμα 3-8 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα για το ποια θα ήταν η απαίτηση ράμπας του FRP δεδομένης μιας καμπύλης καθαρού φορτίου και της αβεβαιότητας πρόβλεψής της.



**Σχ. 3-8: Υπολογισμός απαίτησης ράμπας για το FRP**

Για τον υπολογισμό της απαίτησης αύξησης κατά την περίοδο 1, ο φορέας εκμετάλλευσης έχει τρία σημεία στην περίοδο 2 που αντιστοιχούν στο προβλεπόμενο (αναμενόμενο) καθαρό φορτίο της επόμενης περιόδου και την αβεβαιότητα αυτού του καθαρού φορτίου, που είναι υψηλότερο ή χαμηλότερο. Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 30, η απαίτηση FRP είναι μόνο ευέλικτη αύξηση- ωστόσο, εάν η αβεβαιότητα προς τα κάτω ήταν χαμηλότερη από το καθαρό φορτίο της περιόδου 1 (π.χ. 500 MW), θα υπήρχε επίσης απαίτηση ευέλικτης αναβάθμισης προς τα κάτω. Όσον αφορά στην τιμή αυτής της επικουρικής υπηρεσίας, είναι συνήθως η οριακή τιμή της απαίτησης αύξησης περιορισμού και υποδηλώνει το χρηματικό ποσό που ο ISO θα πρέπει να πληρώσει για να προμηθευτεί ένα πρόσθετο MW/λεπτό ράμπας για το επόμενο διάστημα.

Ο πιο γνωστός ISO με FRP σε εφαρμογή είναι ο οργανισμός της Καλιφόρνιας Independent System Operator (CAISO). Το προϊόν αυτό εφαρμόστηκε τον Νοέμβριο του 2016 και χρησιμοποιεί τα 15 λεπτά και τις αγορές των 5 λεπτών για την προμήθεια της υπηρεσίας.

### 3. Επίδραση της ευέλικτης ράμπας στην ανάπτυξη της αποθήκευσης

Το FRP αποτιμά σε χρήμα την ταχεία αναβάθμιση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, επιτρέποντας στους πόρους αποθήκευσης να κερδίζουν χρήματα από αυτό. Η εισαγωγή αυτής της επικουρικής υπηρεσίας σε ορισμένες αγορές θα μπορούσε επομένως να οδηγήσει στην ανάπτυξη τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας.

Για παράδειγμα, η Καλιφόρνια προωθεί την ανάπτυξη των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, με στόχο 1,3 GW νεοεγκατεστημένης αποθήκευσης έως το 2020, σύμφωνα με την απαίτηση της California Public Utilities Επιτροπής της Καλιφόρνιας. Από το 2016 συνολικά 80 MW νέων μπαταριών έχουν εγκατασταθεί στην CAISO (California Independent System Operator), αποδίδοντας συνολικά περίπου 150 MWh, συμπεριλαμβανομένης της μεγαλύτερης εγκατάστασης μπαταρίας λιθίου στη Βόρεια Αμερική (30 MW/120 MWh), που βρίσκεται στο El Escondido και ανήκει στην San Diego Gas and Electric.

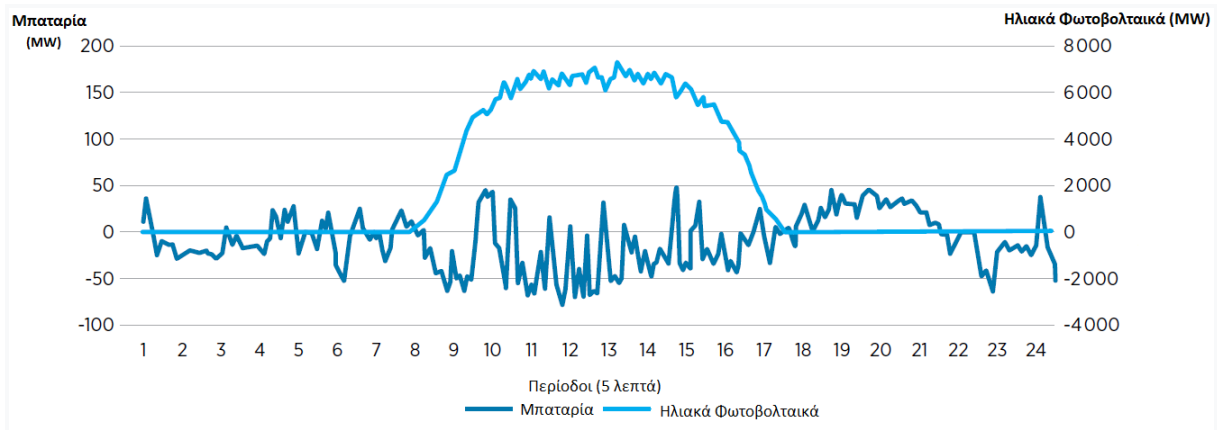
Σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα, η εταιρεία AES Corporation σχεδιάζει να εγκαταστήσει το μεγαλύτερο σύστημα αποθήκευσης μπαταριών στον κόσμο στο ενεργειακό κέντρο AES Alamos. Το έργο θα αποτελείται από ένα σύστημα μπαταριών με 300 MW και 1 200 MWh, με τα πρώτα 100 MW να αναμένεται να τεθούν σε λειτουργία έως το 2020. Ως εκ τούτου, η ενεργοποίηση της ευελιξίας της αγοράς με την ανάπτυξη νέων προϊόντων μπορεί να δώσει στους επενδυτές το κίνητρο για την ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών.

### 4. Αποθήκευση που παρέχει ευέλικτη αναβάθμιση

Τα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών παρέχουν ήδη ευέλικτες ράμπες στην Καλιφόρνια. Η CAISO, στον ιστότοπό της, παρακολουθεί την κατανομή ορισμένων από τις εγκατεστημένες μπαταρίες σε πραγματικό χρόνο. Αν και τα στοιχεία αυτά δε δείχνουν με σαφήνεια τις υπηρεσίες που παρέχουν στην πραγματικότητα οι μπαταρίες, βοηθούν να δούμε πώς η λειτουργία των μπαταριών ανταποκρίνεται στα σήματα της αγοράς και πώς οι μπαταρίες αλληλεπιδρούν με την υψηλή φωτοβολταϊκή παραγωγή.

Το Σχήμα 3-9 δείχνει τα ηλιακά φωτοβολταϊκά και τις μπαταρίες που διατέθηκαν στις 20 Δεκεμβρίου 2018 στο σύστημα CAISO.

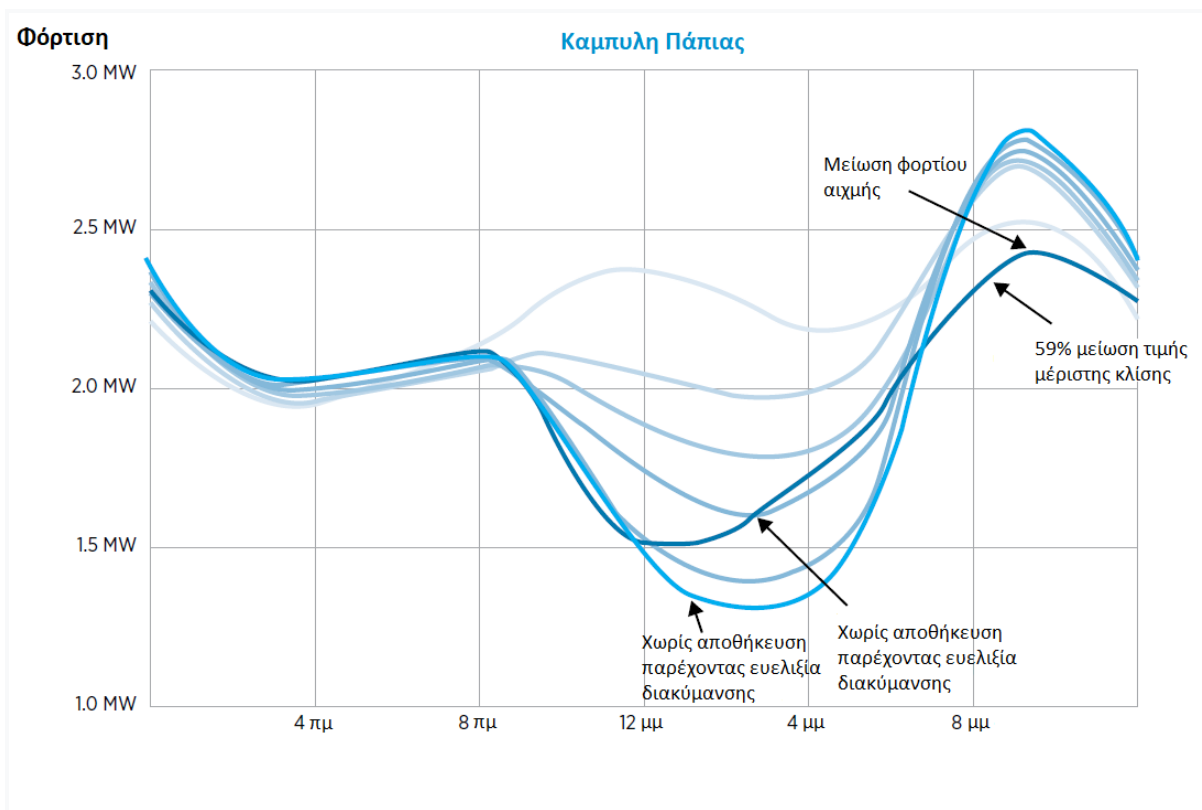




**Σχ. 3-9: Κατανομή ηλιακών φωτοβολταϊκών και μπαταριών, 20 Δεκεμβρίου 2018, σύστημα CAISO**

Από το 2016 συνολικά 80 MW νέων μπαταριών έχουν εγκατασταθεί στην CAISO αποδίδοντας συνολικά περίπου 150 MWh, συμπεριλαμβανομένης της μεγαλύτερης εγκατάστασης μπαταρίας λιθίου στη Βόρεια Αμερική εκείνη τη στιγμή (30 MW/120 MWh), που βρίσκεται στο El Escondido και ανήκει στην San Diego Gas and Electric.

Η ανάπτυξη της αποθήκευσης στην περιοχή του CAISO έχει αυξηθεί, και μέχρι το 2020 το σύστημα απαιτείται να διαθέτει 1,3 GW συνολικής εγκατεστημένης αποθηκευτικής ικανότητας. Είτε πραγματοποιηθεί είτε όχι να παρέχει ευέλικτη αναβάθμιση της αποθήκευσης είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Ωστόσο, μόλις η ανάπτυξη της αποθήκευσης φθάσει σε αρκετά υψηλό επίπεδο, το αποτέλεσμα που φαίνεται στο Σχήμα 3-10 μπορεί να αναμένεται να εμφανιστεί.



**Σχ. 3-10: Επίδραση στην καμπύλη πάπιας της αποθήκευσης ενέργειας που παρέχει ευέλικτη αυξομείωση: το παράδειγμα ενός τροφοδότη 3 MW**

### 3.2.3 Περίπτωση 3: Ενεργειακό αρμπιτράζ

1. Ο ρόλος του ενεργειακού αρμπιτράζ στην ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας

Το ενεργειακό αρμπιτράζ περιλαμβάνει ουσιαστικά την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους κατά τις οποίες η ενέργεια είναι άφθονη και φθηνή, και την εκφόρτισή της στο δίκτυο όταν είναι σπάνια και πιο ακριβή. Η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας συμπίπτει τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου ότι έχει αμελητέο οριακό κόστος. Κατά συνέπεια, όταν υπάρχει μεγάλη ποσότητα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, οι τιμές θα είναι συχνά χαμηλές.

Με τη μετατόπιση της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας σε ώρες με υψηλή υπολειμματική ζήτηση, η αποθήκευση επιτρέπει στις ΑΠΕ να παρέχουν ενέργεια κατά τις ώρες με υψηλότερο οριακό κόστος, αυξάνοντας τα έσοδά τους και την τιμή σύλληψής τους. Η ηλιακή ενέργεια τείνει να συμπίπτει τη δική της τιμή σύλληψης, με ένα αποτέλεσμα που ονομάζεται έσοδο κανιβαλισμός. Ως εκ τούτου, η αποθήκευση έχει πολύ υψηλότερη αξία για την ηλιακή από ό,τι για την αιολική ενέργεια σε αυτή την εφαρμογή. Επίσης, συνδυάζεται καλύτερα με την ηλιακή επειδή οι χρονικές

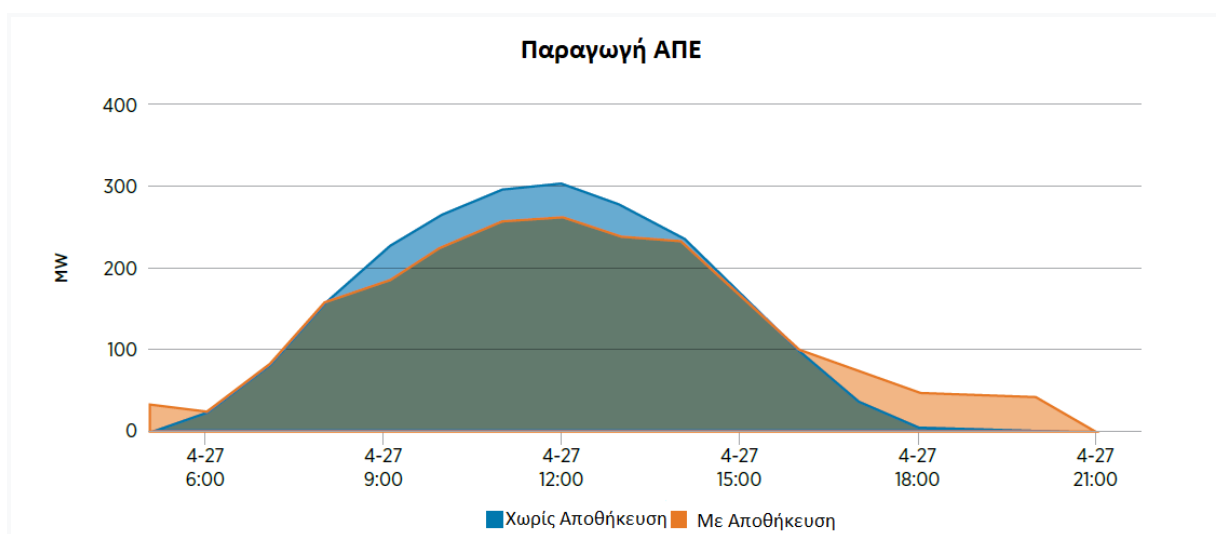
περίοδοι κορεσμού είναι ημερήσιες, ενώ για την αιολική μπορεί να είναι ημέρες ή ακόμη και μια εβδομάδα κάθε φορά..

Ομοίως, όταν η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας είναι παρούσα κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, ο διαχειριστής δικτύου θα δώσει εντολή στους θερμικούς πόρους - με μη μηδενικό οριακό κόστος - να κατεβάσουν ταχύτητα, μερικές φορές κοντά στα κατώτερα όρια της τεχνικής τους λειτουργίας. Με τη μετατόπιση της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας σε ώρες υψηλής ζήτησης, η αποθήκευση θα επέτρεπε στους θερμικούς πόρους να λειτουργούν σε πιο αποδοτικά σημεία λειτουργίας και να αποφεύγουν θερμικούς κύκλους, εξοικονομώντας καύσιμα και μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Λόγω τεχνικών περιορισμών, η σταθερότητα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να διατηρηθεί με οικονομικά αποδοτικό τρόπο σε μεγάλες μονάδες ισχύος μόνο με τη χρήση μετατροπέα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας. Κατά συνέπεια, οι διαχειριστές του δικτύου πρέπει μερικές φορές να περιορίσουν την παραγωγή για να διατηρήσουν την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος.

Με την παρουσία αποθήκευσης, η ελάχιστη ποσότητα σύγχρονης παραγωγής μπορεί να διατηρηθεί ενώ η ενέργεια αποθηκεύεται για μεταγενέστερη χρήση (ουσιαστικά ένα αρμπιτράζ με γνώμονα την ασφάλεια).

Στο Σχήμα 3-11, η μπλε περιοχή (που καλύπτεται εν μέρει από την πορτοκαλί περιοχή "Με αποθήκευση") αντιπροσωπεύει την παραγωγή των ηλιακών φωτοβολταϊκών χωρίς αποθήκευση ενέργειας, ενώ η πορτοκαλί περιοχή αντιπροσωπεύει τη συνδυασμένη παραγωγή της αποθήκευσης ενέργειας και των ηλιακών φωτοβολταϊκών. Μέρος της παραγωγής VRE μεταξύ των ωρών 9:00 και 14:00 αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση του φορτίου μεταξύ των ωρών 16:00 και 21:00. Το κάτω γράφημα δείχνει ότι η φόρτιση λαμβάνει χώρα όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας (τοπική οριακή τιμή) είναι χαμηλή, ενώ η τιμή είναι υψηλή όταν η αποθήκευση εκφορτίζει στο δίκτυο.





**Σχ. 3-11: Παράδειγμα χρήσης μετατόπισης ανανεώσιμης ενέργειας: παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές και καθαρό φορτίο με και χωρίς αποθήκευση ενέργειας και προφίλ φόρτισης και εκφόρτισης της αποθήκευσης ενέργειας**

Το ενεργειακό αρμπιτράζ θεωρείται από πολλούς ως η κύρια εφαρμογή για την αποθήκευση ενέργειας. Ακόμα κι έτσι, η περίπτωση μιας επιχείρησης θα ήταν δύσκολο να γίνει με το αρμπιτράζ ως τη μοναδική εφαρμογή της αποθήκευσης. Πρώτον, οι περισσότερες οριακές μονάδες σε ένα μείγμα παραγωγής είναι μονάδες φυσικού αερίου και οι χαμηλές τιμές του φυσικού αερίου δεν οδηγούν συχνά στις υψηλές διαφορές τιμών που δημιουργούν ευκαιρίες ενεργειακού αρμπιτράζ. Δεύτερον, τα σφάλματα πρόβλεψης τείνουν γενικά να είναι χειρότερα όταν οι τιμές είναι ευμετάβλητες (δηλαδή όταν οι ευκαιρίες ενεργειακού αρμπιτράζ είναι καλύτερες), καθιστώντας τις προσφορές απρόβλεπτες. Οι ακραίες τιμές οδηγούνται από σοβαρά σφάλματα πρόβλεψης, όπως οι υπο- και υπερ-προβλέψεις αιολικής ενέργειας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας με σημαντική διείσδυση αιολικής ενέργειας. Για να γίνει η καλύτερη δυνατή χρήση του ενεργειακού αρμπιτράζ, οι

διαχειριστές αποθήκευσης θα πρέπει να είναι σε θέση να προβλέπουν/προσδοκούν πότε και προς ποια κατεύθυνση θα εμφανιστούν μεγάλα σφάλματα πρόβλεψης, και αυτό είναι σίγουρα μεγάλη πρόκληση. Σε αντίθεση με την αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια είναι πολύ πιο προβλέψιμη και συνεπώς μπορεί να ενσωματωθεί καλύτερα με την αποθήκευση, καθώς οι φορείς εκμετάλλευσης γνωρίζουν πότε πρέπει να φορτίζουν και να εκφορτίζουν. Επιπλέον, με υψηλότερες μετοχές της ηλιακής ενέργειας, μεγάλες ποσότητες ενέργειας μπορούν να μετατοπιστούν από τις κεντρικές ώρες αιχμής (όταν οι τιμές είναι χαμηλότερες) σε ώρες όπου η ζήτηση είναι υψηλότερη, όπως τα βράδια (όταν οι τιμές είναι υψηλότερες). Με τον τρόπο αυτό, οι φορείς εκμετάλλευσης της αποθήκευσης μπορούν να δημιουργήσουν ισχυρό αντίκτυπο στην αποκλιμάκωση των τιμών χρησιμοποιώντας την αποθήκευση, με λογικά χρηματικά έσοδα. Αντίθετα, η αιολική ενέργεια μπορεί να είναι παρούσα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ανάλογα με τα τοπικά μοτίβα ανέμου.

## 2. Αποθήκευση που παρέχει ενεργειακό αρμπιτράζ

Η αποθήκευση ενέργειας με αντλησιοταμίευση (PHES) είναι ουσιαστικά ένα σύστημα αποθήκευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας σε κλίμακα κοινής ωφέλειας που αποτελείται από δύο ταμιευτήρες ή λεκάνες, η μία βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο ή υψόμετρο από την άλλη. Όταν οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλές ή υπάρχει πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας, το νερό αντλείται στην ανώτερη δεξαμενή όπου αποθηκεύεται. Όταν οι τιμές είναι υψηλές, το νερό ρέει πίσω στον κάτω ταμιευτήρα, μέσω στροβίλων και με αυτόν τον τρόπο παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Ως εκ τούτου, το PHES χρησιμοποιείται παραδοσιακά για να παροχή ενεργειακού αρμπιτράζ καθώς και επικουρικών υπηρεσιών.

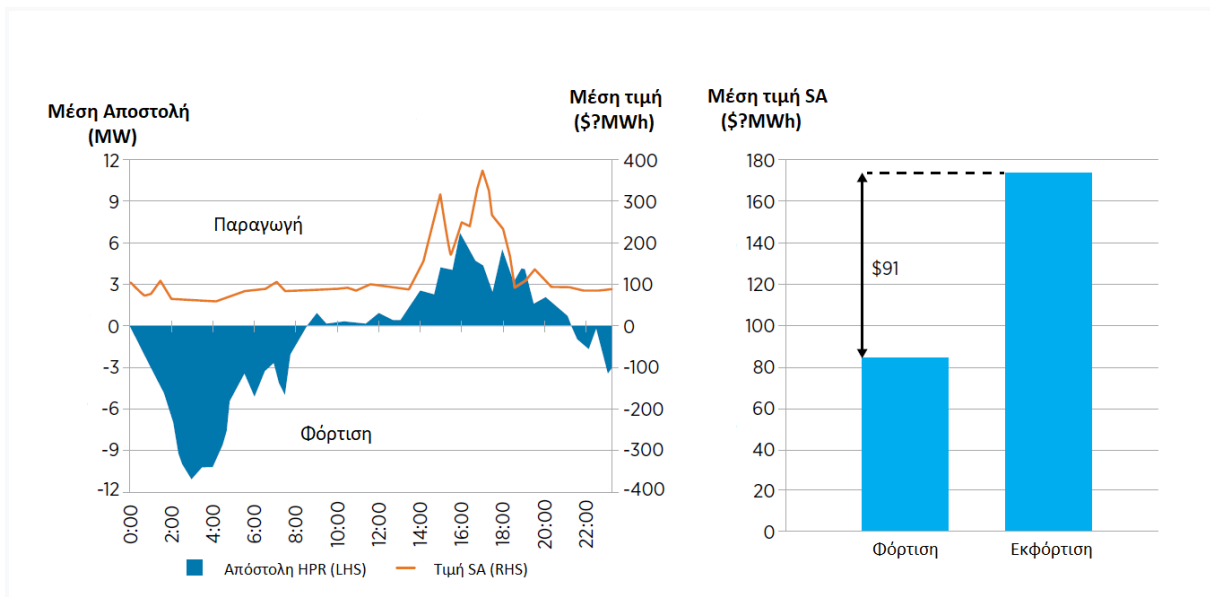
Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης PHES σε σύγκριση με μπαταρίες είναι ότι το σύστημα έχει πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Επιπλέον, το PHES έχει γενικά πολύ υψηλότερη αναλογία ενέργειας προς ισχύ σε σύγκριση με τις μπαταρίες, ιδίως όταν συνδέονται με μεγάλες δεξαμενές. Ορισμένα από τα μειονεκτήματα του PHES σε σύγκριση με τα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών περιλαμβάνουν τις υψηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το αποτύπωμα, απαιτώντας ειδική γεωγραφική περιοχή για την κατασκευή.

Η μεγαλύτερη μπαταρία ιόντων λιθίου στον κόσμο, γνωστή ως Hornsdale Power Reserve, βρίσκεται στο αιολικό πάρκο Hornsdale στο Jamestown, στη Νότια Αυστραλία (Εικόνα 3-3).



**Εικόνα 3-3: Hornsdale Power Reserve στη Νότια Αυστραλία**

Αναπτύχθηκε από την Tesla και διαχειρίζεται από τη Neoen, με συνολικό κόστος κεφαλαίου 90 εκατομμυρίων δολαρίων. Η μπαταρία έχει αποθηκευτική ικανότητα 129 MWh και έχει ονομαστική ισχύ εκφόρτισης 100 MW και 80 MW φόρτισης. Η μπαταρία έχει το ίδιο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο των 275 kV με το αιολικό πάρκο, το οποίο αποτελείται από 99 ανεμογεννήτριες και έχει δυναμικότητα 315 MW. Από τη χωρητικότητα των 129 MWh της μπαταρίας, οι 119 MWh χρησιμοποιούνται για ενεργειακό αρμπιτράζ και 30 MW της χωρητικότητας εκφόρτισης χρησιμοποιείται από τη Neoen για εμπορική λειτουργία. Από την εγκατάστασή του το 2017, το σύστημα μπαταριών παρέχει διάφορες υπηρεσίες, όπως ενεργειακό αρμπιτράζ και ρύθμιση, και υπηρεσίες επικουρικού ελέγχου συχνότητας έκτακτης ανάγκης. Επιπλέον, σύμφωνα με το διαχειριστή της αυστραλιανής αγοράς ενέργειας (AEMO) η υπηρεσία ενεργειακού αρμπιτράζ έχει αποφέρει έσοδα και η μέση ημερήσια κατανομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 3-12, σαφώς αποδεικνύει πώς η μπαταρία Tesla έχει επιτύχει να βγάλει χρήματα μέσω του ενεργειακού αρμπιτράζ.



**Σχ. 3-12: Μέση τιμή αποστολής και τιμές φόρτισης και εκφόρτισης του Hornsdale Power Reserve**

Όπως φαίνεται από το γράφημα, η μπαταρία φορτίζει (φορτίο) κατά τη διάρκεια των πρωινών ωρών της ημέρας όταν οι τιμές είναι χαμηλές και εκφορτίζεται (παραγωγή) κατά τις βραδινές ώρες όταν οι τιμές είναι υψηλές. Το σύστημα μπαταριών απέφερε έσοδα περίπου 29 εκατ. δολαρίων το 2018, ξεπερνώντας τις προσδοκίες και εκπλήσσοντας τους πάντες συμπεριλαμβανομένης της ιδιοκτήτριας και διαχειρίστριας εταιρείας Neoen.

Σύμφωνα με τη Neoen, τα έσοδα αποτελούνταν από 4,2 εκατ. δολάρια σε σταθερά έσοδα (για 10 χρόνια) από τη Νότια Αυστραλία, και περίπου 24 εκατ. δολάρια που προέκυψαν από τις επικουρικές υπηρεσίες και το ενεργειακό αρμπιτράζ. Η AEMO δηλώνει ότι μεταξύ Δεκεμβρίου 2017 και Μαρτίου 2018, το σύστημα Tesla Powerpack φορτίστηκε ή διατέθηκε ως φορτίο για το 38% αυτής της περιόδου, με συνολικά 11 GWh. Το σχήμα δείχνει επίσης ότι το μέσο αρμπιτράζ τιμών μεταξύ των μέσων τιμών φόρτισης και εκφόρτισης είναι περίπου 91 δολάρια/MWh. Η Hornsdale Power Reserve έχει ήδη καταλάβει μερίδιο 55% της αγοράς επικουρικών υπηρεσιών στη Νότια Αυστραλία και έχει μειώσει τις επικουρικές τιμές κατά 90%, συσσωρεύοντας τα έσοδα από το αρμπιτράζ με τα έσοδα λειτουργικού αποθέματος (όπως στην περίπτωση "Λειτουργικά αποθέματα").

Επιπλέον, το σύστημα μπαταρίας έχει αποδείξει την αξία του πολυάριθμες φορές από την ανάπτυξή του, παρέχοντας στο δίκτυο υπηρεσίες καθώς και εφεδρική ισχύ. Το πιο αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι όταν στις 14 Δεκεμβρίου 2017, όπου το δίκτυο των 1 680 MW της μονάδας του σταθμού άνθρακα Gladstone παρουσίασε βλάβη και το σύστημα μπαταρίας Tesla μπόρεσε να παρέχει εφεδρική ισχύ 7,3 MW σε λιγότερο από 1 δευτερόλεπτο. Συνολικά, το απόθεμα ισχύος Hornsdale Power Reserve είναι ένα σαφές παράδειγμα αποθήκευσης που παρέχει ενεργειακό αρμπιτράζ, καθώς και υπηρεσίες δικτύου.

Το έργο El Hierro, το οποίο διαχειρίζεται η GORONA del Viento, είναι πρώτο στο είδος του αιολικό-υδροηλεκτρικού εργοστασίου, που βρίσκεται στο El Hierro, στις Καναρίους Νήσους (Εικόνα 3-4).



**Εικόνα 3-4: Θέση σε λειτουργία του αιολικού υδροηλεκτρικού συστήματος στο El Hierro**

Το νησί βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε συμβατικό καύσιμο ντίζελ και τώρα κάνει τη μετάβαση σε ένα σύστημα που τροφοδοτείται πλήρως από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο στόχος του έργου αυτού είναι να τροφοδοτήσει το σύνολο του πληθυσμού του νησιού με 100% ανανεώσιμη ενέργεια. Αναπτύχθηκε το 2014 και το εν λόγω αιολικό-υδροηλεκτρικό σύστημα αποτελείται κυρίως από τα εξής: μια άνω δεξαμενή, μια κάτω δεξαμενή, ένα αιολικό πάρκο και έναν υδροηλεκτρικό σταθμό. Την ανώτερη δεξαμενή, δηλαδή τη δεξαμενή που βρίσκεται στο πάνω μέρος του νησιού σε μια φυσική ηφαιστειακή λεκάνη και έχει χωρητικότητα 380000 κυβικά μέτρα ( $m^3$ ). Η κάτω δεξαμενή βρίσκεται κοντά στον υδροηλεκτρικό σταθμό και έχει χωρητικότητα 150 000  $m^3$ . Το αιολικό πάρκο αποτελείται από πέντε ανεμογεννήτριες ισχύος 2,3 MW, συνολικής δυναμικότητας ισχύος 11,5 MW. Ο υδροηλεκτρικός σταθμός αποτελείται από τέσσερις ομάδες Pelton ισχύος 2,83 MW, συνολικής δυναμικότητας 11,32 MW. Εκτός από την τροφοδότηση των νοικοκυριών με ηλεκτρική ενέργεια, οι ανεμογεννήτριες παρέχουν ενέργεια σε πολλά αντλιοστάσια για τη συγκράτηση του νερού στον άνω ταμιευτήρα.

Το νερό σε αυτή τη δεξαμενή αποτελεί έναν τρόπο αποθήκευσης ενέργειας πριν ολισθήσει προς το χαμηλότερο τμήμα του νησιού. Σύμφωνα με την Endesa, η οποία κατέχει το 30% των μετοχών του έργου, τα οφέλη κατά τη διάρκεια των επόμενων 20 ετών του έργου περιλαμβάνουν τη μείωση 6 000 τόνων ντίζελ και 19 000 τόνων CO<sub>2</sub>. Κάθε χρόνο η αποτελεσματικότητα και τα οφέλη του έργου αυτού βελτιώνονται και για πρώτη φορά τον Αύγουστο του 2015, για τέσσερις συνεχόμενες ώρες, το El Hierro παρήγαγε όλη την ηλεκτρική ενέργεια του νησιού από 100% ανανεώσιμη ενέργεια. Επιπλέον, από τότε η περίοδος επίτευξης της παραγωγής ενέργειας από 100% ανανεώσιμες πηγές έχει παραταθεί: η μονάδα παρήγαγε 100% ανανεώσιμη



ηλεκτρική ενέργεια για περίοδο 892 ωρών το 2017 και 1 450 ώρες το πρώτο εξάμηνο του 2018. Ο αιολικός υδροηλεκτρικός σταθμός είναι πλέον σε θέση να καλύψει το 75% της ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, φτάνοντας συχνά σε αιχμές της τάξης του 100%.

Το έργο El Hierro είναι ένα από τα λίγα παραδείγματα PHES που αναπτύσσονται για να επιτρέψουν ένα μερίδιο ΑΠΕ 100% (αιολικά, σε αυτή την περίπτωση) για παρατεταμένες χρονικές περιόδους. Μπορεί επίσης να θεωρηθεί ότι παρέχει ενεργειακό αρμπιτράζ με την άντληση νερού στον ανώτερο ταμιευτήρα όταν η αιολική παραγωγή υπερβαίνει την απελευθέρωσή του πίσω στον κάτω ταμιευτήρα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω στροβίλων όταν η ζήτηση είναι υψηλότερη από την αιολική παραγωγή. Σύμφωνα με το ισπανικό ηλεκτρικό δίκτυο (REE), ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ήταν σε θέση να παρέχει 100% ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για έως και 18 συνεχόμενες ημέρες, με μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας 46,5% το 2017, βοηθώντας έτσι την El Hierro στη μετάβαση από ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται στο ντίζελ σε ένα πλήρως ανανεώσιμο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

### **3.2.4 Περίπτωση 4: Εξομάλυνση ανανεώσιμης ενέργειας**

#### **1. Πρόκληση - Διακύμανση της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας**

Η ανανεώσιμη ενέργεια χαρακτηρίζεται από τη μεταβλητότητα και την αβεβαιότητα, γεγονός που σημαίνει ότι οι πόροι της δεν έχουν ελεγχόμενη σταθερή, αλλά κυμαινόμενη μη κατανεμητέα έξοδο. Στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών, η διακύμανση της ισχύος προκαλείται κυρίως από τις κινήσεις των σύννεφων. Εάν ο ήλιος λάμπει και τα φωτοβολταϊκά πάνελ παράγουν στη μέγιστη ονομαστική τους ισχύ και ένα σύννεφο ξαφνικά καλύψει τον ήλιο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα υποστεί ξαφνική πτώση, η οποία θα αυξηθεί και πάλι μόλις το σύννεφο φύγει. Στην περίπτωση της αιολικής ενέργειας, οι διακυμάνσεις της ισχύος οφείλονται στη μεταβλητότητα της ταχύτητας του ανέμου.

Οι διακυμάνσεις της ισχύος παράγουν τότε αστάθεια στην τάση και τη συχνότητα. Ωστόσο, οι διακυμάνσεις ισχύος συνήθως μειώνονται, καθώς αυξάνεται το μέγεθος του φωτοβολταϊκού ή αιολικού σταθμού. Ως ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί, πρέπει να βρεθεί μια λύση για να εξομαλυνθεί το προφίλ παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας.

Το 2012 το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας του Πουέρτο Ρίκο Authority (PREPA) όρισε τις ελάχιστες τεχνικές απαιτήσεις για τη σύνδεση των ηλιακών φωτοβολταϊκών και της αιολικής ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Μεταξύ των απαιτήσεών της, η αρχή έθεσε όριο ρυθμού κλιμάκωσης 10% ανά λεπτό με βάση την ονομαστική

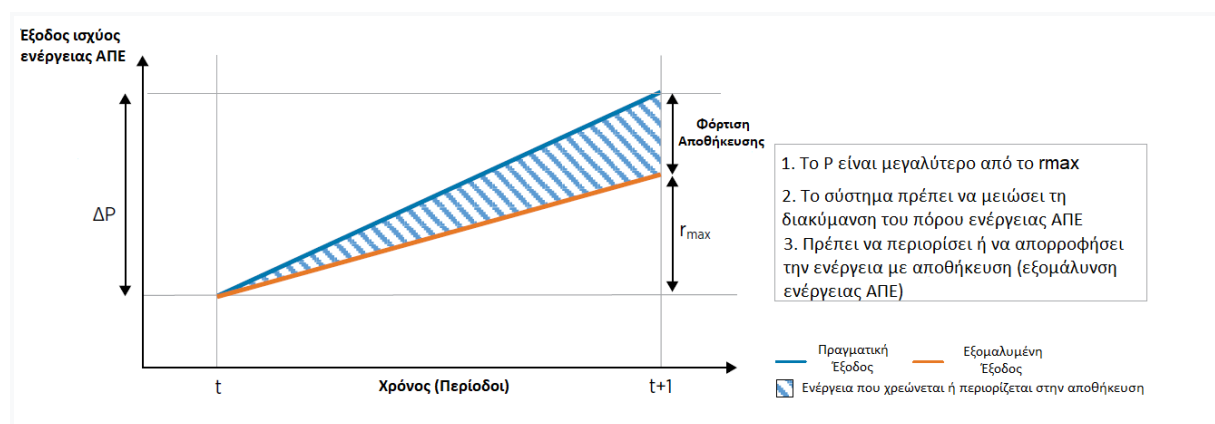
ισχύ. Έτσι, εάν η ονομαστική ισχύς του φωτοβολταϊκού σταθμού είναι 1 MW, η μέγιστη επιτρεπόμενη διακύμανση σε 1 λεπτό θα ήταν  $\pm 0,1$  MW.

Ένα άλλο παράδειγμα από την πραγματική ζωή είναι η περίπτωση της Χαβάης, στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου η Hawaiian Electric Company (HECO) περιόρισε τη διακύμανση των έργων 25-50 MW σε 2-3 MW/λεπτό. Και στις δύο περιπτώσεις, εάν η παραγωγή ισχύος από ΑΠΕ ξεπεράσει αυτούς τους περιορισμούς κλιμάκωσης, τότε ο πόρος θα πρέπει να περικοπεί προκειμένου να εξομαλυνθεί το προφίλ, κάτι που δεν είναι η βέλτιστη λύση. Η βέλτιστη επιλογή θα ήταν η εξομάλυνση του προφίλ της ανανεώσιμης ενέργειας με ταυτόχρονη αποφυγή της περικοπής.

## 2. Λύση

Μια λύση που προβλέπεται για την εξομάλυνση παραγωγής των ηλιακών φωτοβολταϊκών και αιολικών είναι η αποθήκευση ενέργειας, δεδομένων των δυνατοτήτων της, να ανταποκρίνεται ταχέως στις αλλαγές. Αυτό αναφέρεται ως εξομάλυνση της ανανεώσιμης ενέργειας.

Ας υποθέσουμε ότι υπάρχει περιορισμός διακύμανσης  $r_{\max}$  στο σύστημα και μια διακύμανση της ισχύος από την περίοδο  $t$  στην περίοδο  $t+1$  που ονομάζεται  $\Delta P$ . Αρχικά το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα προσπαθήσει να απορροφήσει ολόκληρο το  $\Delta P$ , ωστόσο εάν το  $\Delta P$  υπερβαίνει τη μέγιστη κλιμάκωση, μέρος αυτής της ενέργειας θα πρέπει να περικοπεί (εάν η  $\Delta P$  είναι θετική) ή να υποκατασταθεί από άλλες πηγές, όπως γεννήτριες ντίζελ (αν η  $\Delta P$  είναι αρνητική). Αυτό που θα κάνει η αποθήκευση ενέργειας σε αυτή την περίπτωση είναι να απορροφήσει την πλεονάζουσα ενέργεια που διαφορετικά θα περικοπεί ή να εκφορτίσει την αποθηκευμένη ενέργεια προκειμένου να αποφευχθεί η παραγωγή με βάση ορυκτά καύσιμα ή ακόμη και η απώλεια φορτίου. Αυτή η διαδικασία απεικονίζεται στο Σχήμα 3-13, το οποίο δείχνει πώς η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας εξομαλύνεται, δεδομένων των απαιτήσεων διακύμανσης του συστήματος, είτε περιορίζοντας την παραγωγή είτε την απορρόφησή της, με φόρτιση αποθήκευσης.



**Σχ. 3-13: Διαδικασία εξομάλυνσης ανανεώσιμης ενέργειας σε περίοδο κατά την οποία η μέγιστη επιτρεπόμενη κλιμάκωση υπερβαίνεται από την ΑΠΕ**



**Εικόνα 3-5: Μπαταρίες στο έργο αποθήκευσης ενέργειας Prosperity στο Νέο Μεξικό**

### 3. Ανάπτυξη της αποθήκευσης με βάση την εξομάλυνση της ανανεώσιμης ενέργειας

Στο Νέο Μεξικό η Public Service Company of New Mexico (PNM) εγκατέστησε το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας Prosperity με δύο στόχους: να παρέχει εξομάλυνση σε ένα ηλιακό Φ/Β πάρκο και να παρέχει μετατόπιση ενέργειας. Το έργο αυτό αποτελείται από 500 kW ηλιακών φωτοβολταϊκών πλαισίων και δύο τύπους μπαταριών: μια προηγμένη μπαταρία 0,25 MW/1 MWh με σύστημα μπαταριών μολύβδου οξέος για μετατόπιση ενέργειας και μια μπαταρία 0,5MW/0,35 MWh, με προηγμένο σύστημα μπαταριών μολύβδου οξέος με ενσωματωμένους πυκνωτές για εξομάλυνση της ισχύος.

Η Χαβάη έχει επίσης εγκαταστήσει μπαταρίες για την εξομάλυνση της αιολικής ενέργειας. Για παράδειγμα, η NEC Energy Solutions παρείχε μια μπαταρία για την εξομάλυνση του ανέμου κοντά στο Auwahi 21 MW στο νησί Maui (Εικόνα 3-6).



**Εικόνα 3-6: Αιολικός σταθμός παραγωγής ενέργειας στο Μάουι της Χαβάης**

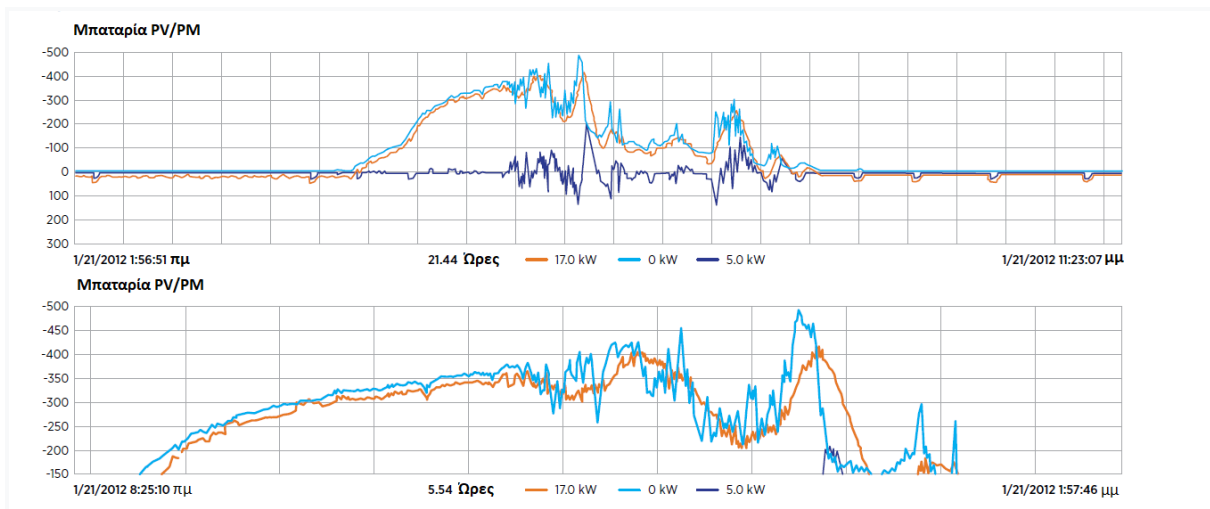
Η μπαταρία σε αυτή τη θέση έχει χωρητικότητα 11 MW/4,3 MWh. Η συγκεκριμένη τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι το φωσφορικό σίδηρο λιθίου λόγω της ανθεκτικότητας και της ασφάλειάς της για την εξομάλυνση και επειδή η τεχνολογία αυτή έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο. Ένα ακόμη παράδειγμα είναι το αιολικό πάρκο, που βρίσκεται επίσης στο Μάουι. Το αιολικό πάρκο Kaheawa έχει μία συνολική εγκατεστημένη ισχύ 51 MW, η οποία συνδυάστηκε με 11,5 MW/21 MWh προηγμένων μπαταριών μολύβδου οξέος κυρίως για την παροχή εξομάλυνσης ανανεώσιμης ενέργειας.

Το 2018 υπεγράφη συμφωνία μεταξύ του ιδιοκτήτη του εργοστασίου, TerraForm, και του κατασκευαστή μπαταριών, Yunicos, για να αντικαταστήσει τις μπαταρίες μολύβδου οξέος με μπαταρίες ιόντων λιθίου, δεδομένης της υψηλότερης ωφέλιμης χωρητικότητας και διάρκειας ζωής.

Άλλα παραδείγματα περιλαμβάνουν τα γαλλικά νησιά. Το Μάιο του 2015 η γαλλική κυβέρνηση προκήρυξε διαγωνισμούς, με σκοπό την ανάπτυξη ηλιακών έργων με αποθήκευση στα γαλλικά νησιά. Μεταξύ των ιδιαιτεροτήτων αυτών των διαγωνισμών, η αποθήκευση έπρεπε να αναπτυχθεί για να εξομαλύνει την καμπύλη των φωτοβολταϊκών, ώστε να επιτευχθεί η διαχείριση της μεταβλητότητας και της αβεβαιότητας. Συγκεκριμένα, η αποθήκευση έπρεπε να παρέχει ακριβή, ομαλή πρωινή άνοδο από όλα τα ηλιακά συστήματα, ένα σταθερό πλάτωμα κατά τη διάρκεια των κεντρικών ωρών της ημέρας, και μια συμμετρική πτώση το απόγευμα. Στο πλαίσιο του διαγωνισμού κατακυρώθηκαν συνολικά 52MW έργων ηλιακής ενέργειας και αποθήκευσης στην Κορσική (18 MW), στη Γουαδελούπη (9 MW), στη Γουιάνα (5,2 MW), στη Μαρτινίκα (11,1 MW) και στη Ρεϋνιόν (8,5 MW). Τα έργα αυτά ανατέθηκαν με σταθμισμένη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας 204 €/MWh. Ωστόσο, σε μια μεταγενέστερη δημοπρασία όπου ανατέθηκαν 72 MW, η τιμή αυτή μειώθηκε σε 113,6 €/MWh.

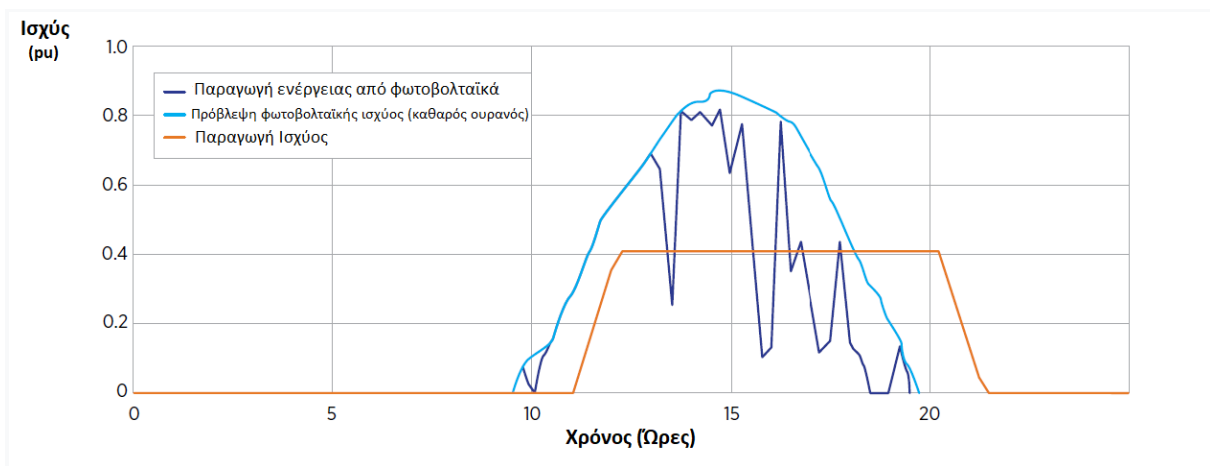
#### 4. Αποθήκευση που παρέχει εξομάλυνση ανανεώσιμης ενέργειας

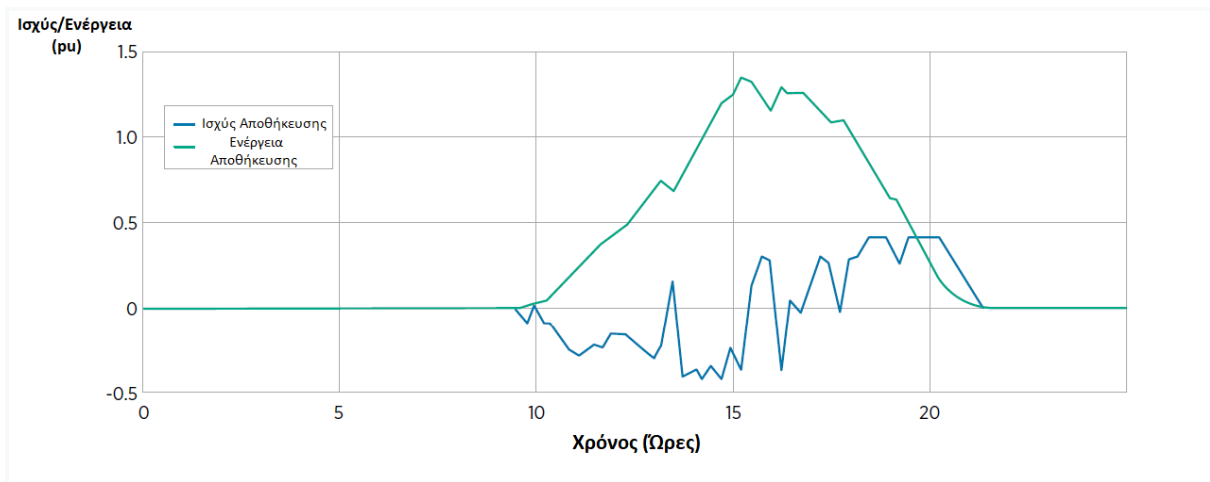
Στο Νέο Μεξικό η αποθήκευση ενέργειας Prosperity χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο εξομάλυνσης που αναπτύχθηκε από τη Sandia National Laboratories, που ανταποκρίνεται στις μεταβολές της ηλιακής παραγωγής αυτόματα. Το σχήμα 3-14 δείχνει πώς η αποθήκευση με μπαταρία εξομαλύνει το προφίλ των φωτοβολταϊκών στην εν λόγω τοποθεσία.



**Σχ. 3-14: Έργο αποθήκευσης ενέργειας Prosperity που παρέχει εξομάλυνση ανανεώσιμης ενέργειας σε φωτοβολταϊκό σταθμό**

Η μπλε γραμμή είναι η ακατέργαστη φωτοβολταϊκή παραγωγή, η κίτρινη γραμμή είναι η έξοδος της μπαταρίας και τέλος η κόκκινη γραμμή είναι το εξομαλυμένο Φ/Β προφίλ (μπαταρία+ηλιακό Φ/Β). Η κόκκινη γραμμή παρουσιάζει εμφανώς πολύ μικρότερη μεταβλητότητα από την ακατέργαστη φωτοβολταϊκή έξοδο (μπλε γραμμή) και επομένως η μπαταρία παρέχει σωστά αυτή την υπηρεσία. Κάτι παρόμοιο συμβαίνει στα γαλλικά νησιά με τα έργα που εγκρίθηκαν στους διαγωνισμούς όπου, όπως έχει ήδη εξηγηθεί, η αποθήκευση αναπτύχθηκε για την παροχή μιας ακριβούς, ομαλής πρωινής εκκίνησης από όλα τα ηλιακά συστήματα, ένα σταθερό πλάτωμα κατά τη διάρκεια των κεντρικών ωρών της ημέρας, και μια συμμετρική μείωση το απόγευμα. Παραδείγματος χάριν, στο γαλλικό νησί La Réunion μια μπαταρία 9 MWh ήταν μαζί με μια φωτοβολταϊκή μονάδα ισχύος 9 MW για την παροχή εξομάλυνσης της ανανεώσιμης ενέργειας. Το σχήμα 3-15 δείχνει πώς αυτή η μπαταρία εξομαλύνει το προφίλ των ηλιακών φωτοβολταϊκών ικανοποιώντας τις απαιτήσεις που εξηγήθηκαν παραπάνω.





**Σχ. 3-15: Εξομάλυνση της ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας στο γαλλικό νησί La Réunion με μπαταρία 9 MWh**

Το Σχήμα 3-15 δείχνει επίσης ότι με ένα ορισμένο ποσό αποθήκευσης σε συνδυασμό με ηλιακά φωτοβολταϊκά, η ΑΠΕ δεν είναι μεταβλητή, αλλά αντίθετα μια κατανεμητέα πηγή ενέργειας, που είναι πλήρως προβλέψιμη. Χάρη στην αποθήκευση η ηλιακή φωτοβολταϊκή διακύμανση ελέγχεται και η μεταβλητότητα του πόρου δεν είναι πλέον ένα ζήτημα προς επίλυση.

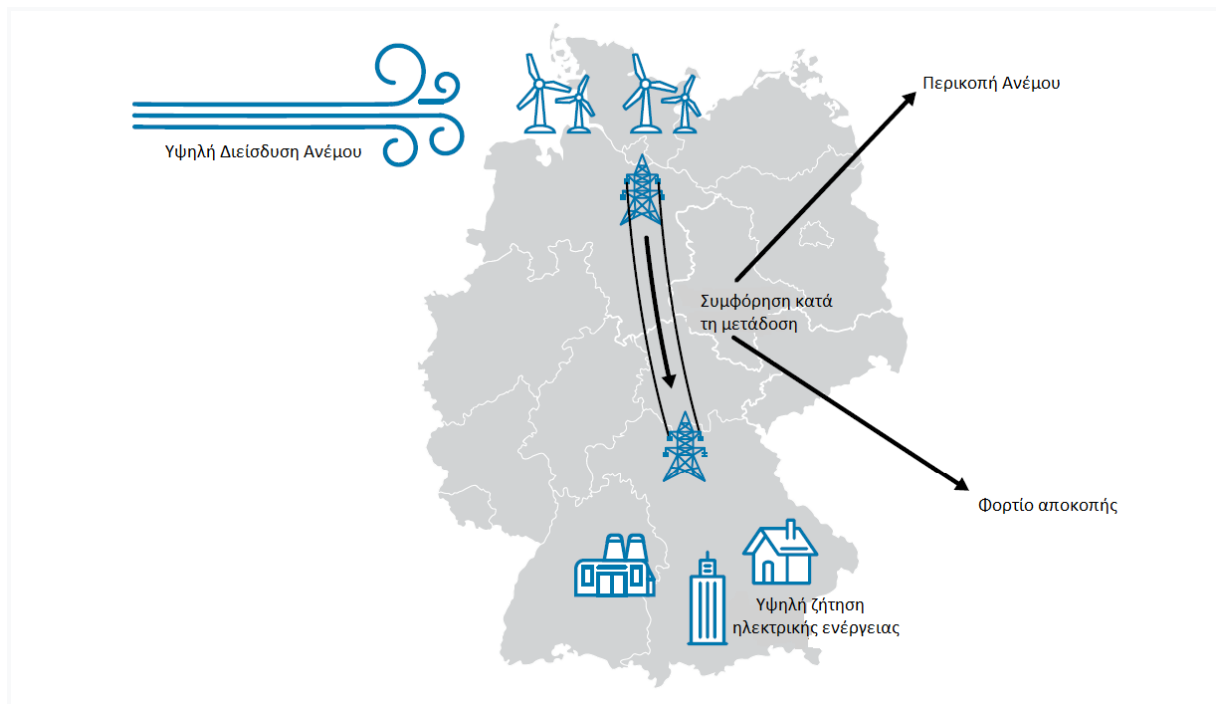
### 3.2.5 Περίπτωση 5: Αναβολή επενδύσεων μεταφοράς και διανομής

#### 1. Πρόκληση - Επιπτώσεις στη μεταφορά και διανομή

Η συμφόρηση στη μεταφορά και διανομή (M&Δ) δικτύων είναι ένα από τα κύρια προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι διαχειριστές συστημάτων, το οποίο πρέπει να αντιμετωπίσουν για να διασφαλίσουν την ασφάλεια και την αξιοπιστία του συστήματος.

Οι διαχειριστές συστημάτων χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές για τη διαχείριση της συμφόρησης, όπως η ανακατανομή του συστήματος, τα ευέλικτα εναλλακτικά συστήματα μεταφοράς ρεύματος (FACTS) ή τη ροή της αγοράς. Όταν η διείσδυση της ανανεώσιμης ενέργειας στο σύστημα είναι υψηλή, υπάρχει υψηλότερος κίνδυνος συμφόρησης στη M&Δ που θα μπορούσε να απειλήσει την ασφάλεια και την αξιοπιστία του συστήματος. Σε αυτή την κατάσταση, οι διαχειριστές του συστήματος υποχρεούνται μερικές φορές να καταφεύγουν στον περιορισμό της ως μέθοδο διαχείρισης της συμφόρησης.

Ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα περικοπής της ανανεώσιμης ενέργειας λόγω συμφόρησης της μεταφοράς συναντάται στο σύστημα της Γερμανίας. Τα δύο τρίτα της χερσαίας αιολικής ισχύος, καθώς και όλα τα υπεράκτια αιολικά πάρκα, βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της, ενώ οι μεγάλοι βιομηχανικοί καταναλωτές βρίσκονται στο νότο. Το ζήτημα που έχει παρουσιαστεί για κάποια χρόνια είναι ότι οι γραμμές μεταφοράς που μεταφέρουν παραγωγή αιολικών από τη βόρεια στη νότια Γερμανία δεν διαθέτουν επαρκή ικανότητα μεταφοράς και έτσι συχνά προκαλείται συμφόρηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της αιολικής ενέργειας στο βορρά και την αύξηση των ακριβών και ρυπογόνων θερμοηλεκτρικών σταθμών στο νότο, γεγονός που οδηγεί συνολικά σε υψηλότερες τιμές ενέργειας που σχετίζονται με την ανακατανομή. Το παράδειγμα αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 3 -16.



**Σχ. 3-16: Συμφόρηση μεταφοράς μεταξύ βόρειας και νότιας Γερμανίας**

Η υψηλή διείσδυση της ανανεώσιμης ενέργειας μπορεί επίσης να επηρεάσει τη διανομή με διάφορους τρόπους, για παράδειγμα στην περίπτωση των καταναλωμένων ηλιακών φωτοβολταϊκών. Οι τρεις κύριες ανησυχίες των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας στις Ηνωμένες Πολιτείες σχετικά με την καταναλωμένη παραγωγή είναι: α) η τάση ρύθμισης, δηλαδή η καταναλωμένη παραγωγή μπορεί να αυξήσει την τάση πέραν των αποδεκτών επιπέδων, β) η αντίστροφη ροή ισχύος που μπορεί να αποφέρει προβλήματα ελέγχου και προστασίας, και γ) ο συντονισμός της προστασίας που μπορεί να καταστεί δύσκολος από την υψηλή διείσδυση της καταναλωμένης παραγωγής. Οι τροφοδότες διανομής χαρακτηρίζονται από την ικανότητα φιλοξενίας τους, η οποία καθορίζει πόσα φωτοβολταϊκά μπορούν να τοποθετηθούν πριν υπάρξουν αρνητικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας της διανομής. Οι ΑΠΕ μπορούν στη συνέχεια να ενσωματωθούν μέχρι η

χωρητικότητα φιλοξενίας να είναι 0, ένα σημείο στο οποίο πρέπει να αξιολογηθούν οι λύσεις για την αύξηση της χωρητικότητας φιλοξενίας.

## 2. Λύσεις για την ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας στα δίκτυα M&D

Έχουν προταθεί διάφορες λύσεις για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Στην περίπτωση των περικοπών της ανανεώσιμης ενέργειας λόγω συμφόρησης της μεταφοράς, η απλούστερη και συνηθέστερη λύση είναι η κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς ή η αναβάθμιση των υφιστάμενων. Για παράδειγμα, η Γερμανία έχει προγραμματίσει την κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς για τη μεταφορά αιολικής ενέργειας από το βορρά στο νότο, η οποία είναι γνωστή ως έργο Suedlink. Το έργο αυτό αποτελείται από υπόγειες γραμμές μεταφοράς για την ενίσχυση της χωρητικότητας μεταξύ της βόρειας και της νότιας Γερμανίας.

Ορισμένα ζητήματα μπορεί να προκύψουν κατά την κατασκευή γραμμών μεταφοράς. Αυτά περιλαμβάνουν: α) το κόστος, β) τον απαιτούμενο χρόνο, γ) τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και δ) τις αρνητικές κοινωνικές επιπτώσεις.

Ως εκ τούτου, η κατασκευή ή η αναβάθμιση των υποδομών μεταφοράς μπορεί να μην είναι η βέλτιστη λύση σε ορισμένες περιπτώσεις.

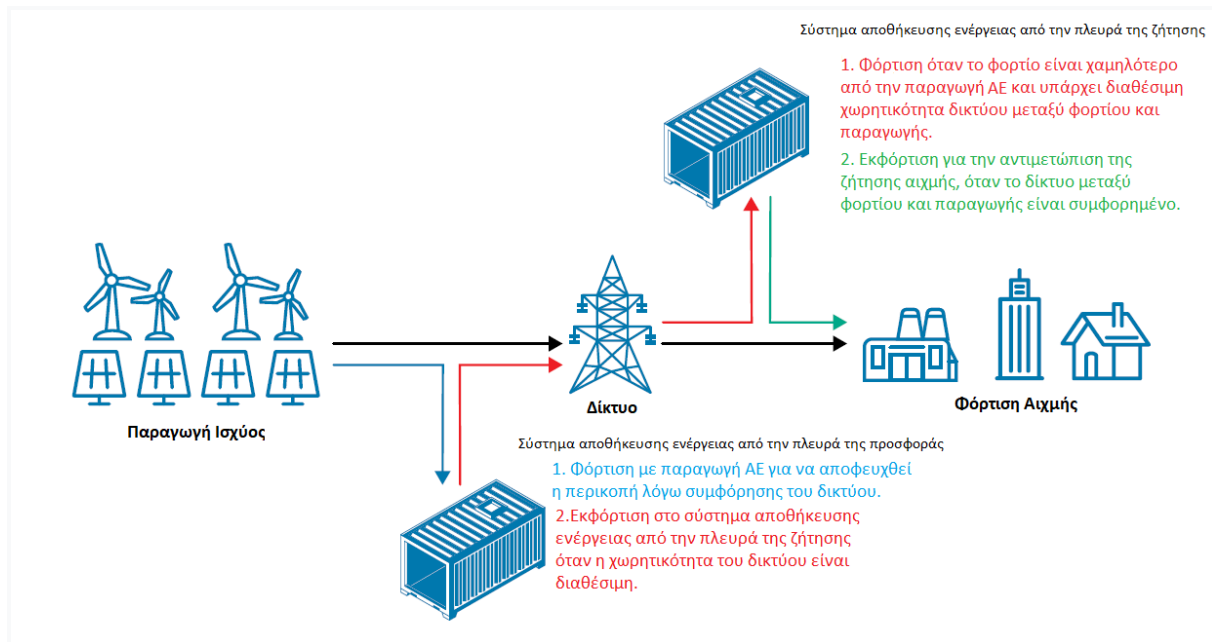
Μια άλλη επιλογή για τη μείωση της συμφόρησης της μεταφοράς είναι η δυναμική διαβάθμιση γραμμών, η οποία συνίσταται στην καλύτερη παρακολούθηση των θερμικών συνθηκών της γραμμής ώστε να μεταβάλλεται το όριο μεταφοράς. Για παράδειγμα, η Terna, ο ιταλικός διαχειριστής του συστήματος, εφαρμόζει δυναμική βαθμολόγηση γραμμής σε ορισμένες γραμμές ισχύος με την καλύτερη παρακολούθηση των θερμικών παραμέτρων τους, αποδεικνύοντας ότι οι γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να υπερβούν το όριο τους σε ορισμένες συγκεκριμένες περιόδους κατά τις οποίες η διείσδυση ανανεώσιμης ενέργειας είναι υψηλή. Στην περίπτωση της διανομής, μία από τις λύσεις που έχει ήδη εφαρμοστεί είναι οι προηγμένοι μετατροπείς για καταναμημένα φωτοβολταϊκά, οι οποίοι επιτρέπουν αποδοτικότερους αντιστροφείς ρύθμισης τάσης και, συνεπώς, μεγαλύτερη χωρητικότητα φιλοξενίας στον τροφοδότη.

Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να είναι σε επίπεδο μεταφοράς ή σε επίπεδο διανομής και μπορεί να αποτελεί αυτό που έχει αναφερθεί ως "γραμμές εικονικής ισχύος". Η βασική ιδέα αυτού είναι να τοποθετηθούν τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας κοντά στα σημεία όπου παρατηρείται συμφόρηση εντός του δικτύου, και να τα αφήνουν να απορροφούν την πλεονάζουσα παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας για να διανεμηθεί αργότερα, όταν η γραμμή δεν είναι συμφορημένη.

Επιπλέον, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να παρέχει έλεγχο άεργου ισχύος και ρύθμιση της τάσης και μπορεί να αυξήσει τη χωρητικότητα φιλοξενίας των τροφοδοτών διανομής, αποφεύγοντας τις επενδύσεις σε εξοπλισμό διανομής. Εν ολίγοις, η αποθήκευση ενέργειας θα μπορούσε να αποτελέσει μια ιδιαίτερα κατάλληλη λύση για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της ανανεώσιμης



ενέργειας στην υποδομή Μ&Δ. Το Σχήμα 3-17 απεικονίζει πώς η αποθήκευση ενέργειας θα μπορούσε να παρέχει αυτή την υπηρεσία.



**Σχ. 3-17: Αποθήκευση ενέργειας για αναβολή μετάδοσης**

### 3. Έργα αποθήκευσης για αναβολή επενδύσεων Μ&Δ

Το 2015, η ΤΕΡΝΑ εγκατέστησε 38,4 MW/250 MWh NaS στην περιοχή Campania της Ιταλίας, για να παρέχει αναβάθμιση αναβολής της μεταφοράς (Εικόνα 3-7).



**Εικόνα 3-7: Μπαταρίες από την NGK στο Varel (Γερμανία), παρόμοιες με αυτές στην περιοχή της Καμπανίας**

Στη διεύθυνση εκείνη τη στιγμή η Ιταλία είχε πλεόνασμα αιολικής παραγωγής και η ικανότητα μεταφοράς δεν ήταν αρκετή για να μεταφέρει όλη αυτή την ενέργεια προς το βορρά, με την Terna να αναγκάζεται να περιορίσει την περίσσεια αιολικής ενέργειας. Με την εγκατάσταση της μπαταρίας στο σύστημα, η πλεονάζουσα αιολική ενέργεια μπορούσε να απορροφηθεί και να χρησιμοποιηθεί αργότερα σε περιόδους με χαμηλή παραγωγή αιολικής ενέργειας, αποφεύγοντας την ανάγκη επένδυσης σε νέο σύστημα μεταφοράς.

Επιπλέον, αυτή η μπαταρία μπορεί να παρέχει και άλλες υπηρεσίες, όπως πρωτογενείς και δευτερογενείς εφεδρείες, εξισορρόπηση φορτίου και έλεγχο της τάσης. Στη Γερμανία, η TenneT (ένας από τους διαχειριστές συστημάτων της χώρας) μαζί με τον κατασκευαστή μπαταριών Sonnen και την IBM ξεκίνησαν το 2017 ένα πιλοτικό έργο στο οποίο χρησιμοποίησαν αλυσίδα συστοιχιών και συστήματα οικιακών μπαταριών για την απορρόφηση μέρους της πλεονάζουσας αιολικής ενέργειας στο βόρειο τμήμα της χώρας, που προκύπτει λόγω της συμφόρησης μεταφοράς. Η Sonnen ενεργεί ως συσσωρευτής αποθήκευσης χρησιμοποιώντας το SonnenCommunity της, ενώ η IBM παρέχει την τεχνολογία αλυσίδας συστοιχιών. Το αποτέλεσμα είναι αυτό που έχει ονομαστεί "εικονική γραμμή ισχυος" που αποφέρει οφέλη όχι μόνο στους πελάτες, αλλά και σε όλους όσοι χρησιμοποιούν το δίκτυο. Στην Καλιφόρνια, μία από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ενώθηκε με την Greensmith για να εγκαταστήσει ένα σύστημα αποθήκευσης μπαταριών 2 MW/6 MWh για να αποφύγει επενδύσεις διανομής στο San Juan Capistrano (Εικόνα 3-8).



**Εικόνα 3-8: Σύστημα αποθήκευσης μπαταριών της Greensmith για αναβολή διανομής στην Καλιφόρνια**

Το έργο ξεκίνησε με 1 MW/3 MWh και στη συνέχεια διπλασιάστηκε σε μέγεθος. Αυτό το σύστημα μπαταριών αντισταθμίζει την υπερφόρτωση της ζήτησης αιχμής και αποφεύγει την αναβάθμιση της διανομής.

Στο Μείν, η GridSolar μαζί με την Central Maine Power (CMP) και άλλους ανέλαβαν τη λειτουργία ενός συστήματος 500 kW, 6 ωρών συνδεδεμένου με το δίκτυο με

εγκατάσταση αποθήκευσης (μπαταρίες μολύβδου) για να βοηθήσει στην επίλυση του περιορισμού υπο-μεταφοράς στο Boothbay (Maine). Αρχικά, η CMP είχε προτείνει να επενδύσει 1,5 δισ. δολάρια ΗΠΑ στη μεταφορά. Ωστόσο, η GridSolar παρενέβη υποστηρίζοντας ότι οι προβλέψεις φορτίου της CMP ήταν πολύ υψηλές και ο αριθμός των ωρών που θα χρειαζόταν για την αναβάθμιση ήταν πολύ περιορισμένος.

Τελικά, το έργο απέφερε εξοικονόμηση 12 εκατ. δολαρίων με όρους παρούσας αξίας σε σχέση με την εναλλακτική λύση μεταφοράς. Το έργο προτάθηκε λόγω της αύξησης του φορτίου στο Punkin Center που θα μπορούσε να οδηγήσει σε θερμική υπερφόρτωση του τροφοδότη. Η APS εξέτασε όχι μόνο τις μπαταρίες, αλλά και τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη ντίζελ, συνδυάζοντας αναβαθμίσεις αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας και παραδοσιακές αναβαθμίσεις γραμμών. Από όλες αυτές τις εναλλακτικές λύσεις, η επιλογή των μπαταριών παρείχε τη λιγότερο δαπανηρή και βέλτιστη λύση. Το έργο τέθηκε σε εμπορική λειτουργία τον Μάρτιο του 2018 και παρέχει με επιτυχία εξοικονόμηση αιχμής τροφοδοσίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2018. Η εταιρεία κοινής ωφέλειας θεώρησε ότι η λύση αποθήκευσης ενέργειας είναι φθηνότερη επιλογή.

### **3.2.6 Περίπτωση 6: Εξοικονόμηση κεφαλαίου μονάδας αιχμής**

#### **1. Πρόκληση - Διασφάλιση επάρκειας παραγωγής**

Για να λειτουργεί το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με ασφαλή και αξιόπιστο τρόπο, η παραγωγή πρέπει να ισούται με τη ζήτηση ανά πάσα στιγμή. Εάν η διείσδυση της ανανεώσιμης ενέργειας είναι χαμηλή, ο διαχειριστής του συστήματος μπορεί εύκολα να προσδιορίσει αν η εγκατεστημένη ισχύς στο σύστημα είναι αρκετή για να εξασφαλίσει ένα καθορισμένο επίπεδο αξιοπιστίας.

Το πρόβλημα, ωστόσο, προκύπτει όταν η διείσδυση της ανανεώσιμης ενέργειας αυξάνεται. Η ενέργεια είναι μεταβλητή, που σημαίνει ότι η παραγωγή της είναι εν μέρει μόνο προβλέψιμη. Διαφορετικές μεθοδολογίες έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία για την εκτίμηση της σταθερής δυναμικότητας των ΑΠΕ. Μία από τις γνωστότερες είναι η αναμενόμενη ικανότητα μεταφοράς φορτίου (ELCC), όπως προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Garver (1966). Εν ολίγοις, αυτή η μεθοδολογία βασίζεται στο κατά πόσο η ζήτηση μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη των ΑΠΕ για να επιτευχθεί το επίπεδο αξιοπιστίας που είχε το σύστημα χωρίς αυτές. Η μεθοδολογία απαιτεί μια επαναληπτική διαδικασία και τη χρήση τεχνικών βελτιστοποίησης, καθώς και ιστορικών δεδομένων σχετικά με την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Επιπλέον, η επάρκεια παραγωγής πρέπει να σχεδιάζεται καλύτερα για να αποφευχθούν επενδύσεις σε περιττούς και δαπανηρούς σταθμούς αιχμής και να αποφευχθεί η πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα.

## 2. Λύση: Μηχανισμοί χωρητικότητας έναντι της τιμής έλλειψης

Έχουν προταθεί διάφορες λύσεις για τη διασφάλιση επάρκειας της παραγωγής σε ένα πλαίσιο αγοράς. Μπορούν να ταξινομηθούν ουσιαστικά σε: α) αγορές μόνο για ενέργεια, στις οποίες η ρυθμιστική αρχή δεν παρεμβαίνει και β) μηχανισμούς ασφάλειας εφοδιασμού, στους οποίους παρεμβαίνει η ρυθμιστική αρχή.

### **Αγορές μόνο για ενέργεια**

Η λύση της αγοράς μόνο για ενέργεια επιβεβαιώνει ότι η τιμή της αγοράς είναι αρκετή για να διασφαλιστεί η επάρκεια της παραγωγής. Αυτή η λύση βασίζεται στην υπόθεση ότι οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας είναι τέλεια ανταγωνιστικές και οι τιμές θα αντανakλούν τότε θα δημιουργηθεί νέα παραγωγική ικανότητα που απαιτείται από το σύστημα. Χαμηλές τιμές σημαίνουν συνήθως ότι το σύστημα διαθέτει αρκετή παραγωγική ικανότητα, το οποίο σημαίνει ότι η εισαγωγή νέας παραγωγής στην αγορά δεν θα να είναι κερδοφόρα. Ωστόσο, καθώς η ζήτηση αυξάνεται και η χωρητικότητα περιορίζεται, οι τιμές αυξάνονται και μπορεί να φτάσουν σε τιμές που αναφέρονται ως "τιμή έλλειψης". Στο σημείο αυτό, τα δείγματα της τιμής είναι αρκετά υψηλά ώστε η νέα παραγωγή χωρητικότητας να εισέλθει στην αγορά και να ανακτήσει το κόστος της επένδυσής της. Ωστόσο, η πραγματικότητα είναι ότι οι αγορές δεν είναι τέλειες και η αναμονή για την τιμή σπανιότητας δεν είναι πάντα μια έγκυρη λύση.

Επιπλέον, τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται στην τιμολόγηση σπανιότητας επιτρέπουν συνήθως κάποιου είδους παρέμβαση από τη ρυθμιστική αρχή επειδή, μεταξύ άλλων, η ρυθμιστική αρχή δεν πρόκειται να διακινδυνεύσει την αξιοπιστία του συστήματος περιμένοντας να εμφανιστεί η τιμή σπανιότητας. Πραγματικά παραδείγματα αγορών μόνο για ενέργεια είναι η ERCOT (Texas, Ηνωμένες Πολιτείες), η NEM (Αυστραλία) και η AESO (Αλμπέρτα, Καναδάς).

### **Μηχανισμοί ασφάλειας εφοδιασμού**

Οι μηχανισμοί ασφάλειας του εφοδιασμού συνεπάγονται ότι η ρυθμιστική αρχή παρεμβαίνει για να διασφαλίσει την επάρκεια παραγωγής. Αυτοί οι μηχανισμοί μπορούν να ταξινομηθούν ως μηχανισμοί τιμών και ως ποσοτικοί μηχανισμοί:

- Οι μηχανισμοί τιμών ορίζουν ένα εισόδημα που θα λάβει η παραγωγή για την παροχή σταθερής δυναμικότητας, αλλά δεν προσδιορίζουν την απαιτούμενη ποσότητα, οπότε ο ρυθμιστής δεν μπορεί να θέσει στόχο για το πόση χωρητικότητα χρειάζεται το σύστημα. Η αγοραζόμενη χωρητικότητα μπορεί να είναι υψηλότερη ή χαμηλότερη από την απαιτούμενη ποσότητα.

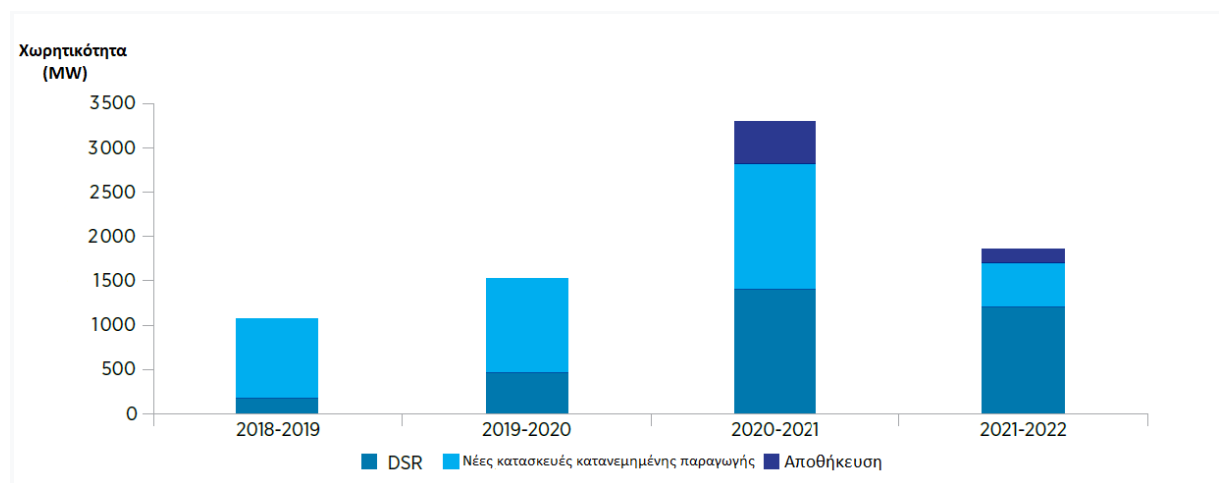
- Με τους μηχανισμούς ποσότητας η ρυθμιστική αρχή σταθεροποιεί την απαιτούμενη δυναμικότητα για να εξασφαλιστεί η επάρκεια παραγωγής και αφήνει την αγορά να καθορίσει τη σωστή τιμή. Αυτοί οι μηχανισμοί μπορούν να χωριστούν σε τρεις

κατηγορίες: αγορές χωρητικότητας (π.χ. Γουατεμάλα και Δυτική Αυστραλία), μακροχρόνιες δημοπρασίες για καθυστερημένη παράδοση προϊόντων αξιοπιστίας (π.χ. Βραζιλία, ISO New England και PJM), ή τα στρατηγικά αποθέματα ως προϊόν αξιοπιστίας (π.χ. Νέα Ζηλανδία).

### 3. Ανάπτυξη της αποθήκευσης ενέργειας με μηχανισμούς ασφάλειας εφοδιασμού

Όπως εξηγήθηκε παραπάνω, οι ρυθμιστικές αρχές χρησιμοποιούν μηχανισμούς ασφάλειας εφοδιασμού για την προμήθεια επαρκούς δυναμικότητας και για να διατηρήσουν ένα ορισμένο επίπεδο αξιοπιστίας- ωστόσο, οι εν λόγω μηχανισμοί περιλαμβάνουν συνήθως μόνο θερμικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Εάν οι μηχανισμοί αυτοί επανασχεδιαστούν σωστά, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να είναι σε θέση να αποφύγει την ανάγκη για επενδύσεις σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής αιχμής που θα απαιτούνταν διαφορετικά για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας του συστήματος.

Για παράδειγμα, στο Ηνωμένο Βασίλειο ο εφαρμοζόμενος μηχανισμός ασφάλειας του εφοδιασμού επιτρέπει τη συμμετοχή των έργων αποθήκευσης. Ο μηχανισμός, που προτάθηκε το 2013 στο πλαίσιο της μεταρρύθμισης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, είναι μία μακροπρόθεσμη δημοπρασία για ένα προϊόν αξιοπιστίας καθυστερημένης παράδοσης. Ο μηχανισμός έχει δύο τύπους δημοπρασιών: T-4, ο οποίος πραγματοποιείται τέσσερα χρόνια νωρίτερα (η χωρητικότητα δεν απαιτείται μέχρι τέσσερα χρόνια αργότερα), και T 1, που διεξάγεται ένα έτος πριν. Οι συμβάσεις για έργα αποθήκευσης έχουν ήδη ανατεθεί στην αγορά χωρητικότητας (Σχήμα 3-18).



**Σχ. 3-18: Αποκεντρωμένη δυναμικότητα με επιτυχία στις δημοπρασίες της αγοράς χωρητικότητας, Ηνωμένο Βασίλειο, 2018-22**

Ο λόγος για τον οποίο η επιτυχία της ικανότητας αποθήκευσης μειώθηκε το 2021-22 είναι επειδή το 2017 η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου εισήγαγε ένα συντελεστή αποτίμησης για την αποθήκευση με βάση τη διάρκεια της αποφόρτισης. Ο

συντελεστής αντικατόπτριζε τη συμβολή των διαφόρων τύπων αποθήκευσης ενέργειας στην ασφάλεια του εφοδιασμού.

Ευνόησε την αποθήκευση ενέργειας μεγάλης διάρκειας (> 4 ώρες) με 96,11% έναντι της αποθήκευσης βραχείας διάρκειας (π.χ. αποθήκευση διάρκειας 1 ώρας με 36,11%). Αυτό οδήγησε στην πτώση των συμβάσεων που ανατέθηκαν στην αποθήκευση 150 MW στην πιο πρόσφατη δημοπρασία T-4 από 500 MW στην την προηγούμενη. Τέλος, στο τέλος του 2018, στο Ηνωμένο Βασίλειο η αγορά χωρητικότητας κηρύχθηκε παράνομη από δικαστική απόφαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης .

### **3.2.7 Περίπτωση 7: Ενεργοποίηση υψηλών μεριδίων ανανεώσιμης ενέργειας σε εκτός δικτύου πλαίσιο**

#### **1. Προκλήσεις**

Ο στόχος 7 για τη βιώσιμη ανάπτυξη αποσκοπεί στην εξασφάλιση πρόσβασης σε οικονομική προσιτή, αξιόπιστη, βιώσιμη και σύγχρονη ενέργεια για όλους έως το 2030. Με σχεδόν 1 δισεκατομμύριο από τους ανθρώπους του παγκόσμιου πληθυσμού να εξακολουθεί να μην έχει πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια, για τους περισσότερους από τους οποίους ζουν σε αγροτικές περιοχές, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εκτός δικτύου αποτελούν βασική λύση για την επίτευξη του εν λόγω στόχου. Ειδικότερα, τα φωτοβολταϊκά είναι εξαιρετικά επεκτάσιμα και εύκολα στην ανάπτυξη οπουδήποτε, συμπεριλαμβανομένων των πιο απομακρυσμένων περιοχών.

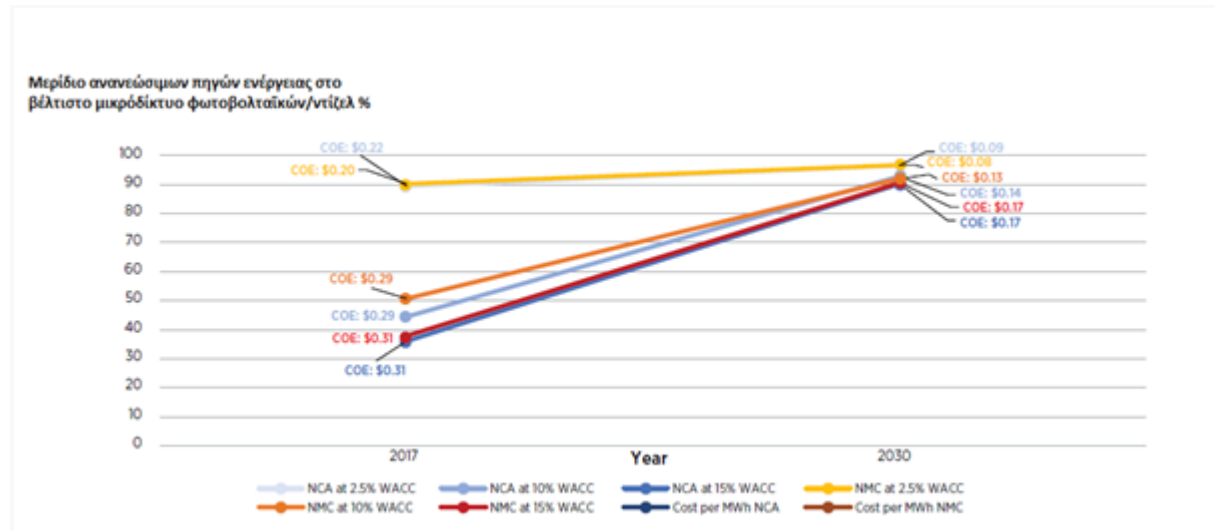
Όπου η ηλεκτρική ενέργεια είναι προσβάσιμη, μια σημαντική πρόκληση για τους ανθρώπους που ζουν σε αγροτικές περιοχές είναι η αξιοπιστία της παροχής.

Πολλοί άνθρωποι με αναξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας υποφέρουν από συνεχείς διακοπές ρεύματος και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις ακριβές και ρυπογόνες γεννήτριες ντίζελ ως εφεδρικές του δικτύου, ακόμη και για καθημερινές ανάγκες όπως ο φωτισμός.

#### **2. Λύσεις**

Η ανάπτυξη ηλιακών φωτοβολταϊκών με μπαταρίες επιτρέπει όχι μόνο στην ενέργεια να αποθηκεύεται και να χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια περιόδων κατά τις οποίες ο ήλιος δε λάμπει, αλλά παρέχει και μεγαλύτερη ευελιξία καθώς τα ηλιακά φωτοβολταϊκά αυξάνονται και γίνονται η κύρια πηγή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές εκτός δικτύου και σε περιοχές με αδύναμο δίκτυο. Από κοινού με τις ηλιακές φωτοβολταϊκές και αιολικές τεχνολογίες, η αποθήκευση σε μπαταρίες έχει

παρουσιάζει ταχεία μείωση του κόστους τα τελευταία χρόνια, και αναμένεται να συνεχιστεί και στο μέλλον. Το σχήμα 3-19 δείχνει το μερίδιο των ηλιακών φωτοβολταϊκών σε ένα μίνι-δίκτυο με το λιγότερο δυνατό κόστος το 2017 και το 2030, λαμβάνοντας υπόψη δύο τύπους Li-ion μπαταριών (νικελίου-μαγγανίου-κοβαλτίου [NMC] και νικελίου-κοβαλτίου-αλουμινίου [NCA]).



**Σχ. 3-19: Μερίδιο ηλιακών φωτοβολταϊκών σε υβριδικά μίνι-δίκτυα ελάχιστου κόστους**

Λόγω της τεχνολογικής προόδου και των αναμενόμενων μειώσεων κόστους, το κόστος κεφαλαίου για την αποθήκευση μπαταριών αναμένεται να μειωθεί κατά περισσότερο από 50% έως το 2030, ενισχύοντας έτσι την ποσότητα αποθήκευσης που είναι οικονομική για να αναπτυχθεί σε μικρά δίκτυα, και κατά συνέπεια την αύξηση της ποσότητας των φωτοβολταϊκών που μπορεί να φιλοξενηθεί. Το πιο σημαντικό, που δείχνουν τα αποτελέσματα είναι ότι το 2030, ανεξάρτητα από την πηγή χρηματοδότησης, το βέλτιστο μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα μικροδίκτυα αναμένεται να είναι πάνω από 90%, πολύ διαφορετικό από την περίπτωση σήμερα.

### 3. Ανάπτυξη της αποθήκευσης σε περιβάλλον εκτός δικτύου

Το ενδιαφέρον βρίσκεται στην ανάπτυξη αποθηκευτικών λύσεων σε περιβάλλοντα εκτός δικτύου, ιδίως σε μικροδίκτυα που βρίσκονται σε αγροτικές περιοχές όπου δεν υπάρχει πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο ή σε νησιά που βασίζονται σε ακριβή και ρυπογόνα παραγωγή ντίζελ. Ένα πραγματικό παράδειγμα αποθήκευσης που επιτρέπει σε μεγάλα μερίδια ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας να αντικαταστήσουν το ντίζελ σε ένα πλαίσιο εκτός δικτύου είναι το νησί Ta'u στην Αμερικανική Σαμόα, όπου η θυγατρική της Tesla SolarCity έχει εγκαταστήσει ένα μικροδίκτυο φωτοβολταϊκών 1,4 MW μαζί με 6 MWh αποθήκευσης μπαταριών ιόντων λιθίου από 60 powerpacks της Tesla. Το έργο αυτό, το οποίο ολοκληρώθηκε μέσα σε ένα χρόνο,

παρέχει αυτονομία τριών ημερών, μειώνοντας έτσι δραστικά τη χρήση των γεννητριών ντίζελ.

Η Αμερικανική Σαμόα, μαζί με πολλά νησιά του Ειρηνικού, της Καραϊβικής και του Ινδικού ωκεανού, μεταβαίνει από τη γενιά ορυκτών καυσίμων σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Λόγω της αύξησης του κόστους λειτουργίας των συστημάτων ντίζελ, αυξάνεται το παγκόσμιο ενδιαφέρον για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά-ντίζελ συστήματα. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις βιομηχανικές εφαρμογές όπου η πρόσβαση στο δίκτυο είναι περιορισμένη ή αναξιόπιστη.

Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος είναι το σύστημα 1 MWp ΦΒ, υβριδική λύση, στο Palladam, ένα προάστιο της Tirupur στο Tamil Nadu, Ινδία. Προηγουμένως, το εκκοκκιστήριο είχε αντιμετωπίσει μια σειρά από καθημερινές διακοπές ρεύματος, οι οποίες είναι συνηθισμένες στην πολιτεία της Tamil Nadu, και ως εκ τούτου είχε επιλέξει να χρησιμοποιήσει ένα σύστημα 1,25 MVA ντίζελ για να παρέχει αξιόπιστη παροχή ρεύματος. Ο ελεγκτής, ο οποίος αναπτύχθηκε κυρίως για την ενσωμάτωση υψηλών μεριδίων φωτοβολταϊκών σε συστήματα ντίζελ, εξασφαλίζει μια πολύ αποδοτική παροχή ενέργειας και ένα μερίδιο φωτοβολταϊκών έως και 60% (ως ποσοστό της εγκατεστημένης χωρητικότητας ντίζελ). Σε περίπτωση ξαφνικής πτώσης ή μεγάλης αλλαγής φορτίου στην τροφοδοσία ΦΒ, επαρκείς περιστρεφόμενες εφεδρείες είναι πάντα παρούσες χάρη στην παραγωγή ντίζελ, η οποία ελέγχεται και ρυθμίζεται αυτόματα.

Η εφαρμογή του υβριδικού συστήματος ΦΒ-ντίζελ επέτρεψε στη βαμβακοβιομηχανία να λειτουργεί με αξιόπιστη τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας ακόμη και όταν το δίκτυο δε λειτουργεί. Περίπου 60% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας του εργοστασίου παρέχεται από τα φωτοβολταϊκά κατά τις ώρες αιχμής της παραγωγής. Εκτός από την αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, το ελαιοτριβείο έχει επωφεληθεί από μία μείωση του λειτουργικού κόστους, καθώς και από τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Ωστόσο, ένα υβριδικό σύστημα χωρίς την ενσωμάτωση αποθήκευσης μπορεί να επιτρέψει μόνο την ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια να παράγεται και να χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η εφαρμογή ενός συστήματος μπαταριών όχι μόνο επιτρέπει την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας και να χρησιμοποιείται τη νύχτα, με αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση του CO<sub>2</sub> και του κόστους μειώσεις, αλλά αυξάνει επίσης το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που παράγεται από το σύστημα και παρέχει διάφορες επωφελείς υπηρεσίες.

Στην πόλη Paluan στις Φιλιππίνες, Solar Philippines εγκατέστησαν το μεγαλύτερο μίνι-δίκτυο της Νοτιοανατολικής Ασίας με 2 MW φωτοβολταϊκών, 2 MWh συσσωρευτών αποθήκευσης ιόντων λιθίου της Tesla και 2 MW ηλεκτροπαραγωγών ζευγών ντίζελ ως εφεδρικά (Εικόνα 3-9).





**Εικόνα 3-9: Επιθεώρηση ενός ηλιακού μίνι δικτύου στο Mog Mog, Πολιτεία Υαρ**

Το μίνι-δίκτυο στο Paluan περιλαμβάνει ένα σύστημα αποθήκευσης με μπαταρία που παρέχει στους κατοίκους της περιοχής αδιάλειπτη πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια και οδηγεί σε περαιτέρω μείωση του CO<sub>2</sub> και του κόστους. Η εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί για να παρέχει στην πόλη την απαιτούμενη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και η ικανότητα αποθήκευσης επιτρέπει την παροχή ενέργειας τη νύχτα.

Πριν από την ανάπτυξη του μίνι-δικτύου αποθήκευσης συν τα φωτοβολταϊκά, οι κάτοικοι του Paluan υπέστησαν πολλές διακοπές ρεύματος και είχαν ασταθή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούσε να διαρκέσει μεταξύ τριών και οκτώ ωρών την ημέρα. Το μίνι-δίκτυο δεν παρέχει όχι μόνο καθαρή ενέργεια και μειώνει δραστικά την κατανάλωση ντίζελ της πόλης, αλλά παρέχει επίσης στους κατοίκους σταθερή και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια για 24 ώρες την ημέρα.

Το νησί Graciosa, που βρίσκεται στο βορειότερο τμήμα των Αζορών (Πορτογαλία), αποτελεί ένα ακόμη παράδειγμα κοινότητας νησιού που έχει εφαρμόσει ΑΠΕ με αποθήκευση, μειώνοντας δραστικά την κατανάλωση ντίζελ. Η Graciosa αποφάσισε να μεταβεί σε παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ με ένα υβριδικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική ενέργεια και φωτοβολταϊκά (Εικόνα 3-10).



**Εικόνα 3-10: Ηλιακό μίνι-δίκτυο 60 kW στο γυμνάσιο Ulithi, Πολιτεία Yap**

Αυτό το νέο υβριδικό σύστημα περιλαμβάνει ένα αιολικό πάρκο 4,5 MW, μία φωτοβολταϊκή συστοιχία 1 MWp, ένα σύστημα αποθήκευσης μπαταριών ιόντων λιθίου 3,2 MWh και μια γραμμή μεταφοράς 5,5 χιλιομέτρων. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί ώστε να επιτύχει μερίδιο ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές περίπου 65%. Τον Δεκέμβριο του 2018, το υβριδικό μίνι-δίκτυο παρείχε 100% ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές στο νησί για ημέρες κατά τη διάρκεια των τελικών δοκιμών θέσης σε λειτουργία

### **3.2.8 Περίπτωση 8: Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας πίσω από τον μετρητή**

#### **1. Προκλήσεις για την αυτοκατανάλωση ανανεώσιμης ενέργειας**

Η αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η επέκταση των αγορών και η ανάπτυξη των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών στον τομέα της ενέργειας επιτρέπουν τη μετατόπιση της παραγωγής προς μικρότερες μονάδες που συνδέονται με το σύστημα διανομής και διαμορφώνοντας αυτό που αναφέρεται ως έξυπνο δίκτυο. Σε αυτό το νέο παράδειγμα του δικτύου, η αυτοκατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σε επίπεδο καταναλωτή είναι μια από τις κύριες καινοτομίες που μπορεί να αλλάξει δραστικά τον τρόπο με τον οποίο είναι δομημένο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

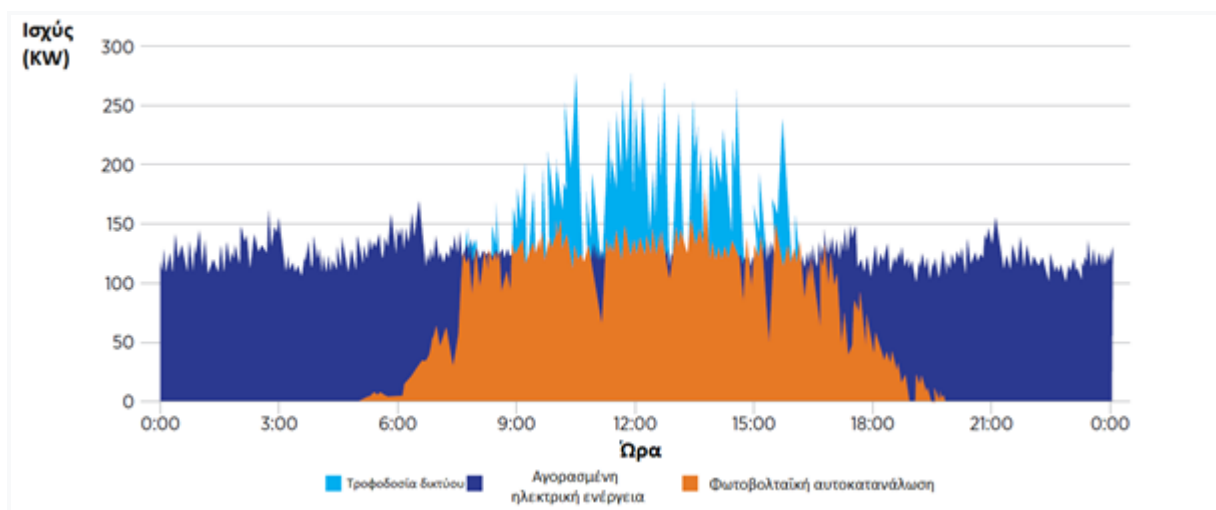
Η αυτοκατανάλωση ανανεώσιμης ενέργειας μπορεί να οριστεί ως η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και δεν εγχέεται στο δίκτυο διανομής ή μεταφοράς ή αποσύρεται αμέσως από το δίκτυο, αλλά αντίθετα καταναλώνεται από τον ιδιοκτήτη της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή από συνεργάτες που έχουν συνάψει απευθείας συμβόλαιο με τον παραγωγό. Δεδομένης της απότομης μείωσης του κόστους της ανανεώσιμης ενέργειας, ορισμένοι καταναλωτές βρίσκουν οικονομικά και τεχνικά εφικτό να εγκαταστήσουν τη

δική τους παραγωγή, και επομένως η αυτοκατανάλωση αρχίζει να γίνεται μια ευρέως διαδεδομένη έννοια. Από τις διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά είναι η συνηθέστερη για αυτοκατανάλωση, δεδομένου του χαμηλού κόστους και της αρθρωτότητας, μεταξύ των άλλων χαρακτηριστικών τους. Μικρές ανεμογεννήτριες, αν και δεν είναι ακόμη ευρέως διαδεδομένες, έχουν επίσης σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούνται για αυτοκατανάλωση.

Η κύρια πρόκληση για την αυτοκατανάλωση της ανανεώσιμης ενέργειας είναι ότι τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά είναι μεταβλητοί πόροι και η παραγωγή τους δεν ακολουθεί τη ζήτηση του καταναλωτή.

Έτσι, σε ορισμένες περιόδους θα υπάρχει περίσσεια ενέργειας ενώ σε άλλες δε θα ικανοποιείται η ζήτηση. Για το λόγο αυτό, οι πελάτες δεν μπορούν να βασίζονται αποκλειστικά στις ΑΠΕ για την κάλυψη της ζήτησής τους.

Η πιο συνηθισμένη λύση για το θέμα αυτό ήταν η εγκατάσταση, για παράδειγμα, ενός φωτοβολταϊκό πάνελ για την κάλυψη της ζήτησης κατά τη διάρκεια της ημέρας, και ταυτόχρονα να έχουν σύνδεση με την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου για την άντληση ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση έλλειψης ή για την τροφοδότηση του δικτύου με την πλεονάζουσα ηλιακή φωτοβολταϊκή παραγωγή που διαφορετικά θα περιοριζόταν (Σχήμα 3-20)



**Σχ.3-20: Ζήτηση και παραγωγή σε ένα σύστημα αυτοκατανάλωσης**

Σύμφωνα με αυτό το σενάριο οι καταναλωτές δεν είναι εντελώς ανεξάρτητοι και εξακολουθούν να βασίζονται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για να καλύψουν τη ζήτησή τους. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. μια μπαταρία) θα μπορούσε να προσφέρει σημαντική αξία στον ιδιοκτήτη του αποκεντρωμένου συστήματος ανανεώσιμης ενέργειας του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκά σε στέγη), καθώς και στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

2. Λύση: Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας πίσω από τον μετρητή

Από την άποψη της αυτοκατανάλωσης, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να συνδυαστεί με φωτοβολταϊκά συστήματα στέγης, έτσι ώστε η περίσσεια της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας να μπορεί να απορροφηθεί και να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν ο ήλιος δεν λάμπει. Αυτός ο τύπος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρεται συνήθως ως αποθήκευση πίσω από τον μετρητή. (BTM), επειδή βρίσκεται κατάντη του σημείου σύνδεσης μεταξύ της εγκατάστασης και του πελάτη.

Οφέλη για τον καταναλωτή

- Μειστοποίηση της αυτοκατανάλωσης της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα αποθήκευσης απορροφά τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια και τη χρησιμοποιεί για την κάλυψη της ζήτησης όταν η ηλιακή φωτοβολταϊκή παραγωγή δεν είναι διαθέσιμη.

- Μείωση του λογαριασμού ηλεκτρικού ρεύματος του καταναλωτή με την απορρόφηση ηλεκτρικής ενέργειας όταν υπάρχει πλεόνασμα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας ή όταν οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλές, και την πώληση της απορροφούμενης ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους όπου οι τιμές είναι υψηλές.

- Μείωση των χρεώσεων ζήτησης, οι οποίες βασίζονται συνήθως στην υψηλότερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από την απαίτηση του καταναλωτή.

- Παροχή εφεδρικής ισχύος και αύξηση της ανθεκτικότητας της ενέργειας για τον καταναλωτή.

Οφέλη για τον διαχειριστή του συστήματος

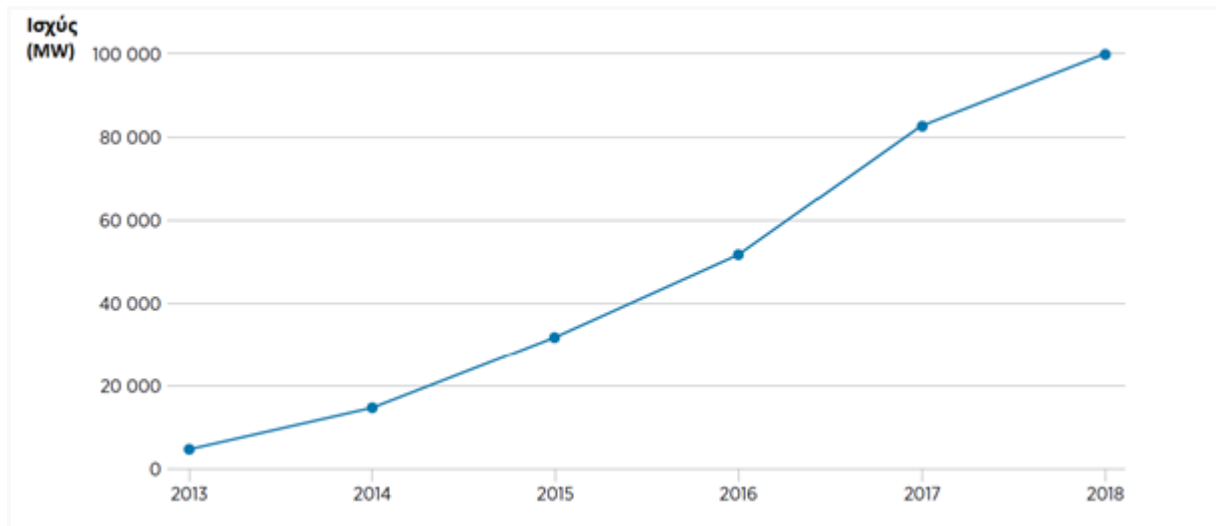
- Παροχή ευελιξίας μέσω της ρύθμισης της συχνότητας και μετατόπιση ενέργειας.

- Αναβολή των επενδύσεων στο δίκτυο

- Αναβολή επενδύσεων σε σταθμούς αιχμής

3. Ανάπτυξη μπαταριών αποθήκευσης BTM και πραγματικά παραδείγματα

Η εγκατάσταση της αποθήκευσης BTM έχει αποτελέσει μια δημοφιλή επιλογή σε πολλές χώρες παγκοσμίως και συνεχίζει να αυξάνεται χρόνο με το χρόνο. Για παράδειγμα, στη Γερμανία ο αριθμός των εγκατεστημένων οικιακών συστημάτων μπαταριών ξεπέρασε τις 100 000 μέχρι το καλοκαίρι του 2018 (Σχήμα 3-21) και ο αριθμός αυτός αναμένεται να διπλασιαστεί μέχρι το 2020.



**Σχ. 3-21: Οικιακά συστήματα αποθήκευσης μπαταριών στη Γερμανία, 2013-18**

Ένα άλλο παράδειγμα αυξανόμενης εγκατάστασης αποθήκευσης BTM μπορεί να βρεθεί στην Αυστραλία, όπου το 2017 21.000 οικιακά συστήματα μπαταριών ήταν εγκατεστημένα. Η Αυστραλία αναμένει αυτόν τον αριθμό να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια, με στόχο την επίτευξη ενός εκατομμυρίου εγκατεστημένων οικιακών συστημάτων μπαταριών μέχρι το 2025. Προς το παρόν, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση σχεδιάζει να δεσμεύσει 200 εκατ. δολάρια για την παροχή κινήτρων στην εγκατάσταση 100 000 νέων οικιακών συστημάτων μπαταριών.

Το προτεινόμενο πρόγραμμα θα χορηγεί στους καταναλωτές 500 δολ/kWh εάν αποφασίσουν να εγκαταστήσουν ένα σύστημα μπαταριών έως 4 kWh, άρα μέγιστη επιχορήγηση 2 000 δολάρια ανά σύστημα είναι δυνατή.

Τα έργα αποθήκευσης μπαταριών BTM που έχουν παράσχει οφέλη τόσο στους καταναλωτές όσο και στους διαχειριστές συστημάτων είναι μεταξύ άλλων:

- Η μπαταρία BTM 6 MWh του συστήματος αποθήκευσης Poway Unified School District. Αυτή η σχολική περιφέρεια στην Καλιφόρνια αναμένει εξοικονόμηση περίπου 1,4 εκατ. δολαρίων σε διάστημα 10 ετών, με κύρια εφαρμογή τις χαμηλότερες χρεώσεις για την κατανάλωση ενέργειας.

- Η Green Mountain Power έχει εγκαταστήσει 2000 Tesla Powerwall 2 στις εγκαταστάσεις των πελατών της στην Vermont, στις Ηνωμένες Πολιτείες, για την παροχή εφεδρικής ενέργειας και την υποστήριξη του δικτύου.

Τα συστήματα αυτά κοστίζουν στους καταναλωτές 1 500 δολάρια ΗΠΑ εκ των προτέρων ή 15 δολάρια ανά μήνα, και η εταιρεία αναμένει ότι οι καταναλωτές θα επωφεληθούν από την εξοικονόμηση 2-3 εκατομμυρίων δολαρίων κατά τη

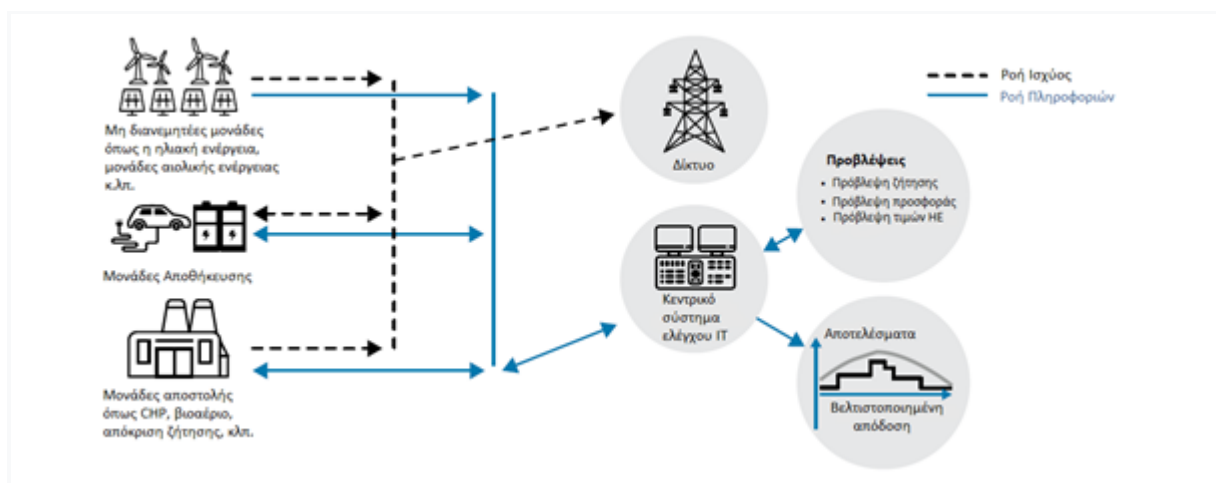
- Η Eneco, μια επιχείρηση κοινής ωφέλειας στις Κάτω Χώρες, ξεκίνησε το CrowdNett, το οποίο είναι ένας εικονικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συστήματα αποθήκευσης με μπαταρίες BTM.

#### 4. Βασικοί παράγοντες που επιτρέπουν την αποθήκευση ενέργειας BTM

Ορισμένοι παράγοντες ενεργοποίησης στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσαν να αυξήσουν την ανάπτυξη της αποθήκευσης BTM. Αυτοί περιγράφονται συνοπτικά κατωτέρω με ορισμένα πρακτικά παραδείγματα.

##### Συσσωρευτές

Ο ρόλος των συσσωρευτών και η αξία που μπορούν να προσφέρουν στην αποθήκευση BTM οφείλει να αναφερθεί. Οι συσσωρευτές είναι νέοι συμμετέχοντες στην αγορά που λειτουργούν μια εικονική μονάδα παραγωγής ενέργειας, η οποία είναι μια συνάθροιση διασκορπισμένων κατακεκολλημένων ενεργειακών πόρων με στόχο να δώσουν τη δυνατότητα σε αυτές τις μικρές πηγές ενέργειας να παρέχουν υπηρεσίες στο δίκτυο. Το Σχήμα 3-22 είναι μια επισκόπηση του τρόπου λειτουργίας ενός συσσωρευτή.



**Σχ. 3-22: Επισκόπηση ενός συσσωρευτή**

Οι συσσωρευτές επιτρέπουν την ενισχυμένη συμμετοχή της BTM αποθήκευσης στις διάφορες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλουν στη μείωση του οριακού κόστους της ενέργειας και στη βελτιστοποίηση των επενδύσεων σε υποδομές του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας- ωστόσο, απαιτούν κατάλληλο ρυθμιστικό πλαίσιο

και εκ των προτέρων υποδομή μέτρησης προκειμένου να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό τους.

Παραδείγματα συσσωρευτών αποθήκευσης περιλαμβάνουν:

- Eneco CrowdNett, όπως έχει ήδη παρουσιαστεί στην προηγούμενη ενότητα.
- STEM, η οποία είναι μια νεοφυής επιχείρηση με έδρα την Καλιφόρνια που χρησιμοποιεί τεχνητή νοημοσύνη και την αποθήκευση BTM για τη δημιουργία ενός εικονικού εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το μοντέλο συνάθροισης sonnenCommunity BTM, το οποίο είναι ένας γερμανικός συσσωρευτής από την εταιρεία μπαταριών Sonnen, που επιτρέπει στους καταναλωτές να συμμετέχουν σε υπηρεσίες δικτύου.

Τιμολόγια κατά τη διάρκεια της χρήσης

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για την αποθήκευση BTM είναι τα τιμολόγια χρόνου χρήσης (ToU), τα οποία αποτελούν επίσης καταλύτη για την απόκριση στη ζήτηση.

Τα τιμολόγια χρόνου χρήσης είναι χρονικά μεταβαλλόμενα τιμολόγια που καθορίζονται σύμφωνα με το ισοζύγιο του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ή τα βραχυπρόθεσμα

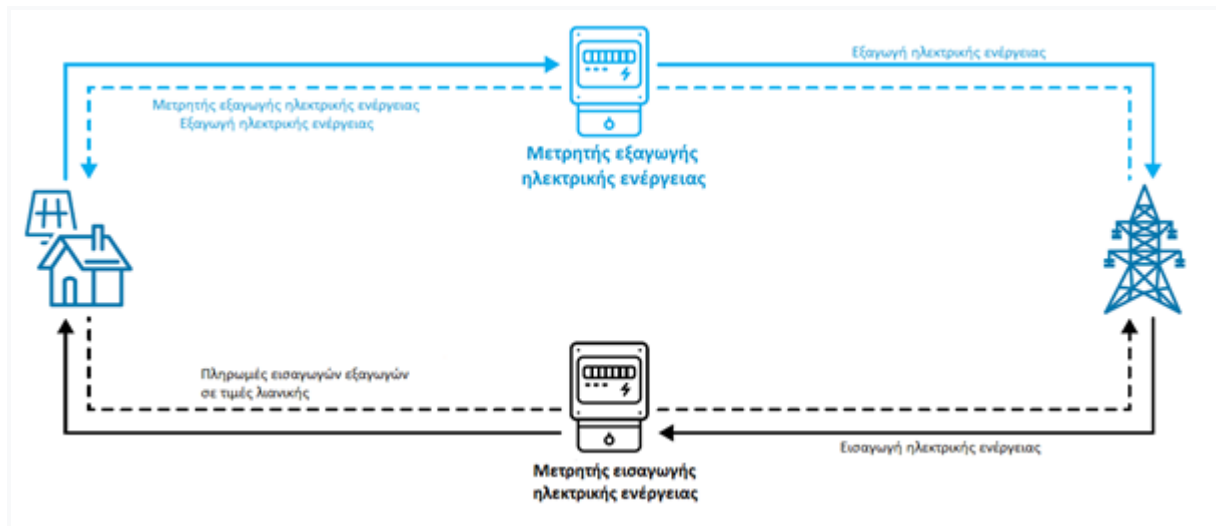
σήματα τιμών της χονδρικής αγοράς. Αυτά επιτρέπουν στους καταναλωτές να προσαρμόζουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης BTM) για να μειώσουν το ενεργειακό τους κόστος.

Τα τιμολόγια ToU επιτρέπουν στους καταναλωτές να βλέπουν πότε οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλές ή χαμηλές, προτείνοντας τις βέλτιστες ώρες για τη φόρτιση μίας μπαταρίας. Υπάρχουν διάφορες μορφές τιμολογίων ToU: στατική τιμολόγηση ToU, τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο, μεταβλητή τιμολόγηση αιχμής, και τιμολόγηση κρίσιμης αιχμής. Οι χώρες που έχουν υιοθετήσει τιμολόγια ToU περιλαμβάνουν την Ιταλία (στατικό τιμολόγιο ToU), την Ισπανία και τη Σουηδία (τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο) και τη Γαλλία (τιμολόγηση κρίσιμης αιχμής).

Καθαρά συστήματα χρέωσης

Προκειμένου να αποκτηθούν αρκετά έσοδα για να καταστήσουν την μπαταρία BTM μια κερδοφόρα επένδυση, η μπαταρία πρέπει να φορτίζεται όταν οι τιμές είναι χαμηλές (με τιμολόγια ToU όπως εξηγείται ανωτέρω) και να εκφορτίζεται όταν οι τιμές είναι υψηλές, έτσι ώστε η διαφορά των τιμών να παράγει επαρκή έσοδα. Για να συμβεί αυτό, τα παραδοσιακά συστήματα καθαρής μέτρησης δεν είναι πλέον έγκυρα. Στο πλαίσιο του net metering το συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο υπολογίζεται και καταβάλλεται ή λαμβάνεται συνολική αμοιβή μετά από πολλαπλασιασμό αυτού του

ισοζυγίου με μια συγκεκριμένη τιμή. Για να επωφεληθεί η αποθήκευση από τη διαφορά τιμής, μια επιλογή είναι ένα σύστημα καθαρής χρέωσης. Στο πλαίσιο της καθαρής χρέωσης, η αποζημίωση βασίζεται στην αξία των kWh που καταναλώνονται ή εγχέονται στο δίκτυο, επομένως επιτρέπει στον καταναλωτή να πληρώνει χαμηλές τιμές κατά τη φόρτιση και να λαμβάνει υψηλές τιμές κατά την εκφόρτιση. Στο σχήμα 3-23 παρουσιάζεται η ροή των πληρωμών ηλεκτρικής ενέργειας και της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύστημα καθαρής χρέωσης.



**Σχ.3-23: Σχηματική απεικόνιση της ροής της ηλεκτρικής ενέργειας και των πληρωμών σε ένα σύστημα καθαρής χρέωσης**

Ορισμένες χώρες έχουν ήδη εφαρμόσει αυτό το σύστημα προκειμένου να δοθούν κίνητρα για αυτοκατανάλωση. Στην Ιταλία, η αυτοκατανάλωση ρυθμίζεται από το "Sistema Efficiente di Utanza" (SEU), το οποίο θέτει την απαίτηση για να χαρακτηριστεί κάποιος ως πόρος αυτοκατανάλωσης και να επωφεληθεί από συγκεκριμένα πλεονεκτήματα (απαλλαγή από τις πληρωμές ή επιβαρύνσεις). Επιπλέον, εάν ο πόρος είναι ανανεώσιμος και μικρότερος από 200 κιλοβάτ αιχμής, οι πόροι αυτοκατανάλωσης, όπως η αποθήκευση, μπορούν να υπόκεινται στο "Scambio sul posto", το οποίο είναι ένα είδος συστήματος καθαρής χρέωσης που επιστρέφει μέρος του λογαριασμού για την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο με βάση το πλεόνασμα της ενέργειας που πωλείται στο δίκτυο. Άλλες χώρες με συστήματα καθαρής χρέωσης είναι το Μεξικό, η Χιλή, η Ινδονησία, η Πορτογαλία και η Γερμανία.

Άλλοι παράγοντες που παρέχουν κίνητρα για την ανάπτυξη του BTM είναι:

- Το ρυθμιστικό πλαίσιο, ιδίως μία απελευθερωμένη χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς ανώτατα όρια τιμών (π.χ. NYISO).
- Η προηγμένη υποδομή μέτρησης.
- Η καλύτερη πρόβλεψη της παραγωγής.



## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το εγχείρημα της απολιγνιτοποίησης που έχει ήδη δρομολογηθεί και ο στόχος δραστηκής αύξησης των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα, λειτουργούν ως καταλύτες για την εκτόξευση του επενδυτικού ενδιαφέροντος προς την αποθήκευση, ως τον απαραίτητο «κρίκο» προκειμένου το σύστημα να μπορέσει να ανταποκριθεί στην ενεργειακή μετάβαση. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να παρέχει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών που υποστηρίζουν την ενσωμάτωση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας και αντιμετωπίζουν ορισμένες από τις νέες προκλήσεις που δημιουργεί η μεταβλητότητα και η αβεβαιότητά τους.

Η ηλιακή φωτοβολταϊκή παραγωγή μπορεί να υπερβαίνει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της μέσης ημέρας και η αποθήκευση μπορεί να απορροφήσει μέρος αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας και να την επανατροφοδοτήσει σε μεταγενέστερο στάδιο. Ένα βασικό στοιχείο είναι ότι η αποθήκευση μπορεί να παρέχει αποτελεσματικά πολλαπλές υπηρεσίες ταυτόχρονα, συσσωρεύοντας έτσι έσοδα για μεγαλύτερη κερδοφορία.

Το Πλαίσιο αποτίμησης της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που σχεδιάστηκε από τον Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας έχει ως στόχο να καθοδηγήσει την ανάπτυξη αποτελεσματικών πολιτικών αποθήκευσης για την ενσωμάτωση της μεταβλητής παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Το Πλαίσιο και η μεθοδολογία μοντελοποίησης που το συνοδεύει περιγράφουν τον τρόπο αξιολόγησης της αξίας της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και πώς να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για την επιτυχή ανάπτυξη της αποθήκευσης.

Καθώς το ποσοστό της παραγόμενης από ΑΠΕ ενέργειας αυξάνεται στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, η αποθήκευση αρχίζει να αναγνωρίζεται από τους ενδιαφερόμενους ως σημαντικό εργαλείο για την αποτελεσματική ενσωμάτωση της. Ανάλογα με την πρωταρχική υπηρεσία που προσφέρει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, ωστόσο, άλλες τεχνολογίες μπορεί να είναι ικανές να καλύψουν την ίδια ανάγκη. Η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει, επομένως, να αξιολογείται στο σύστημα και να συγκριθεί με άλλες τεχνολογίες. Αποδεικνύεται ότι η στείβαξη των εσόδων από την ποικιλία των υπηρεσιών, που μπορεί να προσφέρει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, είναι το κλειδί για την ακριβή αποτίμηση των πλεονεκτημάτων της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και απαραίτητη προϋπόθεση για την εμπορική βιωσιμότητά της.

Το παρόν Πλαίσιο δίνει έμφαση στα οφέλη που μπορεί να αποφέρει η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας τόσο στους ιδιοκτήτες της και, το σημαντικότερο, στο σύστημα

ηλεκτρικής ενέργειας. Το Πλαίσιο εξετάζει τις υπηρεσίες που μπορεί να παρέχουν, και οι τεχνολογίες αποθήκευσης συγκρίνονται ως προς την καταλληλότητα για την παροχή αυτών των υπηρεσιών. Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με και χωρίς αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας αξιολογείται στη συνέχεια για να προσδιοριστούν τα οφέλη που μπορεί να επιφέρει στο δίκτυο. Η κατανομή ενός μεμονωμένου έργου αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μοντελοποιείται και, τέλος, αξιολογείται η οικονομική βιωσιμότητά του για να προσδιοριστεί, εάν απαιτώνται παρεμβάσεις πολιτικής για την παροχή κινήτρων ανάπτυξης έργων. Οι φάσεις που ορίζονται στο Πλαίσιο είναι απαραίτητα βήματα για την ορθή αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων που η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιφέρει στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε επίπεδο έργου, τα οφέλη του συστήματος από την αποθήκευση κατηγοριοποιούνται ως μετρήσιμα ή μη μετρήσιμα. Εάν τα συνολικά οφέλη υπερβαίνουν το κόστος, αλλά τα νομισματοποιημένα οφέλη είναι μικρότερα από το κόστος, αυτό σημαίνει ότι οι προγραμματιστές/ιδιοκτήτες έργων δεν έχουν αρκετά οικονομικά κίνητρα για την κατασκευή ενός έργου. Στην περίπτωση αυτή, είναι πιθανό να χρειαστεί παρέμβαση πολιτικής, για να δοθούν κίνητρα για την ανάπτυξη ενός τέτοιου έργου, ώστε να επιτευχθεί το συνολικό κοινωνικό όφελος, το οποίο και αποτελεί προτεραιότητα.

## **5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

IRENA\_storage\_valuation\_2020