



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

**Αξιολόγηση της Ετοιμότητας Διαφόρων Ευρωπαϊκών  
Χωρών για Εγκατάσταση Συστημάτων Αποθήκευσης  
Ενέργειας**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευάγγελος Ηρακλής, Α. Παλιάτσος

Επιβλέπων : Χρυσόστομος (Χάρης), Δούκας  
Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

**Αξιολόγηση της Ετοιμότητας Διαφόρων Ευρωπαϊκών  
Χωρών για Εγκατάσταση Συστημάτων Αποθήκευσης  
Ενέργειας**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευάγγελος Ηρακλής, Α. Παλιάτσος

**Επιβλέπων :** Χρυσόστομος (Χάρης), Δούκας  
Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18<sup>η</sup> Οκτωβρίου 2023.

.....  
Χάρης Δούκας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ευάγγελος Μαρινάκης  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

.....  
Ευάγγελος Ηρακλής, Α. Παλιάτσος

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

Copyright © Ευάγγελος Ηρακλής, Α. Παλιάτσος, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Περίληψη

Το δυναμικό αποθήκευσης ενέργειας στην Ευρώπη αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τις επόμενες δεκαετίες για να καταστεί δυνατή η ενσωμάτωση των ΑΠΕ και να διασφαλιστεί η ασφάλεια του εφοδιασμού και η εξισορρόπηση των νέων εξαιρετικά ασταθών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Το μέγεθος αυτής της αύξησης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το επίπεδο διείσδυσης των ΑΠΕ, η διαθεσιμότητα εφεδρικής ισχύος (ακόμη και με βάση τα ορυκτά καύσιμα για μικρά διαστήματα) κ.λπ. Είναι προφανές ότι η κλιμάκωση των επενδύσεων για την εγκατάσταση αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας θα είναι το κλειδί για την επίτευξη των κλιματικών στόχων. Ο σχεδιασμός επιχειρηματικών μοντέλων είναι ζωτικής σημασίας προς αυτή την κατεύθυνση και ο εντοπισμός ικανοποιητικών και ελκυστικών ροών εσόδων θα αποτελέσει σημαντικό μοχλό. Ο συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογιών αποθήκευσης και η ανάπτυξη συστημάτων υβριδικής αποθήκευσης ενέργειας (HESS) μπορεί επίσης να οδηγήσουν σε λύσεις που δύνανται να αντισταθμίσουν τα μειονεκτήματα των μεμονωμένων τεχνολογιών αποθήκευσης. Ωστόσο, η απόφαση για τον τόπο και πιο συγκεκριμένα την χώρα στην οποία θα αποβεί περισσότερο συμφέρουσα μια επένδυση σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας αποτελεί το μεγαλύτερο ζήτημα προς επίλυση, καθώς ο βαθμός ετοιμότητας κάθε χώρας να δεχθεί τέτοιου είδους επενδύσεις δεν είναι ο ίδιος.

Σε αυτό το πλαίσιο, στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αξιολογήσει τον βαθμό ετοιμότητας ορισμένων ευρωπαϊκών χωρών σε επενδύσεις αποθήκευσης ενέργειας. Η προτεινόμενη μεθοδολογία θα εξετάσει την καταλληλότητα κάθε χώρας για επένδυση σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη κοινωνικούς, πολιτικούς, οικονομικούς και τεχνολογικούς παράγοντες εφαρμόζοντας μια μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης με σκοπό να προτείνει την πιο ευνοϊκή χώρα στην οποία θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η επένδυση αυτή.

### Λέξεις Κλειδιά:

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας, Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου, Αντλησιοταμίευση, Αποθήκευση Υδρογόνου, Πολυκριτηριακά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, TOPSIS



## **Abstract**

Energy storage potential in Europe is expected to increase significantly in the upcoming decades to enable the integration of RES and to ensure security of supply and balancing of the new highly unstable electricity systems. The magnitude of this increase depends on various factors such as the level of penetration of RES, the availability of back-up power (even based on fossil fuels for short periods), etc. Scaling up investment in large-scale storage installation will be key to meeting climate goals. Business model design is crucial in this direction and identifying satisfactory and attractive revenue streams will be an important driver. The combination of different storage technologies and the development of hybrid energy storage systems (HESS) can also lead to solutions that can compensate for the disadvantages of individual storage technologies. However, the decision on the place and more specifically the country in which an investment in energy storage systems will be more profitable is the biggest issue to be resolved, as the degree of readiness of each country to accept such investments is not the same.

In this context, the aim of this thesis is to evaluate the degree of readiness of some European countries for energy storage investments. The proposed methodology will examine the suitability of each country for investment in energy storage systems, taking into account social, political, economic and technological factors by applying a multi-criteria analysis method in order to propose the most favorable country in which this investment could be made.

**Keywords:** Renewable Energy Sources, Electric Energy Storage, Lithium Ion Batteries, Fuel Saving, Hydrogen Storage, Multi-Criteria Decision Support Systems, TOPSIS





## **Ευχαριστίες**

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω για τη συμπαράσταση και την ανεκτίμητη βοήθειά τους, όλους όσους με στήριξαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ιδιαίτερα :

Τον κ. Χρυσόστομο (Χάρη) Δούκα, Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για τη συνεργασία, την καθοδήγηση καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου αυτό το πολύ ενδιαφέρον θέμα.

Τον κ. Απόστολο Αρσενόπουλο, Υποψήφιο Διδάκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τη συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας, με ουσιαστική και αμφίδρομη επικοινωνία μέσα από ένα κλίμα συνεργασίας που δημιουργήθηκε.



## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	5
Abstract.....	7
Ευχαριστίες .....	9
Περιεχόμενα.....	11
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	13
Κεφάλαιο 2: Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας.....	15
2.1 Μηχανικές Μέθοδοι Αποθήκευσης Ενέργειας .....	15
2.1.1 Αντλησιοταμίευση (Pumped Hydropower Storage) .....	15
2.1.2 Συμπιεσμένος αέρας (Compressed Air Energy Storage) .....	16
2.1.3 Σφόνδυλοι (Flywheels) .....	18
2.2 Ηλεκτρική αποθήκευση ενέργειας.....	19
2.2.1 Υπερπυκνωτές .....	19
2.2.2 Υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας (Superconducting Magnetic Energy Storage) .....	20
2.3 Ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας.....	21
2.3.1 Μπαταρίες μολύβδου οξέος (Lead acid batteries) .....	21
2.3.2 Μπαταρίες ιόντων λιθίου .....	22
2.3.3 Μπαταρίες νατρίου-θείου (Sodium sulfur batteries).....	23
2.3.4 Μπαταρίες νικελίου (Nickel batteries).....	24
2.4 Θερμικές Μέθοδοι Αποθήκευσης Ενέργειας.....	25
2.4.1 Αποθήκευση Αισθητής Θερμότητας (Sensible Heat Storage) .....	25
2.4.2 Αποθήκευση Λανθάνουσας Θερμότητας (Latent Heat Storage) .....	26
2.4.3 Αποθήκευση Ενέργειας Υγροποιημένου Αέρα (Liquid Air Energy Storage)	
27	
2.4.4 Αποθήκευση Θερμοχημικής Ενέργειας (Thermal-Chemical Heat Storage).	28
2.5 Χημικές Μέθοδοι.....	29

2.5.1	Κυψέλες καυσίμου Υδρογόνου (Hydrogen – Fuel Cells).....	29
Κεφάλαιο 3: Βιβλιογραφική Επισκόπηση Πολυκριτήριας Ανάλυσης.....		31
3.1	Φιλοσοφία Υποστήριξης Αποφάσεων Πολλαπλών Κριτηρίων.....	31
3.2	Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων.....	33
3.3	Τεχνικές Πολυκριτήριας Ανάλυσης.....	34
3.4	Πλεονεκτήματα χρήσης Πολυκριτήριας Ανάλυσης .....	35
3.5	Αναφορές χρήσης Πολυκριτηρίων Μεθόδων σε άλλες έρευνες .....	37
Κεφάλαιο 4: Ορισμός Προβλήματος.....		39
4.1	Οι χώρες-εναλλακτικές της μελέτης (The case study countries-alternatives) ..	39
4.2	Κριτήρια αξιολόγησης .....	39
4.2.1	Ευαισθητοποίηση και αποδοχή του κοινού [0-5].....	40
4.2.2	Ανθρώπινο κεφάλαιο [0-100] .....	40
4.2.3	Πολιτική βούληση (θέληση) [0-4].....	41
4.2.4	Κανονιστικός δείκτης για Βιώσιμη Ενέργεια -Regulatory Indicator for Sustainable Energy RISE [0-100].....	56
4.2.5	Βιωσιμότητα οικονομικού τομέα [0-100].....	60
4.2.6	Ευκολία επιχειρηματικής δραστηριότητας (Ease of doing business) [1-190] 60	
4.2.7	Τεχνολογική καινοτομία (% του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος) .....	61
4.2.8	Εισχώρηση ανανεώσιμης ενέργειας (% του ενεργειακού μείγματος) .....	61
4.2.9	Υποδομές δικτύου μεταφοράς ενέργειας - EAPI [0-1].....	62
4.3	Μεθοδολογικό πλαίσιο .....	65
4.4	Αποτελέσματα Πολυκριτήριας Ανάλυσης.....	67
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα - Συζήτηση .....		70
Βιβλιογραφία .....		72

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Δεδομένης της ευαισθησίας των δικτύων διανομής ενέργειας στις αλλαγές φορτίου/παραγωγής ενέργειας, απαιτούνται Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας (Energy Storage Systems – ESS) με υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος. Ωστόσο, καμία από τις, επί του παρόντος, διαθέσιμες τεχνολογίες ESS δεν ικανοποιεί αυτά τα δύο χαρακτηριστικά. Για το λόγο αυτό, συχνά είναι απαραίτητο να συνδυαστούν δύο ή περισσότερα ESS δημιουργώντας ένα Υβριδικό Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας (HESS). Το HESS σχηματίζεται συνήθως από δύο συμπληρωματικά συστήματα αποθήκευσης, εκ των οποίων ένα υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και ένα άλλο υψηλής πυκνότητας ισχύος. Η χρήση ενός μοναδικού συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, συνήθως υψηλής ενεργειακής πυκνότητας αλλά χαμηλής πυκνότητας ισχύος, δημιουργεί προβλήματα ελέγχου ισχύος καθώς η απόκριση αυτών των τύπων ESS είναι αργή. Επιπλέον, μια υψηλή ζήτηση ισχύος συνήθως επηρεάζει αρνητικά τον κύκλο ζωής του συστήματος αποθήκευσης, μειώνοντάς τον. Με την προσθήκη ενός συστήματος μικρής αποθήκευσης, οι συνθήκες λειτουργίας του κύριου συστήματος αποθήκευσης αμβλύνονται, παρατείνοντας τον κύκλο ζωής του και επιτρέποντας ταυτόχρονα την ικανοποίηση των απαιτήσεων ισχύος. Επιπλέον, η χρήση ενός συστήματος μικρής αποθήκευσης παράλληλα με ένα σύστημα μακράς αποθήκευσης μειώνει το μέγεθος και τις απώλειες ισχύος του κύριου συστήματος αποθήκευσης [1].

Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η αξιολόγηση του βαθμού ετοιμότητας ορισμένων Ευρωπαϊκών χωρών σε επενδύσεις αποθήκευσης ενέργειας. Για την επίτευξη αυτής της αξιολόγησης θα γίνει χρήση μια μεθόδου Πολυκριτήριας Ανάλυσης, μέσω της οποίας θα εξεταστούν οι διάφορες χώρες ως εναλλακτικές και θα αξιολογηθούν σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια αντλούμενα από κοινωνικούς, πολιτικούς, οικονομικούς και τεχνολογικούς τομείς.

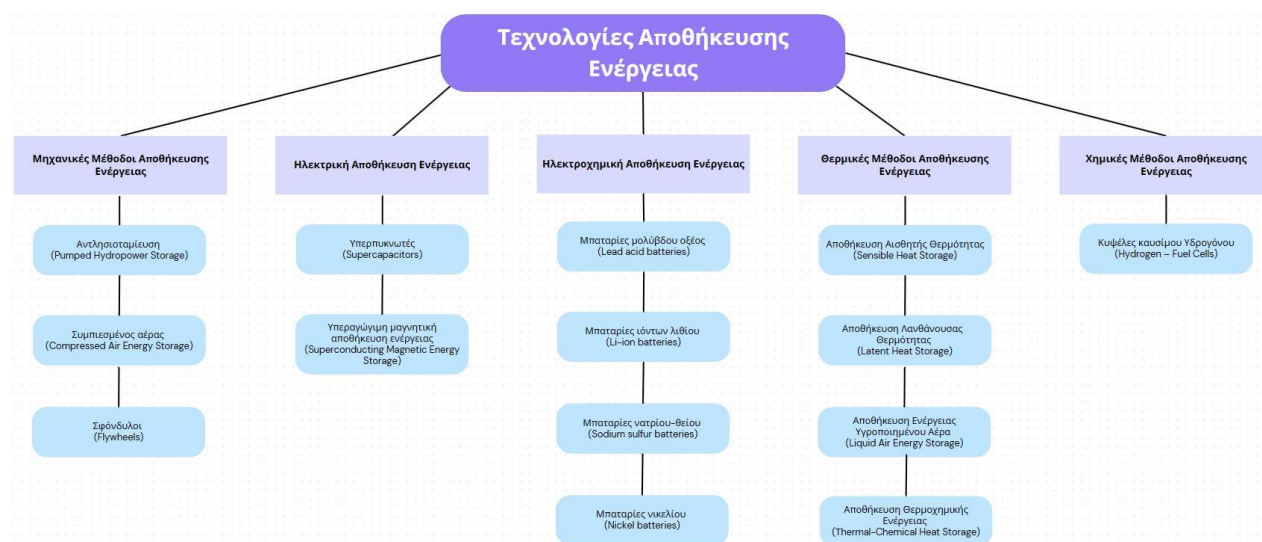
Αναλυτικά, η διπλωματική εργασία διαρθρώνεται στα εξής κεφάλαια:

- Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγή στο θέμα της διπλωματικής εργασίας.
- Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Σύντομη περιγραφή των διαθέσιμων Τεχνολογιών Αποθήκευσης Ενέργειας.
- Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Βιβλιογραφική Επισκόπηση Πολυκριτήριας Ανάλυσης.

- Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Ορίζονται οι εναλλακτικές , τα κριτήρια αξιολόγησης και στη συνέχεια γίνεται Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων.
- Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Εξάγονται τα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της Πολυκριτήριας Ανάλυσης.

## Κεφάλαιο 2: Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο μετατροπής της ενέργειας στις ακόλουθες κατηγορίες που φαίνονται στο Σχήμα 2.1



Σχήμα 2.1: Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας

### 2.1 Μηχανικές Μέθοδοι Αποθήκευσης Ενέργειας

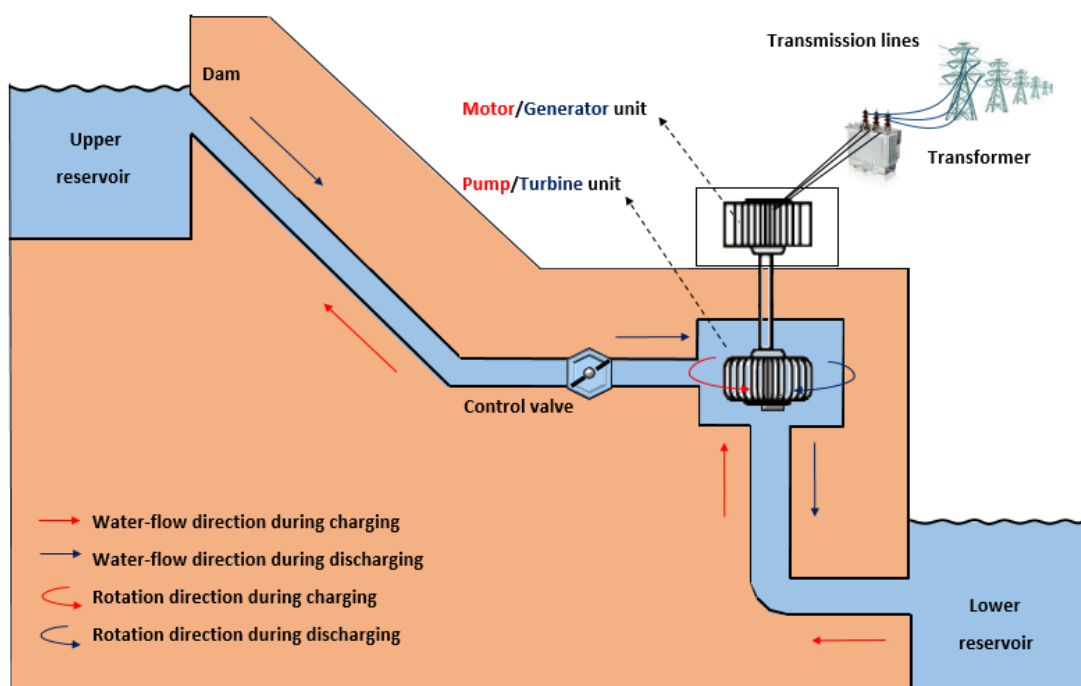
#### 2.1.1 Αντλιοσταμείωση (Pumped Hydropower Storage)

Η αρχή της αντλιοσταμείωσης (PHS) είναι η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση της δυναμικής ενέργειας του νερού. Για την υλοποίηση αυτής της εγκατάστασης απαιτούνται δύο ταμιευτήρες νερού με υψομετρική διαφορά μεταξύ τους (Σχήμα 2.2) [2]. Κατά το στάδιο της φόρτισης, σε περιόδους δηλαδή χαμηλής ζήτησης και υψηλής διαθεσιμότητας ηλεκτρικής ενέργειας, αξιοποιείται η περίσσεια ενέργεια για την μεταφορά του νερού από τον κατώτερο ταμιευτήρα, μέσω της αντλίας/γεννήτριας, προς τον ταμιευτήρα που βρίσκεται σε ανώτερο υψόμετρο. Κατά το στάδιο της εκφόρτισης, όταν υπάρχει ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, το νερό από τον ανώτερο ταμιευτήρα διοχετεύεται στον κατώτερο μέσω τη γεννήτριας/αντλίας μέσα σε σύντομο χρόνο αντίδρασης.

Εξαιτίας αυτού, η αντλιοσταμείωση μπορεί να προσαρμόσει την προσφορά ζήτησης για να εξισορροπήσει αντίστοιχα τη μείωση του κενού μεταξύ των περιόδων αιχμής και εκτός αιχμής, διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο στην εξισορρόπηση των άλλων

μονάδων παραγωγής ισχύος και συνεπώς στην σταθεροποίηση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας[3]. Ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων αντλησιοταμίευσης κυμαίνεται από 70% έως 85% .

Ως πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου αποθήκευσης ενέργειας λογίζονται η άμεση απόκριση και το μικρό κόστος συντήρησης και λειτουργίας που τη χαρακτηρίζει. Ωστόσο , στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται το υψηλό κόστος εγκατάστασης , καθώς και οι εκτεταμένες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον.



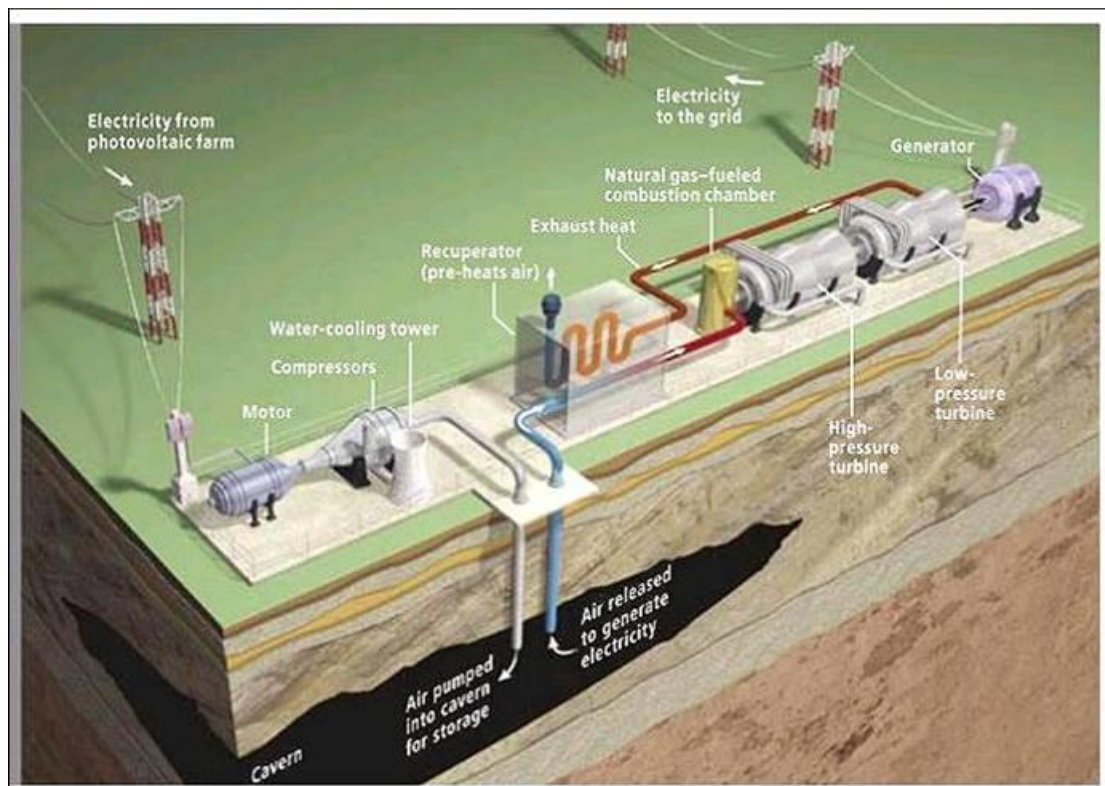
Σχήμα 2.2: Σχηματικό διάγραμμα σταθμού αντλησιοταμίευσης [2]

## 2.1.2 Συμπιεσμένος αέρας (Compressed Air Energy Storage)

Η μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας με συμπιεσμένο αέρα έχει κοινά σημεία λειτουργίας με τη μέθοδο της αντλησιοταμίευσης, με βασική διαφορά ότι χρησιμοποιεί υπόγεια σπήλαια , φυσικά ή τεχνητά, αντί για δύο ταμιευτήρες σε διαφορετικά υψόμετρα. Κατά το στάδιο της φόρτισης, η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργεια χρησιμοποιείται για την αποθήκευση συμπιεσμένου ατμοσφαιρικού αέρα ή κάποιου άλλου αερίου σε υπόγεια σπήλαια υπό υψηλή πίεση. Κατά την εκφόρτιση, όπου δηλαδή υπάρχει ζήτηση ενέργειας, το συμπιεσμένο αέριο απελευθερώνεται , θερμαίνεται και διαστέλλεται



εντός των στροβίλων με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 2.3) [4].



Σχήμα 2.3: Σχηματικό διάγραμμα μιας εγκατάστασης αποθήκευσης ενέργειας με συμπιεσμένο αέρα [4]

Τα συστήματα αυτά έχουν ως πλεονεκτήματα τη μακροχρόνια αποθήκευση ενέργειας (περισσότερο από ένα χρόνο), τη ταχεία απόκριση (λιγότερο από 10 λεπτά), τη υψηλή απόδοση (70-80%), τη μεγάλη διάρκεια ζωής (40 έτη) και τη φιλικότητα προς το περιβάλλον. Το μεγαλύτερο εμπόδιο στην ευρύτερη διάδοσή τους είναι η εύρεση κατάλληλης γεωγραφικής τοποθεσίας [5].

Ωστόσο, η μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας με συμπιεσμένο αέρα συνδέεται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθώς τα πρώτης γενιάς συστήματα CAES εμφανίζουν χαμηλές αποδόσεις, της τάξης του 42-54%, λόγω των αυξημένων θερμικών απωλειών στην ατμόσφαιρα κατά την συμπίεση του αερίου καθώς και κατά την ψύξη του στροβίλου από τον αποσυμπιεσμένο αέρα [6]. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτοί οι δύο παράγοντες που περιορίζουν τη συνολική απόδοση του συστήματος, έχουν σχεδιαστεί προηγμένα αδιαβατικά και ισοθεμικά συστήματα CAES. Συστήματα CAES δεύτερης γενιάς εκμεταλλεύονται την θερμότητα που εκλύεται κατά την συμπίεση, μεταφέροντάς την σε τοποθεσίες αποθήκευσης θερμότητας [7][8]. Οι μονάδες αποθήκευσης ενέργειας προηγμένης αδιαβατικής (AA-

CAES) τείνουν να καταναλώνουν ελάχιστα ή καθόλου καύσιμα , και γενικότερα εξωτερική ενέργεια, για να θερμάνουν τον αέρα κατά την διάρκεια της διαστολής, αυξάνοντας έτσι την συνολική απόδοση σε 70% και εξαλείφοντας τις σχετικές εκπομπές [[9],[10],[11],[12],[13]].

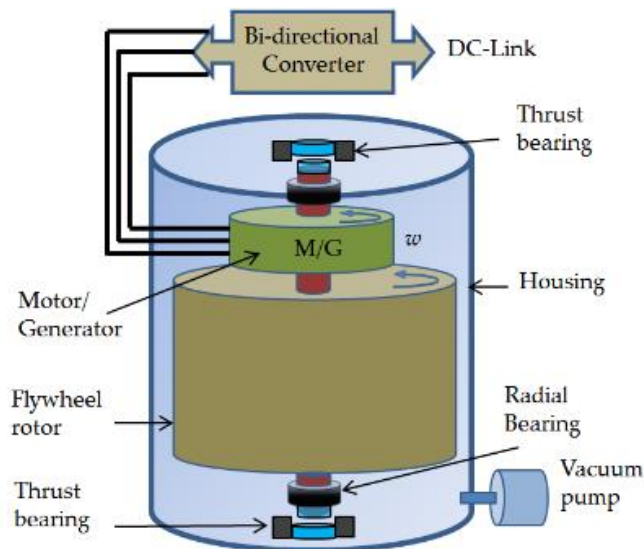
Τα ισοθερμικά συστήματα CAES βασίζονται στην απομάκρυνση της θερμότητας κατά το στάδιο της συμπίεσης του αερίου , διατηρώντας κατά αυτόν τον τρόπο την θερμοκρασία και αποφεύγοντας τα έξοδα για αποθήκες θερμότητας. Η ισοθερμική αυτή διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί μέσω της αργής συμπίεσης του αερίου, επιτρέποντας τη θερμοκρασία να εξισωθεί με το περιβάλλον [14]. Τα συστήματα αυτής της μεθόδου παρουσιάζουν βελτιωμένη απόδοση , 70-80% και σχετικά χαμηλό κόστος.

### **2.1.3 Σφόνδυλοι (Flywheels)**

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με σφόνδυλο, αποτελούνται από ένα μεγάλο στρεφόμενο κύλινδρο ο οποίος αναρτάται σε ρουλεμάν για στήριξη (Σχήμα 2.4). Κατά τη διάρκεια της «φόρτισης», ένας ηλεκτρικός κινητήρας τροφοδοτείται με ηλεκτρισμό , ο οποίος με τη σειρά του περιστρέφει και αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής του σφονδύλου , μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική. Όταν υπάρχει ζήτηση ενέργειας , η ηλεκτρική ενέργεια ανακτάται από τον ίδιο κινητήρα, ο οποίος σε αυτό το στάδιο λειτουργεί ως γεννήτρια, προκαλώντας την επιβράδυνση του σφονδύλου, και επομένως η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

Για την επίτευξη απόδοσης του συστήματος 90-95% μπορούν να χρησιμοποιηθούν θάλαμοι κενού και μαγνητικά ρουλεμάν για την μείωση των τριβών κατά την περιστροφή του σφονδύλου.

Στα πλεονεκτήματα των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με σφόνδυλο περιλαμβάνονται η μη ευαισθησία τους σε περιβαλλοντικές συνθήκες και ο μεγάλος χρόνος ζωής τους, ενώ μειονεκτήματα αποτελούν το υψηλό κόστος τους και οι απώλειες τριβών που παρουσιάζουν με αποτέλεσμα την σχετικά βραχυπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας [15].



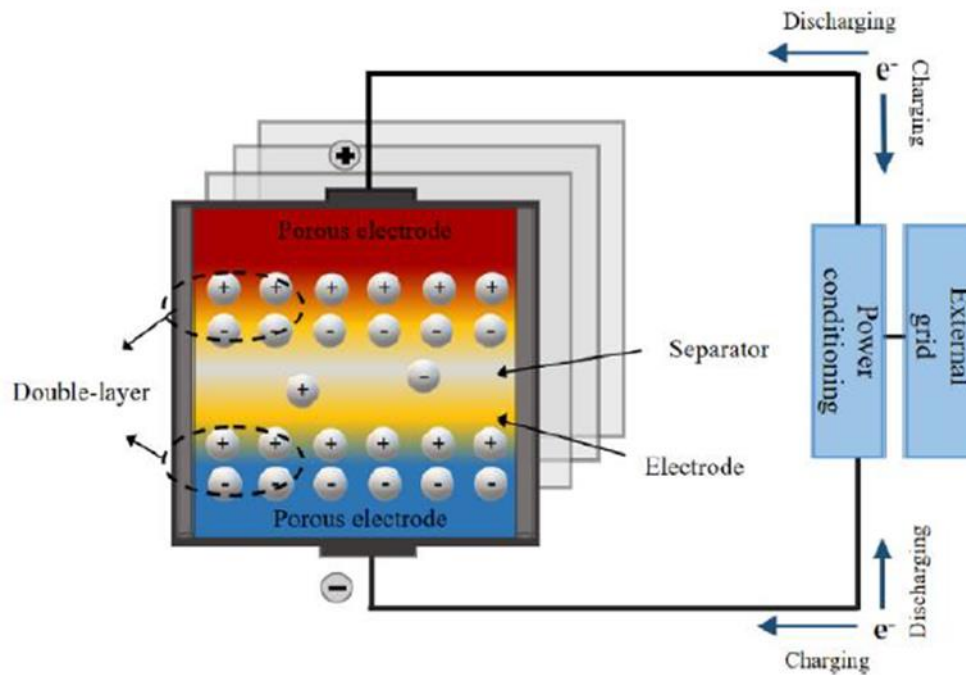
Σχήμα 2.4: Διάγραμμα Συστήματος Αποθήκευσης Σφονδύλου [16]

## 2.2 Ηλεκτρική αποθήκευση ενέργειας

### 2.2.1 Υπερπυκνωτές

Οι πυκνωτές μπορούν να χωριστούν σε τρεις κύριες κατηγορίες: ηλεκτροστατικούς, ηλεκτρολυτικούς και ηλεκτροχημικούς. Οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές είναι γνωστοί και ως υπερπυκνωτές (supercapacitors - SC), βασική αρχή των οποίων είναι η χρήση διπλού ηλεκτρικού στρώματος. Το διπλό σκέλος είναι ένα ενεργό σύστημα πυκνότητας και χωρητικότητας με παραδοσιακούς σύνθετους πυκνωτές. Οι υπερπυκνωτές αποτελούνται από έναν ηλεκτρολύτη (οργανικό ή υδατικό διάλυμα), δύο μεταλλικούς ηλεκτρικούς αγωγούς και μια πορώδη διαχωριστική μεμβράνη από κεραμικό, γυαλί ή πλαστικό.

Οι υπερπυκνωτές έχουν τα χαρακτηριστικά των ηλεκτροχημικών μπαταριών και των παραδοσιακών πυκνωτών. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η υψηλή πυκνότητα ισχύος (500-5000 W/kg), οι κύκλοι ζωής (>10<sup>5</sup>), η υψηλή απόδοση (85-97%), η γρήγορη απόκριση (<5ms), η μεγάλη διάρκεια ζωής (40 χρόνια) και ο μικρός χρόνος φόρτισης. Ωστόσο, ο υψηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης (5-40 %/ημέρα), το υψηλό κόστος επένδυσης (6000\$/kWh) και η δυνατότητα παροχής αποθηκευμένης ενέργειας μόνο για λίγα λεπτά εμποδίζουν την ευρεία χρήση υπερπυκνωτών. Επίσης, γίνεται έρευνα για τη μείωση του κόστους επένδυσης και για την εύρεση νέων υλικών [17].

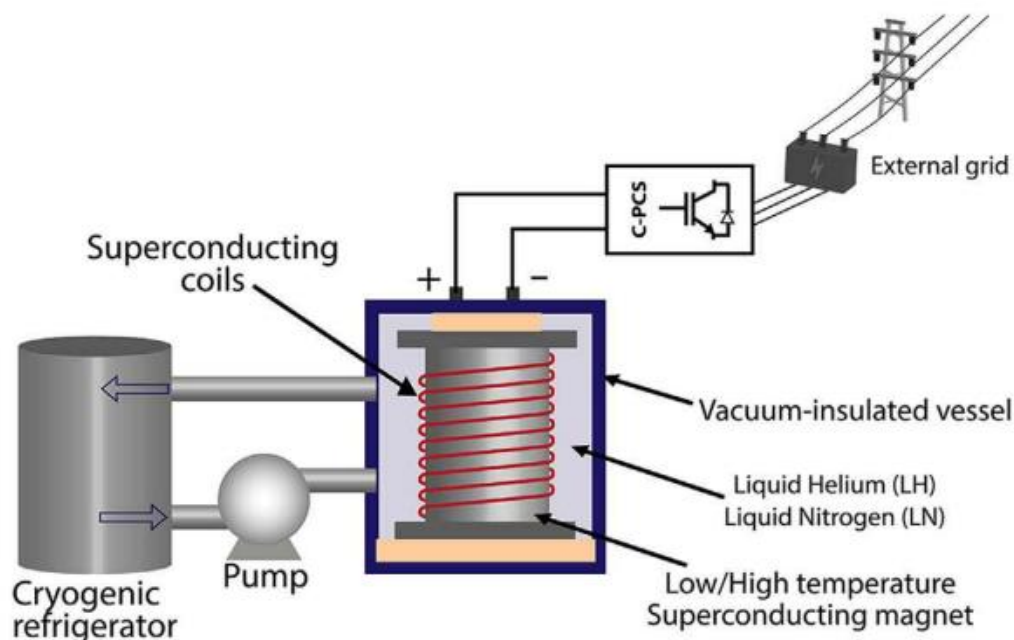


Σχήμα 2.5: Σχηματικό διάγραμμα Υπερπυκνωτή [5]

## 2.2.2 Υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας (Superconducting Magnetic Energy Storage)

Τα συστήματα αποθήκευσης υπεραγώγιμης μαγνητικής ενέργειας (SMES) αποθηκεύουν ενέργεια σε ένα μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από ένα συνεχές ρεύμα που διαρρέει ένα υπεραγώγιμο πηνίο. Σε ένα κοινό καλώδιο, καθώς το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το σύρμα, ορισμένη ενέργεια χάνεται ως θερμότητα λόγω της ηλεκτρικής αντίστασης. Ωστόσο, σε ένα σύστημα αποθήκευσης υπεραγώγιμης μαγνητικής ενέργειας, το σύρμα κατασκευάζεται από ένα υπεραγώγιμο υλικό που έχει ψυχθεί κρυογονικά κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία του. Ως αποτέλεσμα, το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να περάσει μέσα από το καλώδιο χωρίς σχεδόν καμία αντίσταση, επιτρέποντας την αποθήκευση ενέργειας σε ένα σύστημα αποθήκευσης υπεραγώγιμης μαγνητικής ενέργειας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Τα κοινά υπεραγώγιμα υλικά περιλαμβάνουν τον υδράργυρο, το βανάδιο και το νιόβιο-τιτάνιο. Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα σύστημα SMES εκφορτίζεται συνδέοντας έναν μετατροπέα ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος στο αγώγιμο πηνίο [18] (Σχήμα 2.6). Τα συστήματα αυτά είναι μια εξαιρετικά αποδοτική τεχνολογία αποθήκευσης, καθώς χαρακτηρίζονται από απόδοση έως και 98%, εξαιτίας της σχεδόν μηδενικής

αντίστασης, και συνεπώς αμελητέες απώλειες ενέργειας και ταχεία απόκριση σε σύγκριση με άλλα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας [19]. Επιπλέον, αυτά τα στοιχεία είναι ικανά να εκφορτίσουν σχεδόν το σύνολο της αποθηκευμένης ενέργειάς τους [15]. Τα κύρια μειονεκτήματα των υπεραγωγίων πηνίων χαμηλής θερμοκρασίας (LTS) είναι τα υψηλό κόστος υπεραγωγίου σύρματος και η αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις ψύξης. Ως εκ τούτου, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας μικρής διάρκειας για βελτίωση της ποιότητας ισχύος [20]. Επιπλέον, είναι ευαίσθητα σε καθημερινή αυτοεκφόρτιση (10-15%) και έχουν αρνητική περιβαλλοντική επίπτωση λόγω του ισχυρού ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που αναπτύσσουν [21].



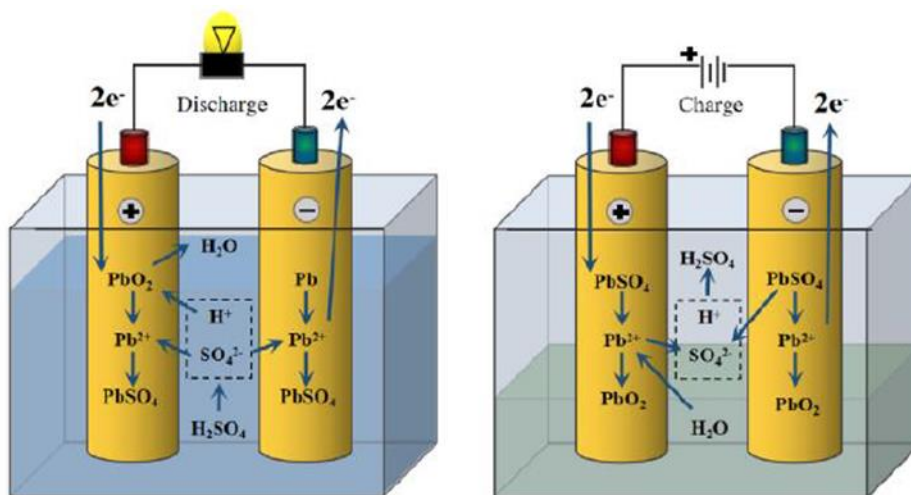
Σχήμα 2.6: Διάγραμμα συστήματος υπεραγωγίμης αποθήκευσης ενέργειας [22]

## 2.3 Ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας

### 2.3.1 Μπαταρίες μολύβδου οξέος (Lead acid batteries)

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι η πιο οικονομική επιλογή τεχνολογιών επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Η κάθοδος τους είναι  $PbO_2$ , η άνοδος είναι πορώδης  $Pb$  και ο ηλεκτρολύτης είναι διάλυμα θεικού οξέος. Η τυπική δομή των μπαταριών μολύβδου-οξέος απεικονίζεται στο Σχήμα 2.7.

Λόγω του χαμηλού ρυθμού αυτοεκφόρτισης, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος χρησιμοποιούνται ευρέως σε πρακτικούς τομείς όπως εφαρμογές υψηλής ισχύος, αποθήκευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ηλεκτρικά ή υβριδικά οχήματα, συστήματα συναγερμού και αδιάλειπτης παροχής ρεύματος για συστήματα επικοινωνίας. Η τάση της μπαταρίας κυμαίνεται από 2 V και η διάρκεια ζωής είναι 3-12 χρόνια [23]. Τα πλεονεκτήματα των μπαταριών μολύβδου-οξέος περιλαμβάνουν γρήγορη απόκριση ( $<5$  ms), χαμηλό ημερήσιο ρυθμό αυτοεκφόρτισης ( $<0,3$  %/ημέρα), υψηλή απόδοση κύκλου (80%), υψηλή αξιοπιστία και χαμηλό κόστος επένδυσης (50–500\$/ kWh). Ο σύντομος χρόνος κύκλου, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η περιορισμένη ενεργειακή πυκνότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι τα κύρια μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας.



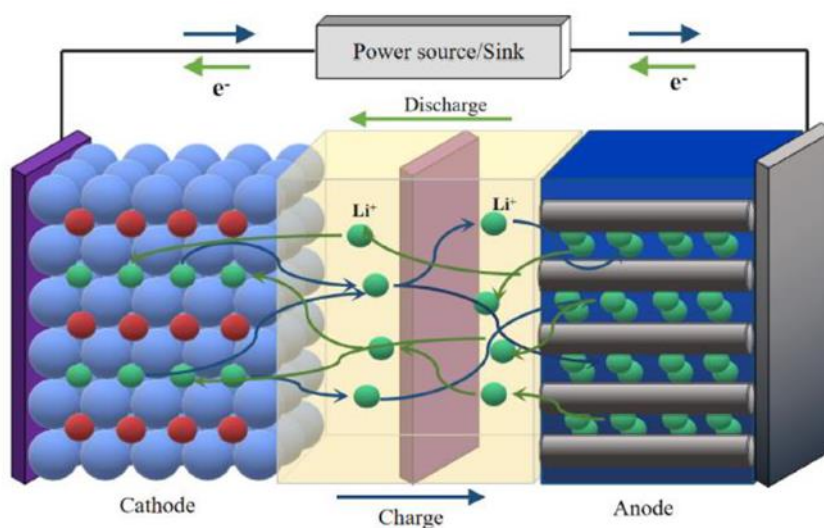
Σχήμα 2.7: Τυπική δομή μπαταριών μολύβδου οξέος [5]

### 2.3.2 Μπαταρίες ιόντων λιθίου

Η πιο διαδεδομένη τεχνολογία επαναφορτιζόμενων μπαταριών είναι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion). Για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, το υλικό της καθόδου έχει δομή οξειδίου μετάλλου λιθίου ( $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$ ,  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{LiNiCoAlO}_2$ ) και τα υλικά ανόδου περιλαμβάνουν πρόσθετα υλικά (άνθρακα,  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{TiO}_2$ ), υλικά μετατροπής (οξείδιο του σιδήρου, οξείδιο του κοβαλτίου) και κράματα (πυρίτιο, κασσίτερο). Ο ηλεκτρολύτης είναι ένας υδρόφοβος οργανικός διαλύτης που περιέχει ιόντα λιθίου ( $\text{LiClO}_4$ ). Το διάγραμμα των μπαταριών Li-ion φαίνεται στο Σχήμα 2.8.

Η απόκριση των μπαταριών ιόντων λιθίου αναμένεται να γίνει γρήγορη και ο κύκλος λειτουργίας μπορεί να φτάσει έως και το 97%. Το υψηλό κόστος επένδυσης και οι απαραίτητες συσκευές προστασίας περιορίζουν τη χρήση τους σε εφαρμογές υψηλής ισχύος. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι η υψηλή τάση (περίπου 3.7 V), η ενεργειακή πυκνότητα (80-200 Wh/kg) και η πυκνότητα ισχύος (500-2000 W/kg), οι κύκλοι ζωής (103-104), οι χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης, το μικρό τους μέγεθος και βάρος και η καλή συμβατότητα με το περιβάλλον.

Υπάρχουν επίσης προβλήματα όπως η επίδραση του βάθους απόρριψης και της διάρκειας ζωής από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Επίσης, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου δεν είναι κατάλληλες για εφαρμογές που απαιτούν πλήρη αποφόρτιση, καθώς μια τέτοια διαχείριση μειώνει δραματικά τους κύκλους τους. Για το λόγο αυτό είναι εξοπλισμένα με ένα κύκλωμα διαχείρισης μπαταρίας (BMS), το οποίο εμποδίζει την αποφόρτιση της μπαταρίας σε χαμηλά επίπεδα. Ένα τελευταίο ζήτημα είναι ο κίνδυνος απελευθέρωσης οξυγόνου σε υψηλές θερμοκρασίες μέσω ανεπιθύμητων αντιδράσεων από τα ηλεκτρόδια μεταλλικού οξειδίου. Μέσω μιας μονάδας ελέγχου θερμοκρασίας η λειτουργία της μπαταρίας περιορίζεται σε κανονικές θερμοκρασίες [24].



Σχήμα 2.8: Σχηματικό διάγραμμα μπαταρίας ιόντων λιθίου [24]

### 2.3.3 Μπαταρίες νατρίου-θείου (Sodium sulfur batteries)

Λόγω του χαμηλού κόστους του νατρίου και της διαθεσιμότητας υλικών, οι μπαταρίες νατρίου θείου (NaS) εμφανίζονται ως εναλλακτική λύση των μπαταριών ιόντων λιθίου. Το Σχήμα 2.9 (αριστερά) δείχνει τη λειτουργία των μπαταριών NaS. Η άνοδος των

μπαταριών είναι τηγμένο νάτριο, η κάθοδος είναι τηγμένο θείο και ο ηλεκτρολύτης είναι ένα στερεό που ονομάζεται β-αλουμίνα ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Αποτελεί τη μόνη τεχνολογία που χρησιμοποιεί στερεό ηλεκτρολύτη. Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται ευρέως για ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και σε εφαρμογές αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας.

Έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (150-240 Wh/kg) και ισχύ (150-230 W/kg), γρήγορη απόκριση (<5ms), χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης (0,1 %/ημέρα), υψηλή χωρητικότητα (244,8 MWh), απόδοση (80 -90%) και μεγάλη διάρκεια ζωής (περίπου 15 χρόνια). Τα κύρια μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι η διάβρωση, η υψηλή εσωτερική αντίσταση και το υψηλό κόστος λειτουργίας (\$80 kW/έτος). Για το λόγο αυτό, απαιτείται συσκευή ελέγχου θερμοκρασίας και προστασίες σε περίπτωση επαφής λιωμένων ηλεκτροδίων<sup>5</sup>.

### 2.3.4 Μπαταρίες νικελίου (Nickel batteries)

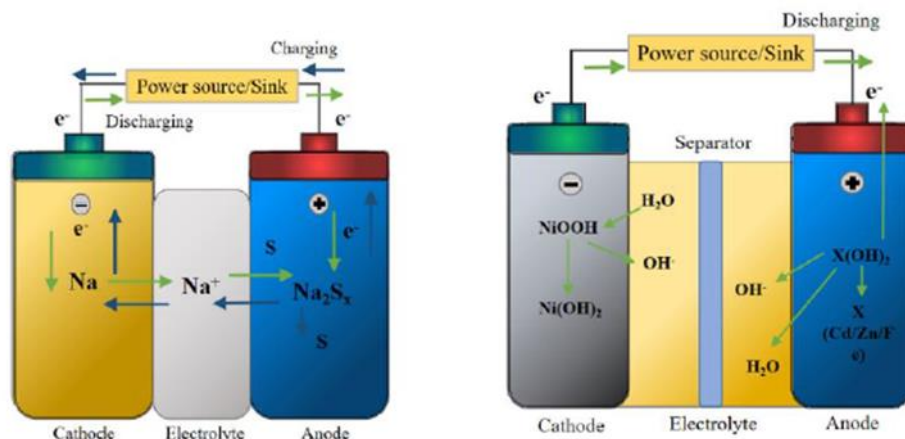
Η κάθοδος των μπαταριών με βάση το νικέλιο είναι το υδροξείδιο του νικελίου και ο ηλεκτρολύτης είναι ένα αλκαλικό υδατικό διάλυμα. Όσον αφορά τα υλικά ανόδου, υπάρχουν διάφοροι τύποι: νικέλιο-κάδμιο (Ni-Cd), νικέλιο-σίδηρος (Ni-Fe), νικέλιο-ψευδάργυρος (Ni-Zn), υδρίδιο μετάλλου νικελίου (Ni-MH) και Ni -H<sub>2</sub>. Η διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 2.9 (δεξιά).

Η μπαταρία νικελίου-καδμίου είναι η μόνη που μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος (20-40°C) και η τάση λειτουργίας τους είναι 1-1.3V. Έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (50-75 Wh/kg), πολλούς κύκλους ζωής (> 2000), υψηλή αξιοπιστία και χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης. Ωστόσο, το κόστος τους είναι υψηλό (800–1500 \$/kWh), το νικέλιο και το κάδμιο είναι τοξικά μέταλλα και η χωρητικότητά τους μπορεί να μειωθεί σημαντικά λόγω ακατάλληλων διαδικασιών εκφόρτισης. Οι μπαταρίες Ni-MH αναπτύχθηκαν για να ξεπεραστούν τα διάφορα ελαττώματα των μπαταριών νικελίου-καδμίου. Για τα ίδια μεγέθη, οι μπαταρίες Ni-MH έχουν 30-40% μεγαλύτερη ονομαστική χωρητικότητα και ισχύ.

Όσον αφορά την απόδοση, οι μπαταρίες νικελίου-σιδήρου και νικελίου-ψευδαργύρου έχουν το υψηλότερο σε 75-80%. Ωστόσο, έχουν χαμηλή ισχύ, υψηλό κόστος, μικρή διάρκεια ζωής και σημαντικές απαιτήσεις συντήρησης. Οι μπαταρίες Ni-H<sub>2</sub> προσφέρουν περισσότερη ισχύ και διάρκεια ζωής με λιγότερη υπερφόρτιση. Ωστόσο,



η χρήση τους είναι περιορισμένη λόγω της υψηλής τιμής, της σημαντικής αυτοεκφόρτισης και της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας<sup>5</sup>.



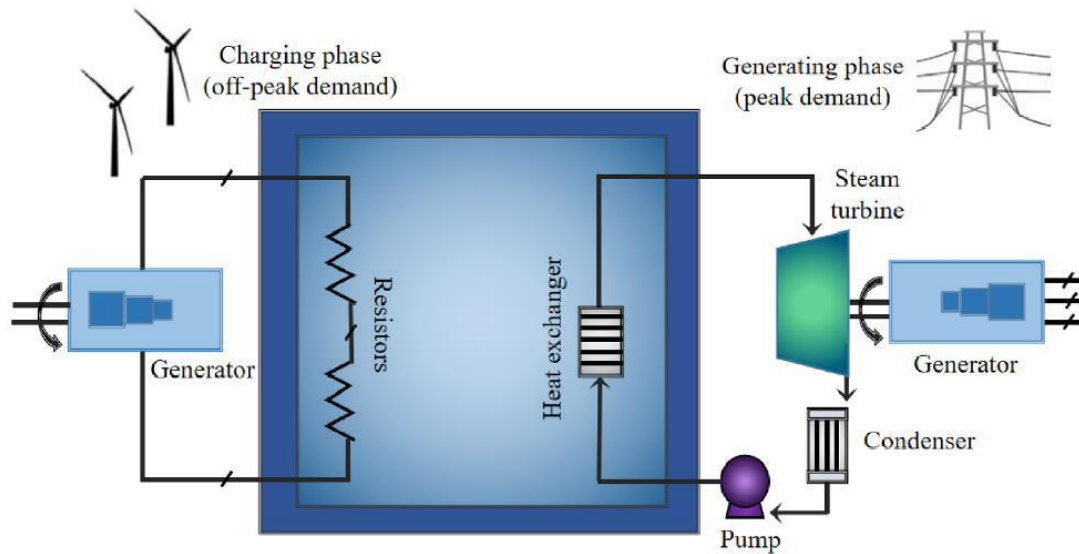
Σχήμα 2.9: Τυπική δομή νατρίου θείου (αριστερά) και νικελίου (δεξιά) [5]

## 2.4 Θερμικές Μέθοδοι Αποθήκευσης Ενέργειας

### 2.4.1 Αποθήκευση Αισθητής Θερμότητας (Sensible Heat Storage)

Η μέθοδος της αποθήκευσης ενέργειας ως αισθητή θερμότητα, αποτελεί μία από τις πιο απλές μεθόδους αποθήκευσης θερμικής ενέργειας που βασίζεται στην θέρμανση ή ψύξη ενός υγρού ή στερεού μέσου αποθήκευσης, όπως είναι το νερό, η άμμος, τηγμένα άλατα ή πετρώματα. Το πιο διαδεδομένο μέσο αποθήκευσης είναι το νερό, εξαιτίας του χαμηλού κόστους και της υψηλής ειδικής θερμοχωρητικότητας που το χαρακτηρίζουν.

Τα συστήματα αποθήκευσης αισθητής θερμότητας αξιοποιούν τη θερμοχωρητικότητα και τη θερμοκρασιακή μεταβολή του μέσου αποθήκευσης. Μειονέκτημά τους αποτελεί η χαμηλή πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας.



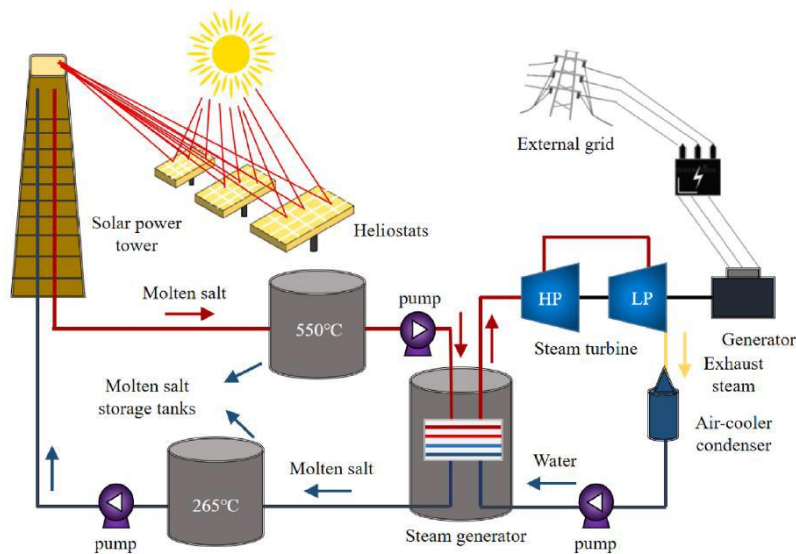
Σχήμα 2.10: Διάταξη αποθήκευσης αισθητής θερμότητας [5]

## 2.4.2 Αποθήκευση Λανθάνουσας Θερμότητας (Latent Heat Storage)

Τα υλικά αλλαγής φάσης (Phase Change Materials) αποτελούν υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. Καθώς η θερμοκρασία της πηγής αυξάνεται, οι χημικοί δεσμοί μέσα στα PCMs διασπώνται καθώς το υλικό αλλάζει φάση από στερεό σε υγρό (όπως είναι η περίπτωση των στερεών-υγρών PCMs). Η αλλαγή φάσης είναι μια διαδικασία αναζήτησης θερμότητας (ενδόθερμη) και επομένως, το υλικό αλλαγής φάσης απορροφά θερμότητα. Με την αποθήκευση θερμότητας στο υλικό αποθήκευσης, το υλικό αρχίζει να λιώνει όταν επιτευχθεί η θερμοκρασία αλλαγής φάσης. Η θερμοκρασία στη συνέχεια παραμένει σταθερή μέχρι την ολοκλήρωση της διαδικασίας τήξης του υλικού. Η θερμότητα που αποθηκεύεται κατά τη διαδικασία αλλαγής φάσης (διαδικασία τήξης) του υλικού ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα. Η αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας έχει δύο βασικά πλεονεκτήματα:

- είναι δυνατή η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας με μικρές μόνο αλλαγές θερμοκρασίας και επομένως υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης.
- επειδή η αλλαγή φάσης σε σταθερή θερμοκρασία χρειάζεται κάποιο χρόνο για να ολοκληρωθεί, είναι δυνατή η εξομάλυνση των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας.

Η σύγκριση μεταξύ αποθήκευσης λανθάνουσας και αισθητής θερμότητας δείχνει ότι χρησιμοποιώντας αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας, μπορούν να επιτευχθούν πυκνότητες αποθήκευσης συνήθως 5 έως 10 φορές υψηλότερες [25].

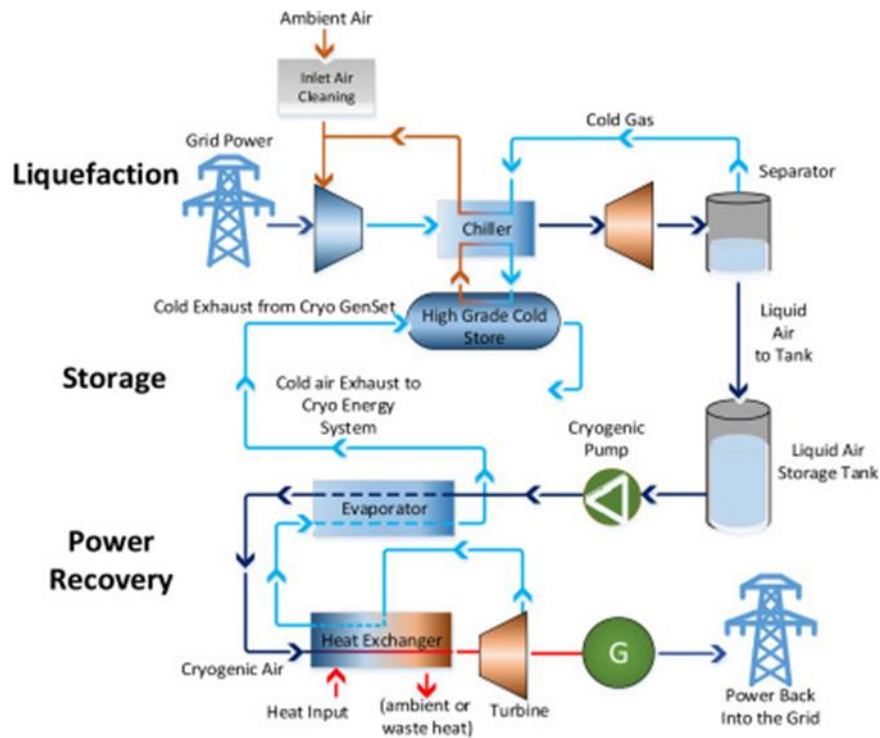


Σχήμα 2.11: Διάταξη συστήματος αποθήκευσης θερμότητας χωρίς αλλαγή φάσης [5]

### 2.4.3 Αποθήκευση Ενέργειας Υγροποιημένου Αέρα (Liquid Air Energy Storage)

Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας υγροποιημένου αέρα, κατά την περίοδο φόρτισης χρησιμοποιεί ως υγροποιητή αέρα ο οποίος καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια για να αντλεί αέρα από το περιβάλλον, να καθαρίζει τον αέρα, να τον ψύχει σε θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν μέχρι να υγροποιηθεί και να τον αποθηκεύσει σε μονωμένη δεξαμενή χαμηλής πίεσης, που λειτουργεί ως αποθήκη ενέργειας. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για αποθήκευση έχει ήδη αναπτυχθεί παγκοσμίως για μαζική αποθήκευση υγρού αζώτου, οξυγόνου και LNG και οι δεξαμενές έχουν κατασκευαστεί για να μπορούν να συγκρατούν αποθηκευμένη ενέργεια της τάξης των GWh, αφού 700 λίτρα περιβαλλοντικού αέρα μετατρέπονται περίπου σε 1 λίτρο υγροποιημένου αέρα. Όταν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια στο σύστημα, ο υγροποιημένος αέρας αντλείται από τη δεξαμενή και υπερθερμαίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, παράγοντας έτσι ένα αέριο υψηλής πίεσης που χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός στροβίλου [26]. Η αποθήκευση υγροποιημένου αέρα ανήκει στην κατηγορία της κρυογονικής αποθήκευσης ενέργειας. Αυτή η μορφή αποθήκευσης ενέργειας είναι μια φθηνή μορφή αποθήκευσης, καθώς οι μονάδες κατασκευάζονται με χρήση τυπικών βιομηχανικών εξαρτημάτων. Το κύριο μειονέκτημά τους είναι η χαμηλή απόδοση, η οποία είναι σε επίπεδα χαμηλότερα από 50%, σε σύγκριση με συσσωρευτές που έχουν απόδοση 75-

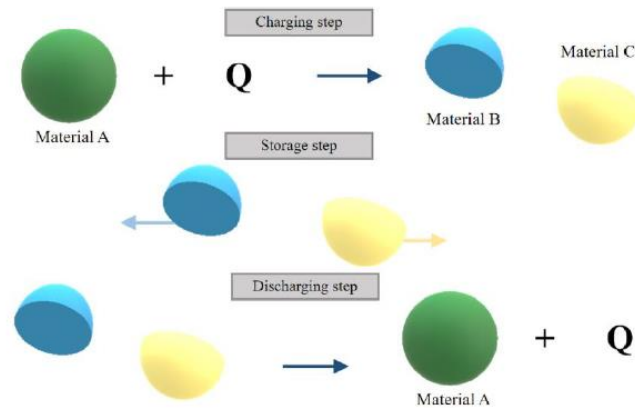
90%. Αυτή η μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας βρίσκει εφαρμογή στην υποστήριξη ενεργειακών δικτύων και στην καθημερινή αποθήκευση ενέργειας.



Σχήμα 2.12: Σχηματικό διάγραμμα μονάδας Αποθήκευσης Ενέργειας Υγροποιημένου Αέρα [26]

#### 2.4.4 Αποθήκευση Θερμοχημικής Ενέργειας (Thermal-Chemical Heat Storage)

Η αποθήκευση θερμοχημικής ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί ως ενεργειακά αποδοτική προσέγγιση η οποία προσφέρει μια μεγάλη ευκαιρία για τη διατήρηση των πρωτογενών πηγών ενέργειας καθώς και για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σε σύγκριση με την αποθήκευση αισθητής θερμότητας και λανθάνουσας θερμότητας, η αποθήκευση θερμοχημικής ενέργειας μπορεί να αποδώσει την υψηλότερη πυκνότητα αποθήκευσης θερμότητας χωρίς να έχει θερμικές απώλειες κατά την περίοδο αποθήκευσης. Σε περιόδους όπου η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή, το υλικό A, διασπάται στα υλικά B και C, αποθηκεύοντας με αυτόν τρόπο ενέργεια σε χημικούς δεσμούς (φόρτιση) (Σχήμα 2.13). Σε περιόδους υψηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, τα υλικά B και C υπό κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης επανασυντίθενται απελευθερώνοντας την ενέργεια που είχε αποθηκευτεί στους χημικούς δεσμούς κατά την φόρτιση[27].

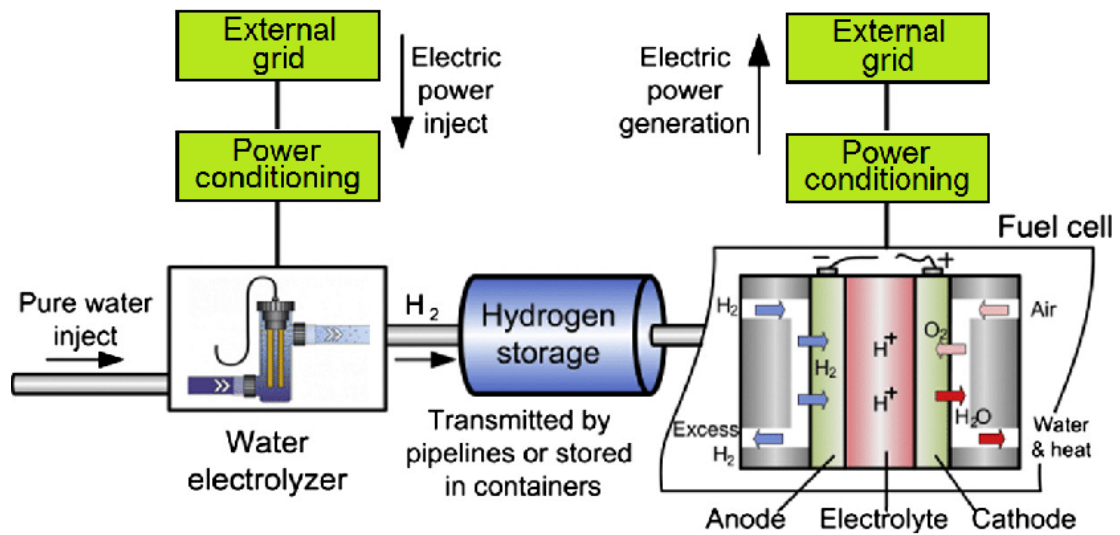


Σχήμα 2-13: Αντίδραση που γίνεται κατά την διαδικασία θερμοχημικής αποθήκευσης ενέργειας [5]

## 2.5 Χημικές Μέθοδοι

### 2.5.1 Κυψέλες καυσίμου Υδρογόνου (Hydrogen – Fuel Cells)

Οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν απευθείας την χημική ενέργεια του υδρογόνου σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της αντίδρασής του με το οξυγόνο, με προϊόντα το νερό και τη θερμότητα. Η τεχνολογία αυτή παρέχει τη δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ως αέριο, δεδομένου ότι το υδρογόνο αποθηκεύεται για μεγάλο χρονικό διάστημα (μήνες), μπορεί να διοχετευθεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου ή ακόμα και να μετατραπεί σε φυσικό αέριο. Μια κυψέλη καυσίμου αποτελείται από μια άνοδο, μια κάθοδο και μια ηλεκτρολυτική μεμβράνη (Σχήμα 2.14). Μια τυπική κυψέλη καυσίμου λειτουργεί περνώντας υδρογόνο μέσω της ανόδου μιας κυψέλης καυσίμου και οξυγόνο μέσω της καθόδου. Στη θέση της ανόδου, ένας καταλύτης διασπά τα μόρια του υδρογόνου σε ηλεκτρόνια και πρωτόνια. Τα πρωτόνια διέρχονται από την πορώδη μεμβράνη του ηλεκτρολύτη, ενώ τα ηλεκτρόνια ωθούνται μέσω ενός κυκλώματος, δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Στην κάθοδο, τα πρωτόνια, τα ηλεκτρόνια και το οξυγόνο συνδυάζονται για να παράξουν μόρια νερού. Καθώς δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη, οι κυψέλες καυσίμου λειτουργούν αθόρυβα και με εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία [28].



Σχήμα 2.14: Τοπολογία συστήματος αποθήκευσης υδρογόνου [29]

## **Κεφάλαιο 3: Βιβλιογραφική Επισκόπηση Πολυκριτήριας Ανάλυσης**

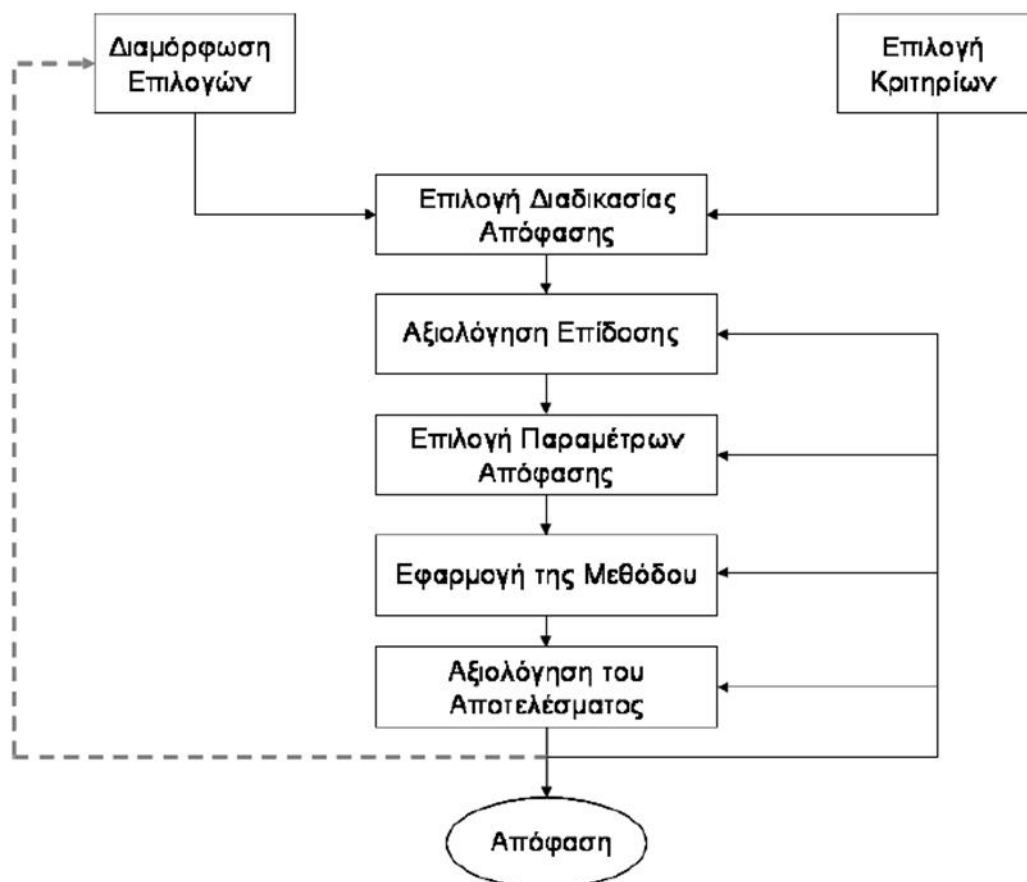
### **3.1 Φιλοσοφία Υποστήριξης Αποφάσεων Πολλαπλών Κριτηρίων**

Οι μεθοδολογίες που βασίζονται στα Πολυκριτηριακά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΠΣΥΑ) ενσωματώνουν διάφορα κριτήρια στη διαδικασία υποστήριξης αποφάσεων για ενεργειακή πολιτική, παρέχοντας έτσι μια εναλλακτική προσέγγιση σε σχέση με τις συμβατικές οικονομικές μεθόδους ανάλυσης. Οι πολυκριτήριες μέθοδοι ΠΣΥΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση και επιλογή εναλλακτικών λύσεων, προσδιορίζοντας ένα σύνολο βέλτιστων λύσεων, όπου καμία άλλη εφικτή επιλογή δεν μπορεί να είναι εξίσου καλή σε σχέση με τους ορισθέντες στόχους. Κατά τη διαδικασία αξιολόγησης, μπορούν να λαμβάνονται υπόψη κοινωνικοί, περιβαλλοντικοί και οικονομικοί παράγοντες. Συνεπώς, οι μέθοδοι ΠΣΥΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των ανταλλαγών, των οφελών και των συμβιβασμών σε πολύπλοκα προβλήματα πολιτικής και σχεδιασμού.

Οι μεθοδολογίες Πολυκριτηριακών Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (ΠΣΥΑ) παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, από απλές προσεγγίσεις που απαιτούν ελάχιστες πληροφορίες, έως πιο σύνθετες μεθόδους που βασίζονται σε μαθηματικές τεχνικές προγραμματισμού και απαιτούν λεπτομερή πληροφόρηση για κάθε ιδιότητα αλλά και τις προτιμήσεις των υπευθύνων λήψης αποφάσεων. Παρ' όλα αυτά, τα προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά, τα οποία περιλαμβάνουν:

- Έναν πεπερασμένο αριθμό εναλλακτικών λύσεων, οι οποίες μπορούν να εξεταστούν, να αξιολογηθούν, να επιλεγούν ή/και να ταξινομηθούν.
- Έναν αριθμό ιδιοτήτων οι οποίες εξαρτώνται από τη φύση του προβλήματος.
- Σύνολα μετρήσεων για την αξιολόγηση κάθε ιδιότητας.
- Τη δυνατότητα να αντιστοιχιστεί σε κάθε ιδιότητα ένας βαθμός σημαντικότητας μέσω μιας κλίμακας.
- Έναν πίνακα μεταβλητών, όπου οι στήλες αναπαριστούν τις ιδιότητες στο συγκεκριμένο πρόβλημα και οι γραμμές αναπαριστούν τις ανταγωνιστικές εναλλακτικές λύσεις.

Συνολικά, ο αποφασίζων πρέπει να επιλέξει μεταξύ ποσοτικών και μη-ποσοτικών, δηλαδή ποιοτικών, κριτηρίων που είναι προσδιορίσιμα. Συχνά, οι στόχοι είναι αντιφατικοί, και ως εκ τούτου η λύση εξαρτάται σημαντικά από τις προτιμήσεις του αποφασίζοντος και πρέπει να αποτελέσει έναν συμβιβασμό. Συνήθως, στη διαδικασία συμμετέχουν διάφορες ομάδες λήψης αποφάσεων, κάθε μια με διαφορετικά κριτήρια και απόψεις, τα οποία πρέπει να επιλυθούν μέσα σε ένα πλαίσιο κατανόησης και αμοιβαίου συμβιβασμού. Η διαδικασία πολυκριτηριακής υποστήριξης αποφάσεων απεικονίζεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Διαδικασία Υποστήριξης Αποφάσεων Πολλαπλών Κριτηρίων [30]

Η υποστήριξη αποφάσεων με μεθόδους ΠΣΥΑ, όπως και η γενικότερη υποστήριξη αποφάσεων, ακολουθεί μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία. Κατά την διάρκεια κάθε επανάληψης, το μοντέλο υποστήριξης αποφάσεων αξιολογείται και επανεξετάζεται ως προς την καταλληλότητα και την πληρότητά του. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου να μην είναι απαραίτητη καμία άλλη βελτίωση στο μοντέλο προτού μπορέσει να ληφθεί μια σαφής πορεία δράσης.



Κατά τη διάρκεια των επαναλήψεων, είναι σημαντικό να αναλύονται τα αποτελέσματα των προηγούμενων επαναλήψεων και να εκτιμάται η αποτελεσματικότητα του μοντέλου στην υποστήριξη των αποφάσεων. Αν κριθεί αναγκαίο, μπορούν να γίνουν προσαρμογές και βελτιώσεις στο μοντέλο προκειμένου να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα.

Η διαδικασία αυτή επιτρέπει τη συνεχή αναθεώρηση και βελτίωση του μοντέλου υποστήριξης αποφάσεων, με στόχο την ανάπτυξη μιας πιο αξιόπιστης και αποτελεσματικής διαδικασίας λήψης αποφάσεων.

### 3.2 Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων

Κατά τον προσδιορισμό και οργάνωση των ΠΣΥΑ, η διαδικασία εντοπισμού των παραγόντων που επηρεάζουν την υποστήριξη αποφάσεων αποτελεί τον προσδιορισμό κριτηρίων βάσει των οποίων θα γίνει αξιολόγηση των εναλλακτικών. Όταν επιλέγονται κριτήρια, είναι σημαντικό να είναι ξεκάθαρα και εύκολα κατανοητά, δίνοντας σαφές και ξεκάθαρο νόημα.

Ορίζεται το σύνολο  $A$  ως το σύνολο των εναλλακτικών. Ο ορισμός ενός κριτηρίου ως μια απεικόνιση  $g$  από το σύνολο εναλλακτικών  $A$  σε ένα σύνολο  $B$  το οποίο είναι διατεταγμένο, με ορισμένες δηλαδή δυο σχέσεις, την προτίμηση ( $>$ ) και την ισοδυναμία ( $=$ ) στο  $B$ . Η ( $>$ ) είναι αντισυμμετρική και μεταβατική (αν  $a > b$  και  $b > a \Rightarrow a = b$ ,  $\forall a, b \in B$  και αν  $a > b$  και  $b > c \Rightarrow a > c$ ,  $\forall a, b, c \in B$ ). Η ( $=$ ) είναι συμμετρική ( $a = b \Rightarrow b = a$ ,  $\forall a, b \in B$ ) και μεταβατική. Επιπρόσθετα, η διάταξη χαρακτηρίζεται ως πλήρης, δηλαδή αν  $a, b \in B$  θα είναι είτε  $a > b$ , είτε  $b > a$ , είτε  $a = b$ . Συνεπώς, ένα κριτήριο είναι η απεικόνιση

$$g: A \xrightarrow{g(a)} B, \text{ όπου } a \in A.$$

Η  $g(a)$  χαρακτηρίζεται ως η επίδοση της εναλλακτικής  $a$  στο κριτήριο  $g$ . Το σύνολο  $B$  χαρακτηρίζεται ως η κλίμακα μέτρησης του κριτηρίου  $g$ . Κατά την διαδικασία της ανάλυσης, γίνεται υπόθεση ότι ο ορισμός των κριτηρίων πραγματοποιείται έτσι ώστε οι μεγαλύτερες επιδόσεις σε αυτά να είναι και οι προτιμότερες.

Σύμφωνα με τις σχέσεις ( $>$ ) και η ( $=$ ) θα πρέπει για δυο εναλλακτικές  $a$  και  $b$  και για το κριτήριο  $g$  να ισχύει:

- αν  $g(a) > g(b) \Leftrightarrow a > b$ , η  $a$  προτιμάται της  $b$  στο κριτήριο  $g$  και
- αν  $g(a) = g(b) \Leftrightarrow a \sim b$ , η  $a$  είναι αδιάφορη της  $b$  στο κριτήριο  $g$ .

Για να αποτελεί το σύνολο των κριτηρίων  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$  μια συνεπή οικογένεια κριτηρίων οφείλει να χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες ιδιότητες

- *Μονοτονία:* Η ιδιότητα της μονοτονίας υπακούεται από το σύνολο των κριτηρίων εάν και μόνο εάν:  
για κάθε ζεύγος εναλλακτικών δραστηριοτήτων  $x$  και  $x'$  για τις οποίες υπάρχει κριτήριο  $g_j$ , έτσι ώστε  $g_j(x) > g_j(x')$  για κάθε  $g_i \neq g_j$  και  $g_i(x) = g_i(x')$ , τότε αληθεύει το συμπέρασμα ότι η  $x$  προτιμάται της  $x'$ .
- *Επάρκεια:* Ένα σύνολο κριτηρίων θεωρείται επαρκές αν και μόνον αν για κάθε ζεύγος εναλλακτικών  $x$  και  $x'$  ισχύει  $g_i(x) = g_i(x')$  για κάθε κριτήριο  $g_i, i = 1, 2, \dots, n$ , τότε η  $x$  θεωρείται ισοδύναμη της  $x'$ . Αν για κάθε κριτήριο  $g_i$  ισχύει  $g_i(x) = g_i(x')$  αλλά η  $x$  δεν θεωρείται ισοδύναμη της  $x'$ , τότε αυτό δηλώνει ότι το σύνολο των κριτηρίων που εξετάζονται δεν είναι επαρκές για την ορθή ανάλυση των εναλλακτικών του συνόλου  $A$  και κάποιο ή κάποια επιπλέον κριτήρια είναι απαραίτητα.
- *Μη πλεονασμός:* Ο πλεονασμός συμβαίνει ότα υπάρχουν περισσότερα από ένα κριτήρια, που μετρούν τον ίδιο παράγοντα ή εκφράζουν την ίδια έννοια. Εάν η αφαίρεση οποιουδήποτε κριτηρίου από το σύνολο των εξεταζόμενων κριτηρίων ανατρέπει κάποια εκ των παραπάνω δύο βασικών ιδιοτήτων, τότε το σύνολο των κριτηρίων θεωρείται ότι ως μη πλεονασματικό.

### 3.3 Τεχνικές Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Οι τεχνικές Πολυκριτήριας Ανάλυσης σε διακριτά προβλήματα απόφασης χωρίζονται συνήθως σε τρεις κατηγορίες:

- *Θεωρία Αξίας (Multi Attribute Utility Theory - MAUT):* Αποτελεί την «Αμερικάνικη Σχολή» στην πολυκριτήρια ανάλυση και αναζητά την κατασκευή ενός συστήματος αξίας που προκύπτει από τη σύνθεση των προτιμήσεων και αξιών των αποφασίζοντων ως προς τα κριτήρια αξιολόγησης.

Αυτή η προσέγγιση επιδιώκει να αντιστοιχίσει αριθμητικές τιμές (π.χ. χρησιμότητα, βαθμολογίες) στα διάφορα ενδεχόμενα και κριτήρια, ώστε να μπορέσει να γίνει σύγκριση και επιλογή με βάση αυτές τις τιμές. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται και ως «θεωρία χρησιμότητας».

- Θεωρία Σχέσεων Υπεροχής (Outranking Relations Theory): Αυτή η κατηγορία αποτελεί την «Γαλλική ή Ευρωπαϊκή Σχολή» στην ανάλυση με πολυκριτήριες μεθόδους και αντιμετωπίζει το πρόβλημα της μη συγκρισιμότητας μεταξύ των εναλλακτικών. Οι μέθοδοι που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία, όπως οι μέθοδοι ELECTRE και PROMETHEE που αποτελούν τις δημοφιλέστερες τεχνικές σχέσεων υπεροχής, επιδιώκουν να δημιουργήσουν μια σειρά σχέσεων υπεροχής μεταξύ των εναλλακτικών, βάσει των οποίων μπορεί να γίνει η κατάταξή τους. Επιπλέον, η μέθοδος TOPSIS (the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) αναπτύχθηκε σαν άλλη μία εναλλακτική μέθοδος σε αυτή την κατηγορία.
- Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση (preference disaggregation approach): Αυτή η προσέγγιση αποσκοπεί στον καθορισμό ενός γενικού πλαισίου μεθοδολογίας, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των αποφάσεων που λαμβάνονται από τον αποφασίζοντα. Σε αυτήν την προσέγγιση, γίνεται ο διαχωρισμός των προτιμήσεων και των κριτηρίων προτίμησης του αποφασίζοντος, ώστε να καθοριστεί το κατάλληλο υπόδειγμα σύνθεσης των κριτηρίων που αντικατοπτρίζει το σύστημα αξιών και τις προτιμήσεις του [31].

Αυτές οι κατηγορίες αποτελούν μια γενική ταξινόμηση των τεχνικών Πολυκριτήριας Ανάλυσης, και οι μέθοδοι που ανήκουν σε αυτές καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων λήψης αποφάσεων.

### **3.4 Πλεονεκτήματα χρήσης Πολυκριτήριας Ανάλυσης**

Η Πολυκριτήρια Ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο που συνεισφέρει στη λήψη αποφάσεων και στη σύγκριση διάφορων εναλλακτικών ή επιλογών με βάση πολλά κριτήρια. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την αξιολόγηση των επιλογών με δομημένο και

συστηματικό τρόπο, προσφέροντας με αυτόν τον τρόπο τη δυνατότητα για πιο ενημερωμένες και διαφανείς αποφάσεις.

*Ολοκληρωμένη αξιολόγηση:* Η πολυκριτήρια ανάλυση προσφέρει τη δυνατότητα για μια ολοκληρωμένη και σφαιρική αξιολόγηση των εναλλακτικών επιλογών, συμπεριλαμβάνοντας αρκετά διαφορετικά κριτήρια. Η προσέγγιση αυτή δίνει τη δυνατότητα στους αποφασίζοντες να αξιολογήσουν διάφορες διαστάσεις, όπως το οικονομικό κόστος, η εφικτότητα, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τα κοινωνικά ζητήματα και πολλές άλλες, σύμφωνα με το πλαίσιο και τις ανάγκες που επικρατούν. Αυτή η προσέγγιση επιφέρει μια πιο λεπτομερή κατανόηση των διαθέσιμων επιλογών και των διαφόρων επιπτώσεών τους, ενισχύοντας έτσι τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

*Αντικειμενική λήψη αποφάσεων:* Η πολυκριτήρια ανάλυση παρέχει μια δομημένη και οργανωμένη προσέγγιση για τη λήψη αποφάσεων, με στόχο τη μείωση της επίδρασης προσωπικών προκαταλήψεων ή υποκειμενικών κρίσεων. Μέσω του σαφούς καθορισμού και της διαφανούς αξιολόγησης των κριτηρίων, η πολυκριτήρια ανάλυση προωθεί την αντικειμενικότητα και βοηθά στην διασφάλιση μιας πιο αξιόπιστης και αντικειμενικής διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους λήπτες αποφάσεων να αντιμετωπίζουν τις διάφορες πτυχές ενός θέματος με σαφήνεια και συνέπεια, ενισχύοντας έτσι την ποιότητα της διαδικασίας αποφάσεων.

*Διαφάνεια και συμμετοχή των ενδιαφερομένων:* Η πολυκριτήρια ανάλυση προάγει τη διαφάνεια κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Οι ενδιαφερόμενοι έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν στον καθορισμό των κριτηρίων και των αξιών που τους αφορούν, επιτρέποντας έτσι μια πιο συμμετοχική και συνεργατική προσέγγιση στη λήψη αποφάσεων. Αυτή η ενεργή συμμετοχή συνδέεται με την αίσθηση συναίνεσης και αναγνώρισης ανάμεσα στους ενδιαφερόμενους, ενισχύοντας την αποδοχή και τη νομιμοποίηση της ληφθείσας απόφασης.

*Ευελιξία και προσαρμοστικότητα:* Η πολυκριτήρια ανάλυση παρέχει ευελιξία στην εξέταση ποικίλων κριτηρίων και στην αξιολόγηση της σχετικής τους σημασίας, επιτρέποντας στους αποφασίζοντες να προσαρμόσουν τη διαδικασία ανάλυσης σύμφωνα με τις ανάγκες τους. Επιπλέον, η πολυκριτήρια ανάλυση είναι ικανή να ενσωματώσει ποιοτικά αλλά και ποσοτικά κριτήρια, αναδεικνύοντας την έτσι

κατάλληλη για ευρεία ποικιλία εφαρμογών σε διάφορους τομείς. Αυτό επιτρέπει την αποτελεσματική προσαρμογή της μεθόδου σε διαφορετικές καταστάσεις και την αξιολόγηση της σημασίας διάφορων παραμέτρων, προσφέροντας έτσι ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στο χώρο της λήψης αποφάσεων.

*Ανάλυση των ανταλλαγών:* Η πολυκριτήρια ανάλυση επιτρέπει στους λήπτες αποφάσεων να αναλύουν ανοιχτά τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφορετικών κριτηρίων. Αυτή η προσέγγιση βοηθά στον εντοπισμό καταστάσεων όπου η βελτίωση ενός κριτηρίου μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις σε ένα άλλο. Με τη χρήση εργαλείων, η πολυκριτήρια ανάλυση συνδράμει στη λήψη αποφάσεων με βάση ενημερωμένες πληροφορίες και συμμετέχει στην εύρεση ισορροπημένων λύσεων που λαμβάνουν υπόψη τους ανταγωνιστικούς στόχους.

*Ανάλυση ευαισθησίας:* Η πολυκριτήρια ανάλυση επιτρέπει την εκτέλεση αναλύσεων ευαισθησίας, οι οποίες συνδράμουν στον απολογισμό της ανθεκτικότητας μιας απόφασης όταν υπάρχει αβεβαιότητα ή ποικιλία στα κριτήρια ή στην αξία τους. Μέσω της συστηματικής εξέτασης ποικίλων σεναρίων ή υποθέσεων, οι αποφασίζοντες είναι σε θέση να κατανοήσουν καλύτερα τις επιπτώσεις των αλλαγών και να λάβουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις οι οποίες αναγνωρίζουν και λαμβάνουν υπόψη τις αβεβαιότητες.

*Συνέπεια και επαναληψιμότητα:* Η πολυκριτήρια ανάλυση προσφέρει ένα συνεκτικό πλαίσιο για την αξιολόγηση των εναλλακτικών, εξασφαλίζοντας τη συνέπεια στην εφαρμογή των ίδιων κριτηρίων και αξιολογήσεων σε πλήθος επιλογών. Η συνέπεια αυτή διευκολύνει την πραγματοποίηση συγκρίσεων και την επαναληψιμότητα, επιτρέποντας την επανεκτίμηση αποφάσεων ή τη σύγκριση νέων εναλλακτικών στο μέλλον, χρησιμοποιώντας τα ίδια κριτήρια και την ίδια μεθοδολογία.

### **3.5 Αναφορές χρήσης Πολυκριτήριων Μεθόδων σε άλλες έρευνες**

Αρκετές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει την Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων (MCDA) στον τομέα της ενέργειας για να υποστηρίξουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων και να αξιολογήσουν διαφορετικά θέματα.

Για παράδειγμα, οι Νεοφύτου [32] κ.α. (2020) χρησιμοποίησαν την MCDA για την αξιολόγηση της ετοιμότητας ορισμένων ευρωπαϊκών χωρών για μια βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση λαμβάνοντας υπόψη κοινωνικά, πολιτικά/ρυθμιστικά, οικονομικά και τεχνολογικά κριτήρια.

Μια άλλη μελέτη από τους Zubiria [33] κ.α. (2022) εφάρμοσε MCDA για τη σύγκριση διαφορετικών τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας με βάση κριτήρια όπως η πυκνότητα ισχύος, τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης αλλά και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η μελέτη τόνισε τη σημασία του MCDA στον εντοπισμό των καταλληλότερων επιλογών αποθήκευσης ενέργειας για τη βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου και την προσαρμογή των διακοπόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Σε παρόμοιο πνεύμα, οι Barney [34] κ. α. (2022) χρησιμοποίησαν την MCDA για να αξιολογήσουν τη σκοπιμότητα και τις δυνατότητες διαφόρων σεναρίων ενεργειακής μετάβασης για τα νησιά Φερόε, λαμβάνοντας υπόψη κριτήρια όπως η ζήτηση ενέργειας, η οικονομική βιωσιμότητα, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά χρόνο. Τα ευρήματα τόνισαν την αξία του MCDA στην καθοδήγηση των υπευθύνων χάραξης πολιτικής και των ενδιαφερόμενων μερών προς τον βιώσιμο ενεργειακό σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων.

Αυτές οι εργασίες καταδεικνύουν τις ποικίλες εφαρμογές του MCDA στον ενεργειακό τομέα, που κυμαίνονται από την επιλογή έργων και την αξιολόγηση της τεχνολογίας έως τον σχεδιασμό της ενεργειακής μετάβασης. Υπογραμμίζουν την ικανότητα του MCDA να λαμβάνει υπόψη πολλαπλά κριτήρια και προοπτικές των ενδιαφερομένων, διευκολύνοντας τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων με ενημέρωση σε πολύπλοκα ενεργειακά συστήματα

## **Κεφάλαιο 4: Ορισμός Προβλήματος**

Σκοπός αυτής της μελέτης είναι να αξιολογήσει τον βαθμό στον οποίο ορισμένες Ευρωπαϊκές χώρες είναι έτοιμες να δεχθούν αποτελεσματικά μια επένδυση σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

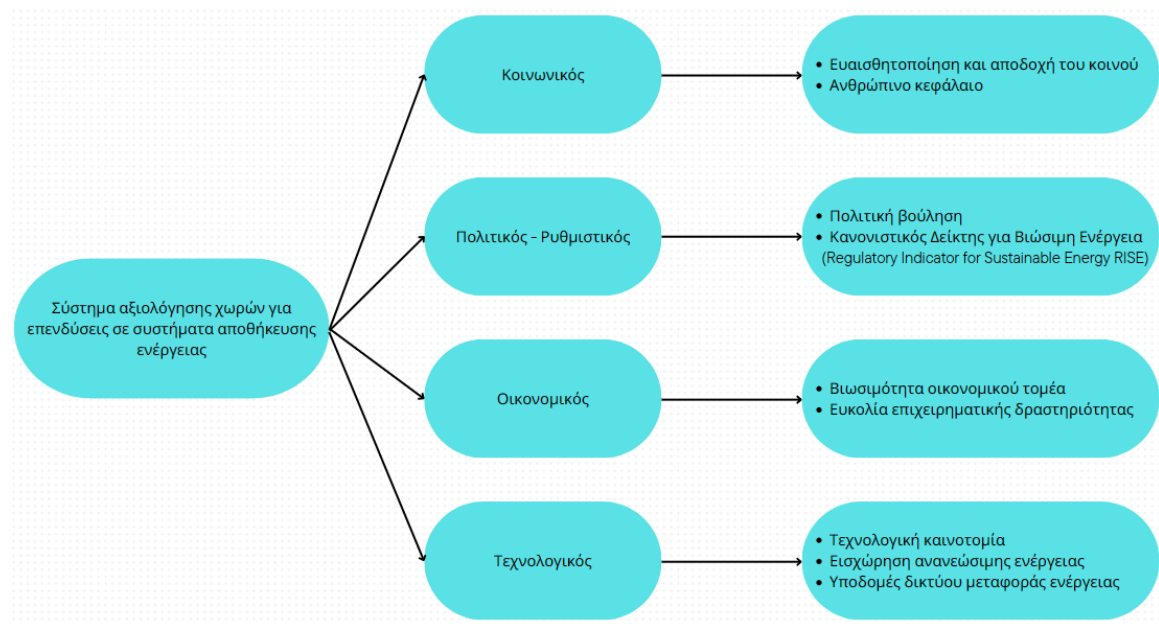
### **4.1 Οι χώρες-εναλλακτικές της μελέτης (The case study countries-alternatives)**

Δεκατρείς χώρες επιλέχθηκαν για να αξιολογηθεί η ικανότητά τους να δεχθούν επιτυχώς και βιώσιμα επενδύσεις σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Πρόκειται για τις ακόλουθες χώρες: Αυστρία, Βέλγιο, Γαλλία, Ελλάδα, Ιρλανδία, Ισπανία, Ιταλία, Λετονία, Κροατία, Λουξεμβούργο, Ολλανδία, Πορτογαλία και Σλοβενία. Η επιλογή βασίστηκε στη φύση του προβλήματος, που υπαγορεύει να λαμβάνονται υπόψη διαφορετικές διαστάσεις και έτσι καλλιεργεί την ανάγκη να αξιολογηθεί μια δεξαμενή χωρών διαφορετικών οικονομικών, πολιτικών, κοινωνικών και τεχνολογικών προφίλ.

### **4.2 Κριτήρια αξιολόγησης**

Το πολυκριτηριακό σύστημα που προτείνεται για την αξιολόγηση της ετοιμότητας των χωρών για επενδύσεις σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, βασίζεται σε τέσσερις πυλώνες αξιολόγησης: κοινωνικός, πολιτικός-ρυθμιστικός, οικονομικός και τεχνολογικός.

Ειδικότερα, με βάση την ανάγκη να συγκροτηθεί μια συνεπής, λειτουργική και ευανάγνωστη οικογένεια κριτηρίων αξιολόγησης [35], επιλέχθηκαν εννέα κριτήρια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Η διαδικασία καθορισμού των κριτηρίων αξιολόγησης περιλάμβανε πολλαπλές οπτικές, αλλά κυρίως είναι προσανατολισμένη στις διαστάσεις που επισημαίνονται στη βιβλιογραφία.



Σχήμα 4.1: Σύστημα αξιολόγησης χωρών για επενδύσεις σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

#### 4.2.1 Ευαισθητοποίηση και αποδοχή του κοινού [0-5]

Αυτό το κριτήριο οφέλους είναι ένας ποιοτικός δείκτης που προκύπτει από εκτιμήσεις που βασίζονται σε πληροφορίες που ανακτώνται από το Ευρωπαϊκό Βαρόμετρο [36]. Αξιολογεί τη γενική στάση των πολιτών μιας χώρας σχετικά με την κλιματική αλλαγή. Μεταξύ άλλων, αυτό λαμβάνει υπόψη την ευαισθητοποίηση των πολιτών, σε ποιο βαθμό ενεργούν μεμονωμένα, έτσι ώστε να μετριάσουν την συνέπειες και σε ποιο βαθμό είναι δεκτικοί στα μέτρα πολιτικής των κυβερνήσεών τους. Οι τιμές του βαρόμετρου προέκυψαν από έρευνες και δημοσκοπήσεις που περιγράφουν την αντικειμενική άποψη των ανθρώπων για την κλιματική αλλαγή.

#### 4.2.2 Ανθρώπινο κεφάλαιο [0-100]

Το ανθρώπινο κεφάλαιο καταδεικνύει τη μέση απόδοση κάθε χώρας σε δύο πυλώνες ανταγωνιστικότητας: στις ικανότητες και στην αποτελεσματικότητα της αγοράς εργασίας. Πρόκειται για κριτήριο οφέλους και τα δεδομένα ελήφθησαν από την Παγκόσμια Έκθεση Ανταγωνιστικότητας 2018–2019 [37], η οποία παρουσιάζει μια εκτεταμένη ποικιλία βαθμολογιών ανά πυλώνα για κάθε χώρα. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι, σε αυτήν την έκθεση, η ανταγωνιστικότητα ορίζεται ως το σύνολο των θεσμών, των πολιτικών και των παραγόντων που καθορίζουν το επίπεδο



παραγωγικότητας μιας οικονομίας, η οποία με τη σειρά της καθορίζει το επίπεδο ευημερίας που μπορεί να επιτύχει η χώρα.

### **4.2.3 Πολιτική βούληση (θέληση) [0-4]**

Αυτό το κριτήριο οφέλους, αντλούμενο από τη βιβλιογραφία, είναι ένας ποιοτικός δείκτης που αξιολογεί τις στάσεις και τις πράξεις των πολιτικών κατά της αλλαγής του κλίματος και κατ'έπекταση την ενθάρρυνση έργων ΑΠΕ και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας με βάση την περιβαλλοντική συνείδηση που επέδειξε η πολιτική ηγεσία στο παρελθόν, την πολιτική στρατηγική που ακολουθήθηκε σήμερα, καθώς και την εσωτερική πολιτική συμμόνια. Το κριτήριο βαθμολογείται από το 0, που εκφράζει απουσία πολιτικής βούλησης, και το 4 που δηλώνει υψηλή πολιτική βούληση.

#### **4.2.3.1. Αυστρία – 0**

Παρά το γεγονός ότι η Αυστρία έχει υπογράψει διεθνείς συνθήκες και έχει δεσμευτεί για κοινοτικούς στόχους, αναφέρεται ότι παρουσίασε τη χειρότερη επίδοση ως κράτος μέλος όσον αφορά τους στόχους της ΕΕ το 2009 [38]. Για αρκετό διάστημα, η οικονομική πολιτική είχε επικεντρωθεί στην ανάπτυξη, την αντιμετώπιση της ανεργίας και της γραφειοκρατίας αλλά όχι σε περιβαλλοντικά ζητήματα. Ωστόσο από το 2010, η ενεργειακή αποδοτικότητα και οι ΑΠΕ έχουν αποτελέσει τους πυλώνες της ενεργειακής πολιτικής της Αυστρίας [39], αλλά τα περισσότερα πολιτικά κόμματα εξακολουθούν να απέχουν από τη συζήτηση και την προώθηση ζητημάτων κλιματικής αλλαγής, υπό τον φόβο της αποβιομηχάνισης [40].

Ένα άλλο εμπόδιο είναι η ρύθμιση της βιομηχανίας από τις ενεργειακές και τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, ενώ οι μεταφορές και τα κτίρια από τις τοπικές αρχές, οδηγώντας σε συγκρούσεις συμφερόντων.

#### **4.2.3.2. Βέλγιο – 2**

Το Βέλγιο έχει επιδείξει ισχυρή πολιτική βούληση για την προώθηση των επενδύσεων στην ενεργειακή αποθήκευση και τη διευκόλυνση της μετάβασης σε πιο πράσινες λύσεις. Η χώρα έχει ενεργά επιδιώξει πολιτικές και πρωτοβουλίες για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την

αύξηση της ανανεώσιμης ενέργειας και τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

Οι προσπάθειες για μετάβαση στην πράσινη ενέργεια στο Βέλγιο καθοδηγούνται από το Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος (NECP) [41] και το Ομοσπονδιακό Μακροπρόθεσμο Στρατηγικό Όραμα για το 2050. Αυτά τα σχέδια καθορίζουν τους στόχους και τις στρατηγικές της χώρας για ένα βιώσιμο και χαμηλού άνθρακα ενεργειακό σύστημα.

Επιπλέον, το Βέλγιο έχει ενεργή συμμετοχή σε διεθνείς συνεργασίες και πρωτοβουλίες που επικεντρώνονται στην καθαρή ενέργεια και τη βιώσιμη ανάπτυξη, όπως το Πακέτο Καθαρής Ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η Συμφωνία του Παρισιού για την αλλαγή του κλίματος.

Η ενεργειακή πολιτική του Βελγίου επικεντρώνεται στη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα διασφαλίζοντας παράλληλα την ασφάλεια του εφοδιασμού, τη μείωση του κόστους για τους καταναλωτές, την αύξηση του ανταγωνισμού στην αγορά και τη συνέχιση της ενσωμάτωσης στο ευρωπαϊκό ενεργειακό σύστημα [42]. Η ομοσπονδιακή κυβέρνηση έχει δεσμευτεί να καταργήσει σταδιακά την περισσότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικά έως το 2025 και έχει αναπτύξει έναν μηχανισμό αποζημίωσης δυναμικότητας που στοχεύει στη διασφάλιση του εφοδιασμού με ηλεκτρική ενέργεια. Υπό το πρίσμα της ρωσικής εισβολής στην Ουκρανία και των στόχων για μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση αποφάσισε τον Μάρτιο του 2022 να λάβει τα απαραίτητα μέτρα για την επέκταση της πυρηνικής ισχύος 2 GW κατά δέκα χρόνια και εισήγαγε ένα πακέτο 1,2 δισεκατομμυρίων ευρώ για την επιτάχυνση της ενεργειακής μετάβασης και την προστασία των καταναλωτών από τις υψηλές τιμές ενέργειας. Το Βέλγιο συνεργάζεται επίσης με τη Γαλλία, τη Γερμανία και τις Κάτω Χώρες για να διασφαλίσει την ασφάλεια του εφοδιασμού με φυσικό αέριο καθώς η παραγωγή από το κοιτάσμα φυσικού αερίου του Γκρόνινγκεν καταργείται σταδιακά.

Από την τελευταία αναθεώρηση της ενεργειακής πολιτικής του IEA (International Energy Agency) το 2016, το Βέλγιο έχει σημειώσει πρόοδο στην ενεργειακή του μετάβαση. Από το 2010 έως το 2020, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας

του Βελγίου αυξήθηκε από 6% σε 12%, λόγω της αύξησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, κυρίως από αιολικά και ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV) και την αυξημένη χρήση βιοενέργειας, κυρίως για βιομηχανική θέρμανση και θέρμανση κτιρίων και για μεταφορές. Η πρόοδος στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ιδιαίτερα έντονη για την υπεράκτια αιολική ενέργεια. Το 2021, το Βέλγιο είχε την έκτη υψηλότερη υπεράκτια αιολική δυναμικότητα στον κόσμο και σχεδιάζει μια σημαντική επέκταση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας.

Το Βέλγιο αντιμετωπίζει αξιοσημείωτες προκλήσεις καθώς συνεχίζει να πιέζει για την ενεργειακή του μετάβαση. Το 2020, τα ορυκτά καύσιμα (κυρίως πετρέλαιο και φυσικό αέριο) αντιπροσώπευαν το 71% των ενεργειακών πηγών της χώρας. Η μεγαλύτερη ζήτηση ορυκτών καυσίμων προέρχεται από τη βιομηχανία και τις μεταφορές, αλλά τα κτίρια του Βελγίου έχουν επίσης αξιοσημείωτη ζήτηση για φυσικό αέριο, ενώ το πετρέλαιο κάλυψε το 33% της ζήτησης για κτίρια κατοικιών το 2020. Λόγω του υψηλού μεριδίου των ορυκτών καυσίμων στον ενεργειακό του εφοδιασμό, το Βέλγιο έχει σημειώσει μικρές μειώσεις στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) τα τελευταία χρόνια. Από το 2011 έως το 2019, οι εκπομπές GHG που σχετίζονται με την ενέργεια μειώθηκαν κατά μόλις 3,5 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα (Mt CO<sub>2</sub>) για να φτάσουν τους 90 Mt CO<sub>2</sub>. Απαιτούνται πιο δραστικές πολιτικές για τη μείωση της εξάρτησης του Βελγίου από τα ορυκτά καύσιμα και την επιτάχυνση των μειώσεων των εκπομπών, ειδικά δεδομένου ότι η σταδιακή κατάργηση των πυρηνικών θα αυξήσει την χρήση άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

#### **4.2.3.3. Γαλλία – 2**

Στη Γαλλία, ο νόμος για την ενεργειακή μετάβαση και την πράσινη ανάπτυξη όρισε στόχο 32% ανανεώσιμης ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας έως το 2030 και 40% στην τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η ανάπτυξη παρουσιάζει πολλές νέες προκλήσεις που απαιτούν τη λήψη αποφάσεων και τις ρυθμιστικές αρχές να δράσουν γρήγορα για να ανταποκριθούν στο ρυθμό των τεχνολογικών εξελίξεων και στις αυξανόμενες ανάγκες ευελιξίας των ηλεκτρικών συστημάτων [43].

Πολλά σενάρια αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια για την προσομοίωση της εξέλιξης του ενεργειακού μείγματος της Γαλλίας έως το 2050. Μεταξύ αυτών των σεναρίων, δύο ομάδες διακρίνονται: το πρώτο αντιστοιχεί στα σενάρια που ονομάζονται «σταθερότητα», σύμφωνα με το οποίο οι προβολές μέχρι το 2050 βασίζονται στη συνέχιση των τρεχουσών εξελίξεων και πρακτικών. Η δεύτερη οικογένεια, που είναι και πιο ρεαλιστική, περιλαμβάνει σενάρια «ρήξης», τα οποία θεωρούν ότι οι ριζικές αλλαγές στις καταναλωτικές μας πρακτικές πρέπει να συμβούν γρήγορα. Αυτές οι αλλαγές απαιτούν σημαντικές προσπάθειες εκ μέρους των δημοσίων αρχών και των Γάλλων πολιτών για την επίτευξη μιας ενεργειακής κατάστασης που είναι πολύ διαφορετική από αυτή που υπάρχει σήμερα.

Στη Γαλλία, η εποχική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας διασφαλίζεται από μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα, ενώ οι εβδομαδιαίες μειώσεις και οι δομές ροής ποταμού ρυθμίζουν την υδροηλεκτρική ενέργεια καθιστώντας την εύελικτη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Από την πλευρά της ζήτησης, η αποθήκευση ζεστού οικιακού νερού (ενέργεια για θέρμανση) στον οικιακό και τριτογενή τομέα αντιπροσωπεύει ένα κρίσιμο εργαλείο διαχείρισης στον ημερήσιο ορίζοντα, καθιστώντας δυνατή την εξομάλυνση της καμπύλης φορτίου και τη μείωση της χρήσης πόρων με πολύ χαμηλό κόστος. Αρκετοί μηχανισμοί εφαρμόστηκαν με σκοπό να συσχετίσουν αυτόν τον τύπο θερμικής αποθήκευσης με συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (θερμότητας ή κρύου) (δηλαδή, αντλίες θερμότητας) για την παροχή βασικών υπηρεσιών στο ηλεκτρικό σύστημα της Γαλλίας. Η ανάπτυξη της τηλεθέρμανσης μπορεί επίσης να διαδραματίσει έναν όλο και πιο σημαντικό ρόλο σε αυτό το τύπο αποθήκευσης.

Οι σταθμοί μεταφοράς ενέργειας με αντλία παρέχουν κεντρική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στη Γαλλία.

Αντιπροσωπεύει περίπου το 1% της ενέργειας που παράγεται στη Γαλλία και στοχεύει σε υπηρεσίες υψηλής προστιθέμενης αξίας. Η εμφάνιση μεταβλητής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως η αιολική και η φωτοβολταϊκή, σε αντίθεση με την υδροηλεκτρική ενέργεια, απαιτεί την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. Αυτό το διάστημα, η γαλλική κυβέρνηση εστιάζει σε τρεις τύπους αποθήκευσης:

1. Ενσωματωμένη αποθήκευση μέσω της ανάπτυξης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.
2. Στατική αποθήκευση με μπαταρίες για ρύθμιση ισχύος.
3. Μηχανισμοί αυτοκατανάλωσης και εικονικής αποθήκευσης [44] [45] [46].

#### **4.2.3.4. Ελλάδα – 1**

Παρά την επίτευξη των εθνικών στόχων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το 2020 [47] , η Ελλάδα αντιμετωπίζει προκλήσεις όσον αφορά την βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση. Μια από τις κύριες πτυχές που επηρεάζει την πορεία προς μια πιο βιώσιμη ενεργειακή πολιτική είναι η προτεραιότητα που δίνεται από τα πολιτικά κόμματα στην αντιμετώπιση της οικονομικής ύφεσης.

Παρά την αναγνώριση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής από την κυβέρνηση, η οικονομική ύφεση έχει καταλάβει την κυρίαρχη θέση στην πολιτική ατζέντα. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει σε μια αναστολή ή καθυστέρηση της υλοποίησης σημαντικών μέτρων και πολιτικών για την προώθηση της βιώσιμης ενέργειας. Η προσοχή των πολιτικών κομμάτων στην αντιμετώπιση της οικονομικής ύφεσης έχει συχνά αποσπάσει την προσοχή από την αναγκαιότητα μιας βιώσιμης ενεργειακής μετάβασης [48] .

Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί η σημασία της βιώσιμης ενεργειακής μετάβασης για την Ελλάδα και τις προκλήσεις που συνεπάγεται η κλιματική αλλαγή. Είναι αναγκαίο να υπάρξει μια ισχυρή πολιτική βούληση για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την ενεργειακή αποδοτικότητα και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Οι πολιτικοί παράγοντες πρέπει να επιδείξουν αποφασιστικότητα και συνέπεια στην υλοποίηση μέτρων που θα προάγουν την πράσινη ενεργειακή μετάβαση στην Ελλάδα. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία ευνοϊκών νομοθετικών πλαισίων, την παροχή οικονομικών κινήτρων και ενισχύσεων για την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ενίσχυση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

#### **4.2.3.5. Ιρλανδία – 4**

Η Ιρλανδία έχει δείξει ισχυρή δέσμευση για τη μετάβαση σε καθαρότερες πηγές ενέργειας και την υιοθέτηση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Η χώρα αναγνωρίζει τον επείγοντα χαρακτήρα της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής και της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ακολουθούν ορισμένες βασικές ενδείξεις της αποφασιστικότητας της Ιρλανδίας σε αυτούς τους τομείς:

1. Νόμος για τη δράση για το κλίμα και την ανάπτυξη χαμηλών εκπομπών άνθρακα: Το 2015, η Ιρλανδία ψήφισε τον νόμο για τη δράση για το κλίμα και την ανάπτυξη χαμηλών εκπομπών άνθρακα, ο οποίος θέτει δεσμευτικούς στόχους για τη μείωση των εκπομπών [49]. Αυτή η νομοθεσία θεσπίζει ένα πλαίσιο για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή της δράσης για το κλίμα, με ιδιαίτερη έμφαση στην υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
2. Εθνικό Σχέδιο Δράσης για το Κλίμα: Η Ιρλανδία έχει αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο Εθνικό Σχέδιο Δράσης για το Κλίμα που περιγράφει συγκεκριμένες ενέργειες και στόχους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [50]. Αυτό το σχέδιο δίνει σημαντική έμφαση στην προώθηση της υιοθέτησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης [51].
3. Σχέδια υποστήριξης για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Η Ιρλανδία έχει εφαρμόσει προγράμματα υποστήριξης που έχουν σχεδιαστεί για να ενθαρρύνουν την ανάπτυξη έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Πρωτοβουλίες όπως το Σχέδιο Υποστήριξης Ανανεώσιμων Πηγών Ηλεκτρικής Ενέργειας (RESS) [52] και το Σχέδιο Υποστήριξης Ανανεώσιμων Πηγών Θερμότητας (SSRH) [53] παρέχουν οικονομικά κίνητρα για την τόνωση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την υιοθέτηση βιώσιμων συστημάτων θέρμανσης.

4. Προώθηση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας: Η Ιρλανδία έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για την ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικής ενέργειας, με στόχο να έχει ελάχιστη λειτουργική ισχύ 5 GW έως το 2030. Για να υποστηρίξει αυτόν τον στόχο, η χώρα ίδρυσε την υπηρεσία Marine Renewable Energy Ireland (MaREI) για την προώθηση της έρευνας και την καινοτομία στις υπεράκτιες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [54].
5. Εστίαση στην αποθήκευση ενέργειας: Η Ιρλανδία αναγνωρίζει τη σημασία των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για τη δημιουργία μιας πιο ευέλικτης και ανθεκτικής ενεργειακής υποδομής. Η κυβέρνηση έχει υποστηρίξει ενεργά έργα έρευνας και ανάπτυξης που είναι αφιερωμένα στην προώθηση των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, η αντλία υδραυλικής αποθήκευσης και άλλες καινοτόμες λύσεις.
6. Διεθνής Συνεργασία: Η Ιρλανδία συμμετέχει ενεργά σε διεθνείς πρωτοβουλίες και συνεργασίες που σχετίζονται με την ενεργειακή μετάβαση και τη δράση για το κλίμα. Ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Ιρλανδία ευθυγραμμίζει τις ενεργειακές και κλιματικές πολιτικές της με τους στόχους της ΕΕ. Η χώρα συμμετέχει επίσης σε παγκόσμιες συμφωνίες, συμπεριλαμβανομένης της Συμφωνίας του Παρισιού [55], για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμια κλίμακα

#### **4.2.3.6. Ισπανία – 3**

Η κυβέρνηση έχει διατυπώσει μια στρατηγική με συγκεκριμένους στόχους για την περίοδο έως το 2030. Έχουν αναπτυχθεί κανονιστικά πλαίσια, ενώ η κυβέρνηση έχει δεσμευτεί σε συγκεκριμένους ρυθμούς για τη βελτίωση της κατανάλωσης και της αποδοτικότητας της ενέργειας. Οι εθνικές και οι τοπικές αρχές εργάζονται προς αυτήν την κατεύθυνση, αλλά η πολιτική αστάθεια, η έλλειψη κατάταξης προτεραιοτήτων και οι γενικές ασταθείς ατζέντες των

πολιτικών κομμάτων [56] έχουν διάφορες επιπτώσεις στον προϋπολογισμό που κατευθύνεται προς την αειφόρο ενέργεια .

#### **4.2.3.7. Ιταλία – 3**

Όσον αφορά την πολιτική της Ιταλίας σχετικά με τις επενδύσεις στην αποθήκευση ενέργειας και τη μετάβαση σε πιο πράσινες λύσεις, η Ιταλία έχει επιδιώξει ενεργά την ενεργειακή της μετάβαση και τις επενδύσεις σε πράσινες λύσεις. Έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την αύξηση του ποσοστού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Η Ιταλία έχει εφαρμόσει αρκετές πολιτικές και πρωτοβουλίες για την υποστήριξη της μετάβασης σε πιο καθαρές πηγές ενέργειας. Η Εθνική Ενεργειακή Στρατηγική έχει ως στόχο να επιτύχει το 28% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έως το 2030 [57]. Περιλαμβάνει μέτρα για την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας στα κτίρια, την αύξηση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων και την ενίσχυση της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας.

Όσον αφορά τις επενδύσεις στην ενεργειακή αποθήκευση, η Ιταλία αναγνωρίζει τη σημασία των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας για ένα αξιόπιστο και βιώσιμο ενεργειακό σύστημα. Η χώρα έχει ενθαρρύνει την ανάπτυξη και εφαρμογή λύσεων αποθήκευσης ενέργειας μέσω διάφορων μηχανισμών. Για παράδειγμα, η Ιταλία έχει εφαρμόσει οικονομικά κίνητρα και κανονιστικά πλαίσια για την υποστήριξη της εγκατάστασης συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης μπαταριών, της αποθήκευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας και της αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

Επιπλέον, η Ιταλία συμμετέχει ενεργά σε διεθνείς συνεργασίες και πρωτοβουλίες που σχετίζονται με την έρευνα και ανάπτυξη στην ενεργειακή αποθήκευση. Συμμετέχει σε έργα που έχουν ως στόχο τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της απόδοσης των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, όπως το πρόγραμμα Horizon 2020 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής [58].

#### **4.2.3.8. Κροατία – 1**



Η Κροατία έχει επιδείξει αυξανόμενη πολιτική βούληση να προωθήσει επενδύσεις αποθήκευσης ενέργειας και να διευκολύνει τη μετάβαση σε πιο πράσινες λύσεις. Η χώρα εργάζεται ενεργά σε πολιτικές και πρωτοβουλίες για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την αύξηση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Οι προσπάθειες της Κροατίας για την ενεργειακή μετάβαση καθοδηγούνται από τη Στρατηγική Ενεργειακής Ανάπτυξης της Δημοκρατίας της Κροατίας έως το 2030, η οποία τονίζει τη σημασία της αειφόρου ανάπτυξης, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της ενεργειακής απόδοσης [59].

Όσον αφορά τις επενδύσεις αποθήκευσης ενέργειας, η Κροατία αναγνωρίζει τη σημασία των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας για τη διασφάλιση ενός αξιόπιστου και ευέλικτου ενεργειακού συστήματος. Η κυβέρνηση έχει εφαρμόσει μέτρα για την υποστήριξη της ανάπτυξης και της ανάπτυξης λύσεων αποθήκευσης ενέργειας. Διατίθενται οικονομικά κίνητρα, επιχορηγήσεις και επιδοτήσεις για την ενθάρρυνση των επενδύσεων σε έργα αποθήκευσης ενέργειας. Η Κροατία προωθεί επίσης την έρευνα και την καινοτομία στις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μέσω συνεργασιών με ερευνητικά ιδρύματα και βιομηχανικούς εταίρους [60].

Όσον αφορά τη μετάβαση σε πιο πράσινες λύσεις, η Κροατία έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για την αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό της μείγμα. Η χώρα στοχεύει να επεκτείνει την ικανότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδιαίτερα σε τομείς όπως η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια και η υδροηλεκτρική ενέργεια. Η Κροατία έχει εφαρμόσει υποστηρικτικές πολιτικές, συμπεριλαμβανομένων τιμολογίων τροφοδοσίας και διαγωνισμών για έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, για να προσελκύσει επενδύσεις και να τονώσει την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Επιπλέον, η Κροατία συμμετέχει ενεργά σε διεθνείς συνεργασίες και πρωτοβουλίες που σχετίζονται με την καθαρή ενέργεια και τη βιώσιμη ανάπτυξη, συμπεριλαμβανομένων των προσπαθειών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

#### 4.2.3.9. Λετονία – 3

Η Λετονία έχει εκφράσει σαφή δέσμευση για την προώθηση της μετάβασης στην πράσινη ενέργεια και την προώθηση της ανάπτυξης συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Η χώρα αναγνωρίζει τη σημασία της στροφής προς βιώσιμες πηγές ενέργειας για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ακολουθούν ορισμένες βασικές ενδείξεις της πολιτικής βούλησης της Λετονίας σε αυτούς τους τομείς:

1. Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος (NECP): Η Λετονία έχει διαμορφώσει ένα ολοκληρωμένο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα που περιγράφει τους στόχους, τις στρατηγικές και τα μέτρα της για την επίτευξη της ενεργειακής μετάβασης και την αντιμετώπιση των κλιματικών προκλήσεων. Το σχέδιο [61] θέτει φιλόδοξους στόχους για την αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.
2. Μηχανισμοί υποστήριξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Η Λετονία έχει εφαρμόσει διάφορους μηχανισμούς υποστήριξης για να δώσει κίνητρα για την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτοί οι μηχανισμοί περιλαμβάνουν feed-in-tariffs, ανταγωνιστικές δημοπρασίες και οικονομικές επιχορηγήσεις, που ενθαρρύνουν τις επενδύσεις και διευκολύνουν την ανάπτυξη έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στόχος είναι η προώθηση της χρήσης αιολικής, ηλιακής ενέργειας, βιομάζας και άλλων βιώσιμων πηγών ενέργειας.
3. Έμφαση στην αποθήκευση ενέργειας: Αναγνωρίζοντας τη σημασία της αποθήκευσης ενέργειας για ένα αξιόπιστο και ανθεκτικό ενεργειακό σύστημα, η Λετονία έχει δείξει έντονο ενδιαφέρον για την έρευνα και την ανάπτυξη τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας [62]. Αυτό περιλαμβάνει την εξερεύνηση προηγμένων λύσεων, όπως αποθήκευση μπαταριών, αποθήκευση με αντλία υδροηλεκτρικής ενέργειας και άλλες

καινοτόμες μεθόδους για την αποτελεσματική αποθήκευση και χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

4. Εστίαση στην Ενεργειακή Απόδοση [63]: Η Λετονία δίνει σημαντική έμφαση στα μέτρα ενεργειακής απόδοσης ως κρίσιμης σημασίας στοιχείο της μετάβασής της στην πράσινη ενέργεια. Η κυβέρνηση έχει εφαρμόσει πολιτικές και πρωτοβουλίες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων, των μεταφορών και της βιομηχανίας. Αυτές οι προσπάθειες στοχεύουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, στη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και στην προώθηση βιώσιμων πρακτικών.
5. Διεθνείς δεσμεύσεις: Η Λετονία συμμετέχει ενεργά σε διεθνείς συνεργασίες και συμφωνίες που σχετίζονται με τη μετάβαση στην πράσινη ενέργεια και τη δράση για το κλίμα [64]. Ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Λετονία ευθυγραμμίζει τις πολιτικές της με τους ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους της ΕΕ, συνεργαζόμενη με άλλα κράτη μέλη για την επίτευξη κοινών στόχων. Επιπλέον, η Λετονία συμμετέχει σε παγκόσμιες πρωτοβουλίες όπως η Συμφωνία του Παρισιού, επιδεικνύοντας τη δέσμευσή της στις παγκόσμιες προσπάθειες για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

#### **4.2.3.10. Λουξεμβούργο – 4**

Το Λουξεμβούργο έχει ισχυρή πολιτική βούληση για μετάβαση σε ένα σύστημα πράσινης ενέργειας. Η κυβέρνηση έχει θέσει στόχο 100% ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως το 2050 και έχει πραγματοποιήσει ορισμένες επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας.

Η κυβέρνηση έχει αναπτύξει Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος [65], το οποίο καθορίζει τη στρατηγική της χώρας για την επίτευξη του στόχου της για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το σχέδιο περιλαμβάνει μια σειρά μέτρων για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως:

- Επένδυση σε έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ηλιακά και αιολικά πάρκα
- Παροχή οικονομικών κινήτρων σε επιχειρήσεις και νοικοκυριά να στραφούν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για να βοηθήσει στην εξισορρόπηση του δικτύου και να καταστήσει την ανανεώσιμη ενέργεια πιο αξιόπιστη

Η κυβέρνηση έχει επίσης πραγματοποιήσει ορισμένες επενδύσεις σε τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Το 2019, η κυβέρνηση ανακοίνωσε ότι θα επενδύσει 100 εκατομμύρια ευρώ σε μια νέα εγκατάσταση αποθήκευσης ενέργειας. Η εγκατάσταση θα χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό μπαταριών ιόντων λιθίου και αποθήκευσης αντλίας υδροηλεκτρικής ενέργειας για την αποθήκευση ανανεώσιμης ενέργειας.

Η δέσμευση της κυβέρνησης για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση ενέργειας είναι σύμφωνη με τους ευρύτερους κλιματικούς στόχους της χώρας. Το Λουξεμβούργο έχει δεσμευτεί να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% έως το 2030 και κατά 80-95% έως το 2050. Η μετάβαση σε ένα σύστημα πράσινης ενέργειας θα διαδραματίσει βασικό ρόλο στην επίτευξη αυτών των στόχων.

#### **4.2.3.11. Ολλανδία – 1**

Η κλιματική πολιτική της Ολλανδίας είναι κυρίως μια υλοποίηση των οδηγιών της ΕΕ και η κυβέρνησή της συνήθως είναι παθητικά υποστηρικτική. Η χώρα λαμβάνει μια ποικιλία μέτρων για να επιτύχει τους στόχους της, αλλά φαίνεται ότι είναι ανεπαρκή [66], ενώ αυτήν τη στιγμή υπάρχει ελάχιστη πολιτική υποστήριξη για βιώσιμες ενεργειακές δράσεις σε τοπική κλίμακα [67].

Η Ολλανδία έχει μακρά ιστορία εξόρυξης και χρήσης φυσικού αερίου, με περίπου το 40% του συνολικής ενέργειας να προέρχεται από φυσικό αέριο το 2014 [68]. Η σταθερή μείωση της παραγωγής από τα κοιτάσματα φυσικού αερίου της Βόρειας Θάλασσας οδήγησε στο να γίνει η Ολλανδία καθαρός εισαγωγέας φυσικού αερίου το 2018 [69]. Η ολλανδική κυβέρνηση έχει ξεκινήσει μια μετάβαση απομάκρυνσης από το φυσικό αέριο, με την παραγωγή από το πεδίο φυσικού αερίου του Groningen να παύει έως το 2030 [70]. Αυτή

η μετάβαση υποκινείται από διάφορους παράγοντες. Αρχικά, συνάδει τόσο με τον στόχο της ολλανδικής πολιτικής για μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 49% έως το 2030 (Νόμος για το κλίμα, 2019), όσο και με την απόφαση Urgenda του 2015 που απαιτούσε από την ολλανδική κυβέρνηση να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 25% μέχρι το τέλος του 2020 (σε σύγκριση με τα βασικά επίπεδα του 1990) [71]. Έπειτα, ενισχύει τη μακροπρόθεσμη ενεργειακή ασφάλεια, καθώς οι Κάτω Χώρες δεν θα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από εισαγωγές φυσικού αερίου (αέριο υψηλής θερμιδικής αξίας) από τη Ρωσία και τη Νορβηγία ή από εισαγωγές LNG από πιο μακριά [72] [73]. Η κατάσταση περιπλέκεται περαιτέρω από το γεγονός ότι η εισαγωγή αερίου υψηλής θερμιδικής αξίας απαιτεί είτε αλλαγή σε οικιακές εγκαταστάσεις (π.χ. νέοι λέβητες, το οικιακό ολλανδικό αέριο έχει χαμηλή θερμιδική περιεκτικότητα και το αέριο υψηλής θερμιδικής αξίας χρησιμοποιείται συνήθως μόνο στον ολλανδικό βιομηχανικό τομέα) είτε ανάμειξη του αερίου υψηλής θερμιδικής αξίας με άζωτο, μέτρα τα οποία είναι και τα δύο δαπανηρά [74].

#### **4.2.3.12. Πορτογαλία – 4**

Η Πορτογαλία έχει εφαρμόσει πολλά προγράμματα και πρωτοβουλίες για να υποστηρίξει την ενεργειακή της μετάβαση και τη στροφή προς πιο πράσινες λύσεις. Μερικά αξιοσημείωτα προγράμματα και πρωτοβουλίες στην Πορτογαλία περιλαμβάνουν:

1. PNAER - Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα: Το PNAER καθορίζει το στρατηγικό πλαίσιο για τις ενεργειακές και κλιματικές πολιτικές της Πορτογαλίας. Περιγράφει συγκεκριμένους στόχους, μέτρα και δράσεις για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την ενεργειακή απόδοση και την ουδετερότητα των εκπομπών άνθρακα. Το σχέδιο καλύπτει διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρισμού, των μεταφορών, της βιομηχανίας και των κτιρίων [75].

2. PPEC - Σχέδιο Ενεργειακής Απόδοσης και Εξοικονόμησης: Το PPEC είναι ένα πρόγραμμα που επικεντρώνεται στην προώθηση της ενεργειακής απόδοσης και εξοικονόμησης ενέργειας στην Πορτογαλία. Περιλαμβάνει μέτρα για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια, τις βιομηχανίες και τις μεταφορές και την ευαισθητοποίηση σχετικά με τις πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας. Το πρόγραμμα προσφέρει οικονομικά κίνητρα, επιχορηγήσεις και υποστήριξη για έργα ενεργειακής απόδοσης [76].
3. PNAEE - Εθνικό σχέδιο για την ενεργειακή απόδοση: Το PNAEE είναι ένα μακροπρόθεσμο σχέδιο που θέτει στόχους και στρατηγικές ενεργειακής απόδοσης για την Πορτογαλία. Επικεντρώνεται στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων, της βιομηχανίας, των μεταφορών και των υπηρεσιών. Το σχέδιο περιλαμβάνει μέτρα για τη βελτίωση των προτύπων ενεργειακής απόδοσης, την προώθηση των ενεργειακών ελέγχων και την ενθάρρυνση της υιοθέτησης ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών [77].
4. Προγράμματα E&A και Καινοτομίας: Η Πορτογαλία έχει καθιερώσει προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης (E&A) για την προώθηση της καινοτομίας στις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας. Αυτά τα προγράμματα υποστηρίζουν τη συνεργασία μεταξύ ερευνητικών ιδρυμάτων, πανεπιστημίων και επιχειρήσεων για την ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών, τη βελτίωση των λύσεων αποθήκευσης ενέργειας και την προώθηση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [78].  
Επίσης, Η Πορτογαλία, όπως και άλλα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχει πρόσβαση στο Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης [79] - Just Transition Fund (JTF) για να διευκολύνει τη μετάβαση των περιοχών της με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα προς πιο πράσινες λύσεις. Το ταμείο στοχεύει να αντιμετωπίσει τις κοινωνικές και οικονομικές

προκλήσεις που σχετίζονται με τη σταδιακή κατάργηση των βιομηχανιών άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου παρέχοντας οικονομική υποστήριξη σε πρωτοβουλίες που προωθούν τη βιώσιμη ανάπτυξη, τη δημιουργία θέσεων εργασίας και τη διαφοροποίηση των τοπικών οικονομιών.

#### **4.2.3.13. Σλοβενία – 4**

Η Σλοβενία συμμετέχει ενεργά σε διάφορα ευρωπαϊκά προγράμματα και πρωτοβουλίες που σχετίζονται με την αποθήκευση ενέργειας και τη μετάβαση σε πιο πράσινες λύσεις. Ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Σλοβενία συνεργάζεται με άλλα κράτη μέλη της ΕΕ για να εργαστεί για την επίτευξη κοινών ενεργειακών και κλιματικών στόχων. Ακολουθούν ορισμένα ευρωπαϊκά προγράμματα και πρωτοβουλίες στα οποία συμμετέχει η Σλοβενία:

1. Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία: Η Σλοβενία αποτελεί μέρος της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας [80], η οποία είναι ένας ολοκληρωμένος οδικός χάρτης για να καταστεί η οικονομία της ΕΕ βιώσιμη και κλιματικά ουδέτερη. Η Πράσινη Συμφωνία περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα μέτρων για την επιτάχυνση της μετάβασης στην καθαρή ενέργεια, τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης και ανάπτυξης τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας.
2. Horizon Europe: Η Σλοβενία συμμετέχει στο Horizon Europe, το εμβληματικό πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας της ΕΕ [81]. Μέσω του Horizon Europe, Σλοβένοι ερευνητές, ιδρύματα και επιχειρήσεις μπορούν να έχουν πρόσβαση σε χρηματοδότηση και να συνεργάζονται με εταίρους σε όλη την Ευρώπη για την προώθηση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, τη διεξαγωγή έρευνας για βιώσιμες ενεργειακές λύσεις και την προώθηση της καινοτομίας στον τομέα.
3. Διευκόλυνση Connecting Europe Facility (CEF): Η CEF υποστηρίζει την ανάπτυξη διασυνοριακής ενεργειακής υποδομής,

συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων αποθήκευσης. Η Σλοβενία μπορεί να επωφεληθεί από τη χρηματοδότηση της CEF για τη βελτίωση της ενεργειακής της υποδομής, την προώθηση έργων αποθήκευσης ενέργειας και τη βελτίωση της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ευρωπαϊκό ενεργειακό δίκτυο [82] [83].

4. Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ): Η Σλοβενία χρησιμοποιεί το ΕΤΠΑ, το οποίο παρέχει οικονομική υποστήριξη για έργα περιφερειακής ανάπτυξης. Αυτό περιλαμβάνει επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενεργειακή απόδοση και βιώσιμες υποδομές, οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν συστήματα αποθήκευσης ενέργειας [84].
5. European Battery Alliance (EBA): Η Σλοβενία συμμετέχει στην European Battery Alliance, μια πρωτοβουλία που στοχεύει στην προώθηση της ανάπτυξης και παραγωγής βιώσιμων μπαταριών στην Ευρώπη. Η EBA εστιάζει στην ενίσχυση της αλυσίδας αξίας των μπαταριών, συμπεριλαμβανομένων των πρώτων υλών, της έρευνας, της κατασκευής και της ανακύκλωσης, και η Σλοβενία μπορεί να συμμετάσχει σε αυτές τις συλλογικές προσπάθειες [85].

Συμμετέχοντας σε αυτά τα προγράμματα, η Σλοβενία μπορεί να επωφεληθεί από ευκαιρίες χρηματοδότησης, ανταλλαγή γνώσεων και συνεργατικά έργα για την επιτάχυνση των επενδύσεων αποθήκευσης ενέργειας και των προσπαθειών ενεργειακής μετάβασης.

#### **4.2.4 Κανονιστικός δείκτης για Βιώσιμη Ενέργεια - Regulatory Indicator for Sustainable Energy RISE [0-100]**

Ο δείκτης RISE [86] αποτελεί έναν πίνακα αποτελεσμάτων πολιτικής της Παγκόσμιας Τράπεζας, με στόχο να βοηθήσει τις κυβερνήσεις να αξιολογήσουν εάν έχουν πολιτικό και κανονιστικό πλαίσιο για την προώθηση της προόδου στη βιώσιμη ενέργεια, αξιολογώντας μέσω αυτού τις ρυθμιστικές επιδόσεις των χωρών σχετικά με την



πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια, την ενεργειακή απόδοση αλλά και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Ο συγκεκριμένος δείκτης, που αποτελεί ένα κριτήριο οφέλους, δεν ανακτήθηκε βιβλιογραφικά για την Λετονία και Λουξεμβούργο, καθώς δεν υπήρχαν ποσοτικά στοιχεία. Ωστόσο συλλέχθηκαν ποιοτικές πληροφορίες μέσα από την βιβλιογραφία και μέσω αυτών έγινε μια υποθετική προσέγγιση της τιμής του κριτηρίου για τις συγκεκριμένες χώρες.

#### **4.2.4.1. Λετονία**

Η Λετονία έχει θεσπίσει ένα ρυθμιστικό πλαίσιο για τη στήριξη της ενεργειακής μετάβασης και την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το ρυθμιστικό πλαίσιο περιλαμβάνει διάφορους νόμους, κανονισμούς και πολιτικές που παρέχουν ένα νομικό και διοικητικό πλαίσιο για την ανάπτυξη, την ενσωμάτωση και την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη χώρα. Ορισμένα βασικά στοιχεία του ρυθμιστικού πλαισίου της Λετονίας για την ενεργειακή μετάβαση και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι τα εξής:

1. Νόμος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Η Λετονία έχει θεσπίσει νόμο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας που ορίζει το νομικό πλαίσιο για την προώθηση και την υποστήριξη της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας [87]. Ο νόμος αυτός καθορίζει τα δικαιώματα και τις υποχρεώσεις των παραγωγών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τις προϋποθέσεις για την απόκτηση μηχανισμών υποστήριξης και τις διαδικασίες για τη σύνδεση έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο.
2. Εγγυημένες σταθερές τιμές τροφοδοσίας και ασφάλιστρα: Η Λετονία λειτουργεί ένα σύστημα εγγυημένων σταθερών τιμών τροφοδοσίας που παρέχει εγγυημένες τιμές για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [88]. Τα τιμολόγια τροφοδοσίας καθορίζονται από την Επιτροπή Κοινής Ωφέλειας και ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Επιπλέον, ο νόμος επιτρέπει τη δυνατότητα εισαγωγής συστήματος premium για έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [89].

3. Σχέδια υποστήριξης και κίνητρα: Η Λετονία προσφέρει διάφορα προγράμματα υποστήριξης και κίνητρα για να ενθαρρύνει την ανάπτυξη έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτά περιλαμβάνουν επενδυτικές επιδοτήσεις, επιχορηγήσεις και ανταγωνιστικές δημοπρασίες, οι οποίες παρέχουν οικονομική υποστήριξη και κίνητρα για επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την εφαρμογή ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών [90].
4. Σύνδεση στο Δίκτυο και Κατανομή Προτεραιότητας: Το ρυθμιστικό πλαίσιο διασφαλίζει ότι τα έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν πρόσβαση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας [91]. Καθορίζει τους κανόνες και τις διαδικασίες για τη σύνδεση των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο και διευκρινίζει ότι η ανανεώσιμη ενέργεια πρέπει να έχει προτεραιότητα διανομής, πράγμα που σημαίνει ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές έχει προτεραιότητα πρόσβασης στο δίκτυο.
5. Εγγυήσεις προέλευσης και στατιστικές για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Η Λετονία έχει εφαρμόσει ένα σύστημα εγγυήσεων προέλευσης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [92]. Αυτό το σύστημα παρέχει απόδειξη της προέλευσης της ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας και επιτρέπει στους καταναλωτές να επιλέγουν και να υποστηρίζουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η χώρα επίσης συλλέγει και δημοσιεύει στατιστικές για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την παρακολούθηση της προόδου της ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
6. Κανονισμοί ενεργειακής απόδοσης: Παράλληλα με την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η Λετονία έχει εφαρμόσει κανονισμούς και πρότυπα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια [93],

τη βιομηχανία και τις μεταφορές [94]. Αυτοί οι κανονισμοί θέτουν απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, προωθούν ενεργειακούς ελέγχους και ενθαρρύνουν μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας.

#### **4.2.4.2. Λουξεμβούργο**

Το Λουξεμβούργο διαθέτει προγράμματα υποστήριξης για την ενεργειακή απόδοση και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δύο από τους πυλώνες της μετάβασης στην καθαρή ενέργεια. Ωστόσο, η έκθεση του ΙΕΑ [95] διαπιστώνει ότι οι χαμηλοί φόροι της χώρας στην ενέργεια αποτελούν εμπόδιο για τις επενδύσεις που απαιτούνται στην ενεργειακή απόδοση και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την επίτευξη των στόχων της κυβέρνησης. Η έκθεση ζητά τη σταδιακή εισαγωγή της τιμολόγησης του άνθρακα, η οποία εάν γίνει με σύνεση, θα μπορούσε να τονώσει τις αλλαγές συμπεριφοράς και τις επενδύσεις που απαιτούνται για τη μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η κυβέρνηση ανακοίνωσε ένα σχέδιο για την εισαγωγή τιμής άνθρακα το 2021.

Το Λουξεμβούργο διαθέτει πολλά προγράμματα υποστήριξης για την επίτευξη των στόχων του στον ενεργειακό τομέα. Η κυβέρνηση παρέχει επί του παρόντος υποστήριξη για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέσω ενός τιμολογίου τροφοδοσίας (feed-in tariff) και του τιμολογίου πριμοδότησης (premium tariff) για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και επενδυτικές επιδοτήσεις που υποστηρίζουν την ανάπτυξη έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το 2018, το Λουξεμβούργο εισήγαγε ένα σύστημα διαγωνισμών για έργα φωτοβολταϊκών και προετοίμασε νομοθεσία για να υποστηρίξει την ιδιοκατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και να ενθαρρύνει τους καταναλωτές να συμμετέχουν ενεργά στην αγορά (καταναλωτές). Σύμφωνα με τον νέο νόμο, η ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που καταναλώνεται απευθείας στον τόπο παραγωγής θα απαλλάσσεται από τα τέλη δικτύου.

Το Prime House είναι το κύριο πρόγραμμα του Λουξεμβούργου για την υποστήριξη των ανακαινίσεων ενεργειακής απόδοσης και της κατασκευής

ολοκληρωμένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τον Ιανουάριο του 2017, η κυβέρνηση αναμόρφωσε το πρόγραμμα για την παροχή πιο γενναιόδωρων επενδυτικών επιδοτήσεων και θέσπισε επίσης το πρόγραμμα Climate Bank, το οποίο παρέχει δάνεια για το κλίμα χαμηλού επιτοκίου για να ενθαρρύνει τους κατοίκους και τις εταιρείες να αναλάβουν ανακαινίσεις ενεργειακής απόδοσης.

Το 2015, το Λουξεμβούργο εισήγαγε ένα καθεστώς υποχρέωσης ενεργειακής απόδοσης, το οποίο απαιτεί από τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου να πραγματοποιούν σωρευτική ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας 1,5% για τους τελικούς χρήστες έως το 2020. Για να ενθαρρύνει την ενεργειακή απόδοση στον τομέα των μεταφορών, τα ετήσια τέλη ταξινόμησης οχημάτων είναι υψηλότερα για λιγότερο αποδοτικά οχήματα. Το πρόγραμμα Climate Pact, που δημιουργήθηκε το 2012, παρέχει τεχνικές συμβουλές και χρηματοδότηση για να βοηθήσει τους δήμους να εφαρμόσουν μέτρα για το κλίμα, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την ενεργειακή απόδοση. Οι δήμοι λαμβάνουν πιστοποιήσεις με βάση τον αριθμό των μέτρων που εφαρμόζουν. Το σύμφωνο έχει υπογραφεί και από τους 102 δήμους και από το 2018, 88 είχαν λάβει πιστοποιήσεις.

#### **4.2.5 Βιωσιμότητα οικονομικού τομέα [0-100]**

Αυτός ο δείκτης αντιπροσωπεύει τις επιδόσεις κάθε χώρας στη χρηματοοικονομική ανάπτυξη, η οποία περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τις προσιτές τιμές των χρηματοπιστωτικών υπηρεσιών, την ευκολία πρόσβασης σε δάνεια, τη βιωσιμότητα των τραπεζών κ.λπ. Οι βαθμολογίες σε αυτό το κριτήριο οφέλους καθορίστηκαν από τον πυλώνα της ανάπτυξης της χρηματοπιστωτικής αγοράς από την Έκθεση Παγκόσμιας Ανταγωνιστικότητας [96].

#### **4.2.6 Ευκολία επιχειρηματικής δραστηριότητας (Ease of doing business) [1-190]**

Η ευκολία δραστηριοποίησης της Παγκόσμιας Τράπεζας κατατάσσει τη γραφειοκρατία και αποτελεί ποιοτικό κριτήριο. Αντιπροσωπεύει την κατάταξη μιας χώρας με βάση το πόσο εύκολο είναι για τους ανθρώπους να ξεκινήσουν, να λειτουργήσουν και να

επεκτείνουν μια επιχείρηση στη χώρα. Αποτελεί κριτήριο κόστους καθώς καλύτερη θέση έχουν οι χώρες που βρίσκονται κοντά στο 1.

Η Παγκόσμια Τράπεζα δημοσιεύει έκθεση [97] κατάταξης 190 χωρών έναντι δώδεκα τομέων επιχειρηματικής ρύθμισης, συμπεριλαμβανομένης της έναρξης μιας επιχείρησης, την διαχείριση οικοδομικών αδειών, την πληρωμή φόρων, την επιβολή συμβάσεων, και ούτω καθεξής, με τη μέτρηση των διαδικασιών, των χρόνων και του κόστους. Οι κατατάξεις ερμηνεύονται ως τιμές του κριτηρίου.

#### **4.2.7 Τεχνολογική καινοτομία (% του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος)**

Οι χώρες με ισχυρές δυνατότητες καινοτομίας και έρευνας μπορούν να παρέχουν πιο ελκυστικές επενδυτικές ευκαιρίες για αποθήκευση ενέργειας. Αυτό συμβαίνει επειδή μπορεί να αναπτύσσουν νέες και πιο προηγμένες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας που μπορούν να παρέχουν καλύτερη απόδοση και οικονομική αποδοτικότητα.

Αυτό το κριτήριο οφέλους δείχνει τη μέση επίδοση κάθε χώρας ως προς την έκταση και την αποδοτικότητα σε αποδοτικές υποδομές, όπως οι τρόποι μεταφοράς, οι προμήθειες ηλεκτρικής ενέργειας και το δίκτυο τηλεπικοινωνιών και η ικανότητα προώθησης καινοτόμων δραστηριοτήτων, μέσω επενδύσεων σε Έρευνα και Ανάπτυξη, προσαρμοσμένη στις νέες τεχνολογίες [98].

#### **4.2.8 Εισχώρηση ανανεώσιμης ενέργειας (% του ενεργειακού μείγματος)**

Οι χώρες με υψηλό μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό τους μείγμα [99] είναι πιθανό να έχουν μεγαλύτερη ανάγκη για συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Οι χώρες που επενδύουν σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιμετωπίζουν την πρόκληση της αποθήκευσης ενέργειας για να αντιμετωπίσουν τις διακυμάνσεις και τις ανεπάρκειες που σχετίζονται με την παραγωγή από αυτές τις πηγές. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας επιτρέπουν την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας κατά τις περιόδους υψηλής παραγωγής και την απελευθέρωσή της κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης ή χαμηλής παραγωγής.

Η αποθήκευση ενέργειας επιτρέπει επίσης τη μείωση της εξάρτησης του ενεργειακού μείγματος από τις παραδοσιακές μορφές ενέργειας που προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Με την αποθήκευση και αποδοτική χρήση της ανανεώσιμης ενέργειας, οι χώρες μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, να προστατεύσουν το περιβάλλον και να επιτύχουν βιώσιμη ανάπτυξη. Είναι σημαντικό να αναλυθούν οι ανάγκες και οι προκλήσεις που σχετίζονται με την αποθήκευση ενέργειας σε κάθε χώρα, λαμβάνοντας υπόψη το ενεργειακό τους μείγμα και τις ειδικές συνθήκες. Κάθε χώρα θα πρέπει να αξιολογήσει τις διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και να εξετάσει την καταλληλότητά τους για το συγκεκριμένο ενεργειακό σύστημα.

#### **4.2.9 Υποδομές δικτύου μεταφοράς ενέργειας - EAPI [0-1]**

Παγκόσμιος Δείκτης Απόδοσης Ενεργειακής Αρχιτεκτονικής - Global Energy Architecture Performance Index (EAPI) [100]. Ο Δείκτης Απόδοσης Ενεργειακής Αρχιτεκτονικής (EAPI), που παρουσιάστηκε από το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ σε συνεργασία με την Accenture από το 2012, διερευνά τις τάσεις και την απόδοση της πραγματικής ενεργειακής αρχιτεκτονικής των εθνικών ενεργειακών συστημάτων, και ως εκ τούτου αναδεικνύει τοπικά ενεργειακά ζητήματα και παρέχει καθοδήγηση για να γίνουν πιο αποτελεσματικές οι ενεργειακές μεταβάσεις.

Ως σύνθετος δείκτης, ο EAPI αποτελείται από τρεις υποδείκτες (γνωστοί εναλλακτικά ως «ενεργειακό τρίγωνο»): Οικονομική μεγέθυνση και ανάπτυξη (EGD), Περιβαλλοντική βιωσιμότητα (ES) και Ενεργειακή πρόσβαση και ασφάλεια (EAS). Συγκεκριμένα, ο δείκτης EGD μετρά την έκταση στην οποία η ενεργειακή αρχιτεκτονική υποστηρίζει, αντί να μειώνει, την οικονομική μεγέθυνση και ανάπτυξη· ο δείκτης ES αξιολογεί την έκταση στην οποία η ενεργειακή αρχιτεκτονική έχει κατασκευαστεί για να ελαχιστοποιεί τις αρνητικές περιβαλλοντικές εξωτερικές επιδράσεις και ο δείκτης EAS αξιολογεί την έκταση στην οποία η ενεργειακή αρχιτεκτονική κινδυνεύει να επηρεάσει την ενεργειακή ασφάλεια και εάν παρέχεται επαρκής πρόσβαση στην ενέργεια σε όλα τα μέρη του πληθυσμού. Το σκορ που επιτυγχάνεται σε κάθε υποδείκτη υπολογίζεται αριθμητικά ως μέσος όρος για να δημιουργήσει μια συνολική βαθμολογία του EAPI. Αυτός είναι,

$$EAPI = 1/3*(EGD + ES + EAS)$$

Ο δείκτης EAPI εστιάζει στην απόδοση των εθνικών ενεργειακών συστημάτων σε τρεις διαστάσεις: οικονομική μεγέθυνση και ανάπτυξη, περιβαλλοντική βιωσιμότητα και ενεργειακή πρόσβαση και ασφάλεια. Αξιολογεί το ενεργειακό σύστημα κάθε χώρας με βάση 18 δείκτες, συμπεριλαμβανομένων της αξιοπιστίας και της ποιότητας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, του επιπέδου των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της αποδοτικότητας της χρήσης ενέργειας. Ο δείκτης EAPI έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ένα στιγμιότυπο της τρέχουσας κατάστασης του ενεργειακού συστήματος κάθε χώρας και να βοηθά στον εντοπισμό τομέων προς βελτίωση.

Συνοπτική παρουσίαση των κριτηρίων, των κλιμάκων αξιολόγησής τους και των δεδομένων τους παρέχονται στον Πίνακα 4.1.

Αξιολόγηση της Ετοιμότητας Διαφόρων Ευρωπαϊκών Χωρών για Εγκατάσταση Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας

Πίνακας 4.1

Κριτήρια αξιολόγησης	ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΣ		ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ		ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ		ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΣ		
	Ευαισθητοποίηση και αποδοχή του κοινού [0-5]	Ανθρώπινο κεφάλαιο [0-100]	Πολιτική βούληση [0-4]	Κανονιστικός Δείκτης για Βιώσιμη Ενέργεια - RISE [0-100]	Βιωσιμότητα οικονομικού τομέα [0-100]	Ευκολία επιχειρηματικής δραστηριότητας [190-1]	Τεχνολογική καινοτομία (% του ΑΕΠ)	Εισχώρηση ανανεώσιμης ενέργειας (% του ενεργειακού μείγματος)	Υποδομές δικτύου μεταφοράς ενέργειας EAPI [0-1]
Εναλλακτικές- Χώρες									
Αυστρία	4.05	73.3	0	88	75	27	3.2	36	0.76
Βέλγιο	4.45	71.55	2	87	79.5	46	3.48	13	0.69
Γαλλία	4	67.4	2	86	85.9	32	2.35	19	0.77
Ελλάδα	4.45	61.6	1	83	49	79	1.5	22	0.67
Ιρλανδία	4.5	76.6	4	89	68.8	24	1.23	13	0.72
Ισπανία	4.65	66.35	2	88	77.5	30	1.41	21	0.75
Ιταλία	3.85	63.5	3	87	67.6	58	1.53	19	0.7
Κροατία	4.5	59.75	3	77	61.9	51	1.25	31	0.71
Λετονία	4	71.8	2	85	57.1	19	0.71	42	0.71
Λουξεμβούργο	4.7	76.75	4	75	87	72	1.13	12	0.7
Ολλανδία	4.65	79.75	1	87	84.6	42	2.29	12	0.69
Πορτογαλία	4.55	66.6	4	89	64.5	39	1.62	34	0.74
Σλοβενία	3.85	69.7	4	88	63.8	37	2.15	25	0.71



### 4.3 Μεθοδολογικό πλαίσιο

Υπάρχει ένα ευρύ πλαίσιο μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης (MCDA) που διατίθενται για την εξυπηρέτηση των σκοπών αυτής της εργασίας ωστόσο ορισμένα μόνο από αυτά ταιριάζουν περισσότερο . Ο Νίκας κ.ά. (2018) παρουσιάζουν μια λεπτομερή ανασκόπηση των υφιστάμενων πλαισίων MCDA [101], επισημαίνοντας τα πιο δημοφιλή μέχρι πρόσφατα, τα οποία βασίζονται σε συγκρίσεις ανά ζεύγη, π.χ. PROMETHEE και ELECTRE, ενώ οι προσεγγίσεις που βασίζονται σε απόσταση, όπως η TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), κερδίζουν περισσότερο έδαφος τελευταία. Στο πλαίσιο αυτό, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική πολυκριτηριακής ανάλυσης TOPSIS [102] ως το βασικό συστατικό αυτού του μεθοδολογικού πλαισίου για τη συγκέντρωση πλήθους ενδιαφερομένων αξιολογήσεις και εξέτασή τους από κοινού προκειμένου να εξαχθεί μια τελική κατάταξη αρκετών χωρών της Ε.Ε όσον αφορά το επίπεδο ετοιμότητάς τους για επενδύσεις αποθήκευσης ενέργειας. Ο κύριος λόγος για τη χρήση της TOPSIS έγκειται στην ικανότητά της να αντιμετωπίζει ένα ευρύ φάσμα ενδιαφερομένων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων υπό ένα πλαίσιο ποσοτικής μοντελοποίησης.

Η TOPSIS ανήκει στην οικογένεια των μεθόδων αντισταθμιστικής συνάθροισης και έχει υποστεί αρκετές επεκτάσεις κατά τη διάρκεια των ετών [103], με την πιο ενδεικτική να εντοπίζεται στην ανάπτυξη της Fuzzy TOPSIS [104] [105] [106] [107] . Παρά τις επεκτάσεις της, η βασική της αρχή έγκειται στο ότι η επιλεγμένη εναλλακτική μεταξύ του αντίστοιχου συνόλου εναλλακτικών που περιλαμβάνει το πρόβλημα MCDA θα πρέπει να έχει τη μικρότερη απόσταση από τη θετική (ιδανική) λύση, και ταυτόχρονα τη μεγαλύτερη απόσταση από την αρνητική λύση (μη ιδανική). Πιο συγκεκριμένα, η TOPSIS αναλύεται σε έξι ξεχωριστά βήματα:

#### 1. Σχεδίαση του πίνακα απόφασης (εναλλακτικές/κριτήρια)

$$\text{Decision Matrix} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \hline A_1 & e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1n} \\ \hline A_2 & e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2n} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline A_m & e_{m1} & e_{m2} & \dots & e_{mn} \\ \hline \end{array}$$

όπου  $A_1, A_2, \dots, A_m$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  είναι οι εναλλακτικές,  $C_1, C_2, \dots, C_n$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , είναι τα κριτήρια και  $e_{ij}$  είναι η επίδοση της εναλλακτικής  $A_i$  έναντι του κριτηρίου  $C_j$ .

## 2. Υπολογισμός του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης

Για τον υπολογισμό του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης  $R$ , κάθε στοιχείο του μπορεί υπολογίζεται ως εξής:

$$r_{ij} = \frac{e_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m e_{ij}^2}}$$

όπου το  $r_{ij}$  αναπαριστά την κανονικοποιημένη επίδοση της εναλλακτικής  $A_i$  έναντι του κριτηρίου  $C_j$ .

## 3. Υπολογισμός του σταθμισμένου κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης

Για τον υπολογισμό του σταθμισμένου κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης  $P$ , ο κανονικοποιημένος πίνακας απόφασης  $R$  πολλαπλασιάζεται με τα επίσης κανονικοποιημένα βάρη των κριτηρίων.

$$P_{ij} = w_{j_{\text{norm}}} \times r_{ij}$$

Όπου  $p_{ij}$  αναπαριστά τη σταθμισμένη κανονικοποιημένη αξία της κάθε εναλλακτικής έναντι του αντίστοιχου κριτηρίου στον πίνακα  $R$ ,

$$w_{j_{\text{norm}}} = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^n W_j}, j = 1, 2, \dots, n, \sum_{j=1}^n w_{j_{\text{norm}}} = 1$$

Το διάνυσμα βαρών  $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$  αποτελείται από τα επιμέρους αρχικά βάρη  $w_j$  για κάθε κριτήριο  $C_j$ .

## 4. Προσδιορισμός διανυσμάτων θετικής ( $P^+$ ) & αρνητικής ( $P^-$ ) ιδεατής λύσης

Για να υπολογιστούν τα διανύσματα που αναπαριστούν την υποθετική θετική ιδεατή λύση  $P^+$  (κριτήρια θετικής επίδρασης) και την υποθετική αρνητική ιδεατή λύση  $P^-$  (κριτήρια αρνητικής επίδρασης):

$$P^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_n^+)$$

$$P^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_n^-)$$

Υπολογίζουμε τις θετικές και αρνητικές ιδεατές λύσεις για κάθε κριτήριο:

$$p_i^+ = \{(\max p_{ij}, j \in J) \text{ or } (\min p_{ij}, j \in J')\}$$

$$p_i^- = \{(\min p_{ij}, j \in J) \text{ or } (\max p_{ij}, j \in J')\}$$

όπου το  $J$  αναπαριστά κριτήρια θετικής επίδρασης (οφέλους) και το  $J'$  κριτήρια αρνητικής επίδρασης (κόστους).

Για περαιτέρω διευκρίνιση, όταν ένα πρόβλημα διαθέτει κριτήρια οφέλους ( $J$ ), η μέγιστη τιμή  $p_{ij}$  αντιπροσωπεύει τη θετική ιδανική λύση, δηλαδή την εναλλακτική που μεγιστοποιεί το όφελος για κάθε κριτήριο, και η ελάχιστη  $p_{ij}$  αντιπροσωπεύει την αρνητική ιδανική λύση, δηλαδή την εναλλακτική που ελαχιστοποιεί το όφελος για τον καθένα κριτήριο. Με παρόμοιο τρόπο, όταν ένα πρόβλημα διαθέτει κριτήρια κόστους ( $J'$ ), το ελάχιστο  $p_{ij}$  αντιπροσωπεύει τη θετική ιδανική λύση, δηλαδή την εναλλακτική που ελαχιστοποιεί το κόστος για κάθε κριτήριο και το μέγιστο  $p_{ij}$  αντιπροσωπεύει την αρνητική ιδανική λύση, δηλαδή την εναλλακτική που μεγιστοποιεί το κόστος για κάθε κριτήριο.

#### 5. Υπολογισμός αποστάσεων

Υπολογίζουμε την απόσταση κάθε εναλλακτικής από την θετική ιδεατή λύση:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^+)^2}$$

και από την αρνητική ιδεατή λύση:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^-)^2}$$

#### 6. Υπολογισμός σχετικής εγγύτητας

Τέλος, υπολογίζουμε την σχετική εγγύτητα  $D_i$  στην θετική ιδεατή λύση για κάθε εναλλακτική  $A_i$ :

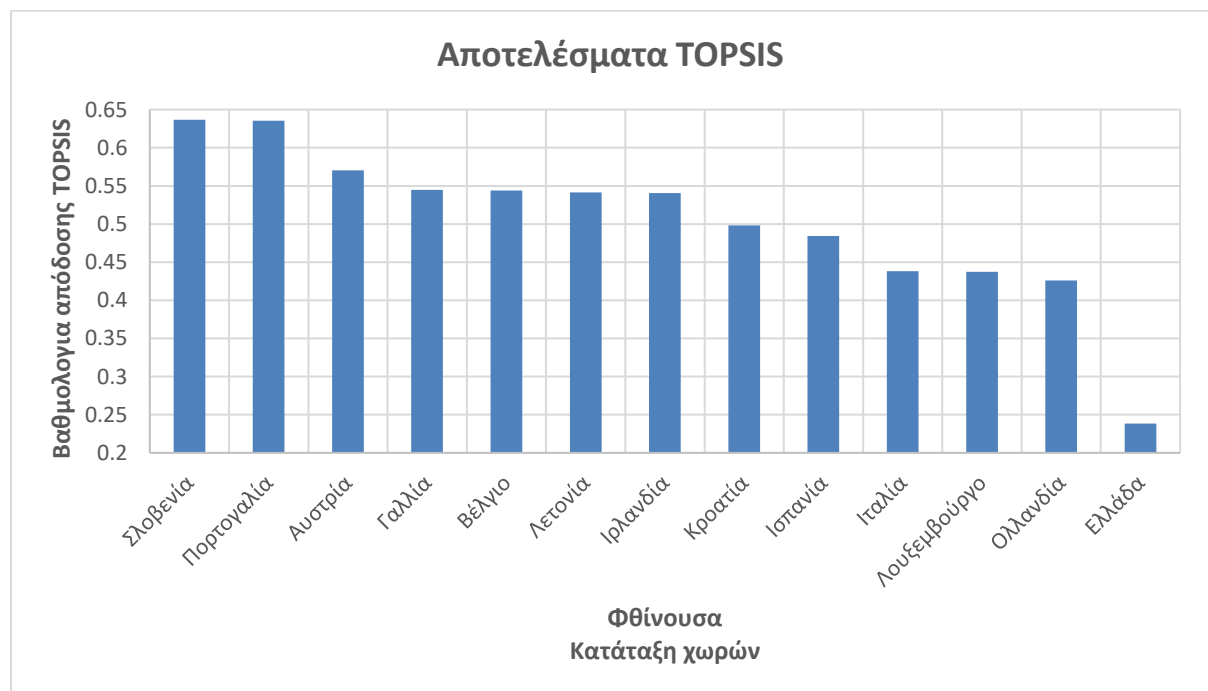
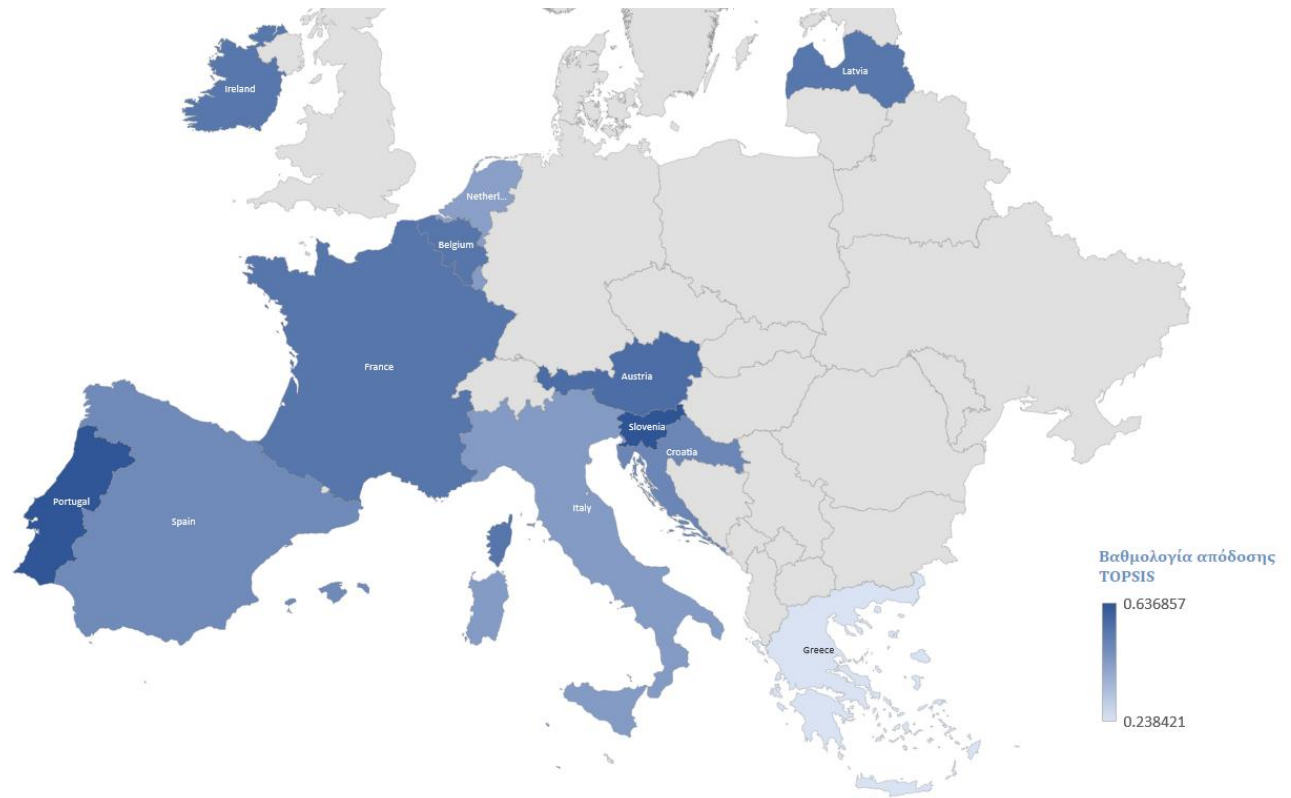
$$D_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

### 4.4 Αποτελέσματα Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Μετά τη συλλογή όλων των σχετικών πληροφοριών, τα δεδομένα τροφοδοτούνται στο πολυκριτηριακό μοντέλο για να παραχθούν ποσοτικά αποτελέσματα, όσον αφορά τον υπολογισμό της τελικής κατάταξης για κάθε χώρα σχετικά με την ετοιμότητά της σε επενδύσεις αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιώντας τη Μέθοδο TOPSIS.

## Αξιολόγηση της Ετοιμότητας Διαφόρων Ευρωπαϊκών Χωρών για Εγκατάσταση Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας

Το Σχήμα 4.1 συνοψίζει και παρουσιάζει γραφικά τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την εφαρμογή της Μεθόδου TOPSIS στις 13 Ευρωπαϊκές χώρες που αναλύονται στα πλαίσια της παρούσας μελέτης.



Σχήμα 4.2: Αποτελέσματα TOPSIS

Αξιολόγηση της Ετοιμότητας Διαφόρων Ευρωπαϊκών Χωρών για Εγκατάσταση Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας

<b>Κατάταξη</b>	<b>Χώρα</b>	<b>Αποτέλεσμα βαθμολογίας TOPSIS</b>
<b>1</b>	<b>Σλοβενία</b>	<b>0.636857</b>
<b>2</b>	<b>Πορτογαλία</b>	<b>0.635447</b>
<b>3</b>	<b>Αυστρία</b>	<b>0.57036</b>
<b>4</b>	<b>Γαλλία</b>	<b>0.544816</b>
<b>5</b>	<b>Βέλγιο</b>	<b>0.543789</b>
<b>6</b>	<b>Λετονία</b>	<b>0.541357</b>
<b>7</b>	<b>Ιρλανδία</b>	<b>0.540705</b>
<b>8</b>	<b>Κροατία</b>	<b>0.498044</b>
<b>9</b>	<b>Ισπανία</b>	<b>0.484429</b>
<b>10</b>	<b>Ιταλία</b>	<b>0.43802</b>
<b>11</b>	<b>Λουξεμβούργο</b>	<b>0.437131</b>
<b>12</b>	<b>Ολλανδία</b>	<b>0.425826</b>
<b>13</b>	<b>Ελλάδα</b>	<b>0.238421</b>

Σύμφωνα με αυτά τα αποτελέσματα, η Σλοβενία θεωρείται ότι διαθέτει τις υψηλότερες δυνατότητες για αποτελεσματικές επενδύσεις σε Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας, με την Πορτογαλία να ακολουθεί αρκετά κοντά.

Αν και ορισμένες χώρες φαίνεται να ξεχωρίζουν ως προς την ετοιμότητα, αξίζει να σημειωθεί ότι η συνολική ετοιμότητα φαίνεται να κυμαίνεται κοντά στο 0.5, χωρίς κάποια χώρα να ξεχωρίζει σημαντικά. Ωστόσο, η Ελλάδα βρίσκεται με μεγάλη διαφορά στην τελευταία θέση της σχετικής κατάταξης.

## **Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα - Συζήτηση**

Ο σκοπός αυτής της εργασίας ήταν να αξιολογηθεί η ετοιμότητα των ευρωπαϊκών χωρών για επενδύσεις σε ενεργειακή αποθήκευση, χρησιμοποιώντας μια πολυκριτηριακή ανάλυση. Με την εξέταση πολλαπλών κριτηρίων, όπως η πολιτική και ρυθμιστική διάρθρωση, οι συνθήκες της αγοράς, οι τεχνολογικές δυνατότητες και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, κατέστη εφικτή η αξιολόγηση του δυναμικού και της προετοιμασίας κάθε χώρας για την υιοθέτηση λύσεων ενεργειακής αποθήκευσης.

Βασιζόμενοι στην ανάλυση αυτή, προέκυψαν αρκετά κύρια ευρήματα. Καταρχάς, είναι εμφανές ότι η πολιτική και η ρυθμιστική διάρθρωση διαδραματίζουν ένα κρίσιμο ρόλο στην προώθηση και την ενθάρρυνση των επενδύσεων σε ενεργειακή αποθήκευση. Οι χώρες με σαφείς και υποστηρικτικές πολιτικές, όπως οι τιμές εγγυημένης αγοράς, φορολογικά κίνητρα και υποστηρικτικούς κανονισμούς, τείνουν να έχουν υψηλότερα επίπεδα ετοιμότητας. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η αποτελεσματικότητα αυτών των πολιτικών μπορεί να ποικίλλει ανάμεσα στις χώρες, και συνεχείς βελτιώσεις και προσαρμογές είναι απαραίτητες για την επιτυχία τους.

Δεύτερον, οι συνθήκες της αγοράς αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την ετοιμότητα μιας χώρας για επενδύσεις σε ενεργειακή αποθήκευση. Παράγοντες όπως τα μοτίβα ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η υποδομή του δικτύου, ο ανταγωνισμός στην αγορά και οι μηχανισμοί τιμολόγησης επηρεάζουν την οικονομική βιωσιμότητα και την ελκυστικότητα των έργων αποθήκευσης ενέργειας. Οι χώρες με δυναμικές και ευέλικτες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και περιορισμούς δικτύου έχουν υψηλότερα επίπεδα ετοιμότητας για επενδύσεις σε ενεργειακή αποθήκευση.

Οι τεχνολογικές δυνατότητες αποτελούν επίσης σημαντικό παράγοντα για την ετοιμότητα μιας χώρας για επενδύσεις σε ενεργειακή αποθήκευση. Χώρες με επιδόσεις στην έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα των ενεργειακών τεχνολογιών, προηγμένες και αποδοτικές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, καθώς και υποστηρικτικές υποδομές και επιχειρηματικό περιβάλλον, εμφανίζουν υψηλότερα επίπεδα ετοιμότητας.

Τέλος, οι περιβαλλοντικοί παράγοντες διαδραματίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στην ετοιμότητα μιας χώρας για επενδύσεις σε ενεργειακή αποθήκευση. Χώρες με στόχους μείωσης εκπομπών, προωθητικές πολιτικές για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και προστασία του περιβάλλοντος εμφανίζουν υψηλότερα επίπεδα ετοιμότητας.

## Αξιολόγηση της Ετοιμότητας Διαφόρων Ευρωπαϊκών Χωρών για Εγκατάσταση Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας

Συνολικά, η πολυκριτηριακή ανάλυση παρείχε μια συνεκτική μεθοδολογία για την αξιολόγηση της ετοιμότητας των ευρωπαϊκών χωρών για επενδύσεις σε ενεργειακή αποθήκευση. Οι ευρηματικές αναλύσεις αποκάλυψαν τη συνολική κατάσταση και τις διαφορές μεταξύ των χωρών, επιτρέποντας την αναγνώριση των πιο ευνοϊκών συνθηκών για επενδύσεις σε ενεργειακή αποθήκευση.

Προκειμένου να επιτευχθεί πρόοδος προς την κατεύθυνση της βιώσιμης και αποδοτικής ενέργειας, πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στη βελτίωση των πολιτικών και ρυθμιστικών πλαισίων, τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών στην αγορά, την υποστήριξη της έρευνας και ανάπτυξης νέων τεχνολογιών και την προστασία του περιβάλλοντος. Απαιτείται επίσης στενή συνεργασία και ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης και βιώσιμης ενεργειακής αποθήκευσης στην Ευρώπη.

## Βιβλιογραφία

- 
- <sup>1</sup> Hybrid Energy Storage Systems for Renewable Energy Sources Integration in Microgrids: A Review
- <sup>2</sup> Journal of Power Technologies 97 (3) (2017) 220-245 A comparative review of electrical energy storage systems for better sustainability
- <sup>3</sup> EASE\_TD\_Mechanical\_PHS.pdf
- <sup>4</sup> <https://www.ctc-n.org/technologies/compressed-air-energy-storage-caes>
- <sup>5</sup> Zhang, Z. , T. Ding, Q. Zhou, Y. Sun, M. Qu, Z. Zeng, Y. Ju, L. Li, K. Wang, F. Chi, “A review of technologies and applications on versatile energy storage systems” Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 148, 2021, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111263>
- <sup>6</sup> X. Luo, J. Wang, M. Dooner, J. Clarke, Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation, Applied Energy 137 (2015) 511–536.
- <sup>7</sup> S. Zunft, C. Jakiel, M. Koller, C. Bullough, Adiabatic compressed air energy storage for the grid integration of wind power, in: Sixth International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power and Transmission Networks for Offshore Windfarms, 26-28 October 2006, Delft, the Netherlands, 2006, pp. 346–351.
- <sup>8</sup> E. M. Helsing, Adiabatic compressed air energy storage, Master’s thesis, NTNU (2015).
- <sup>9</sup> N. Hartmann, O. Vöhringer, C. Kruck, L. Eltrop, Simulation and analysis of different adiabatic compressed air energy storage plant configurations, Applied Energy 93 (2012) 541–548.
- <sup>10</sup> K. Bradbury, Energy storage technology review, Duke University (2010) 1–34
- <sup>11</sup> Y.-M. Kim, J.-H. Lee, S.-J. Kim, D. Favrat, Potential and evolution of compressed air energy storage: energy and exergy analyses, Entropy 14 (8) (2012) 1501–1521
- <sup>12</sup> C. Bullough, C. Gatzen, C. Jakiel, M. Koller, A. Nowi, S. Zunft, Advanced adiabatic compressed air energy storage for the integration of wind energy, in: Proceedings of the European Wind Energy Conference, EWEC, Vol. 22, 2012, p. 25.
- <sup>13</sup> RWE Power AG, , SAdele“UAdiabatic Compressed-Air Energy Storage for Electricity Supply,“T pp. 4U” 5, 2010. (2010).
- <sup>14</sup> D. J. Swider, Compressed air energy storage in an electricity system with significant wind power generation, IEEE transactions on energy conversion 22 (1) (2007) 95–102.
- <sup>15</sup> H. Ibrahim, A. Ilinca, J. Perron, Energy storage systems - characteristics and comparisons, Renewable and sustainable energy reviews 12 (5) (2008) 1221–1250
- <sup>16</sup> <https://www.edn.com/is-it-again-time-for-the-flywheel-based-energy-storage-systems/>
- <sup>17</sup> NS Energy, “Fengning Pumped Storage Power Plant” [Online], <https://www.nsenergybusiness.com/projects/fengning-pumped-storage-power-plant/>



---

<sup>18</sup> Samuel C.Johnson, F.Todd Davidson, Joshua D.Rhodes, Justin L.Coleman, Shannon M.Bragg-Sitton, Eric J.Dufek, Michael E.Webber, Storage and Hybridization of Nuclear Energy, 2019

<sup>19</sup> W. Buckles, W. V. Hassenzahl, Superconducting magnetic energy storage, IEEE Power Engineering Review 20 (5) (2000) 16–20.

<sup>20</sup> F. Rahman, S. Rehman, M. A. Abdul-Majeed, Overview of energy storage systems for storing electricity from renewable energy sources in saudi arabia, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (1) (2012) 274–283.

<sup>21</sup> H. Chen, T. N. Cong, W. Yang, C. Tan, Y. Li, Y. Ding, Progress in electrical energy storage system: A critical review, Progress in Natural Science 19 (3) (2009) 291–312.

<sup>22</sup> Energy storage for electricity generation and related processes: Technologies appraisal and grid scale applications ,Maria C. Argyrou, Paul Christodoulides, Soteris A. Kalogirou

<sup>23</sup> Behnam Zakeri, Sanna Syri, “Electrical energy storage systems: A comparative life cycle cost analysis”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 42, 2015, Pages 569-596, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.011>

<sup>24</sup> M.A. Hannan, M.M. Hoque, A. Mohamed, A. Ayob, “Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 69, 2017, Pages 771-789, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.171>

<sup>25</sup> Dušan Medved', Milan Kvakovský, Vierošlava Sklenárová, LATENT HEAT STORAGE SYSTEMS

<sup>26</sup> “Liquid Air Energy Storage (LAES),” Energy Storage Association. <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/liquid-air-energy-storage-laes/>

<sup>27</sup> S. Kalaiselvam, R. Parameshwaran, in Thermal Energy Storage Technologies for Sustainability, 2014

<sup>28</sup> Fuel Cell & Hydrogen Energy Association, <https://www.fchea.org/fuelcells>

<sup>29</sup> Energy storage solutions for small and medium-sized self-sufficient alternative energy objects , J. Kleperis, V. Fylenko, M. Vanags, P. Lesnicenoks, A. Volkovs, L. Grīnberga, V. Solovey

<sup>30</sup> J., Climaco. Multicriteria Analysis. New York : Springer-Verlag, 1997

<sup>31</sup> X. Δούκας, I. Ψαρράς. ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ. s.l. : ΕΣΑΔ ΕΜΠ.

<sup>32</sup> Neofytou H, Nikas A, Doukas H. Sustainable energy transition readiness: A multicriteria assessment index 2020.

<sup>33</sup> Zubiria, A.; Menéndez, Á.; Grande, H.-J.; Meneses, P.; Fernández, G. Multi-Criteria Decision-Making Problem for Energy Storage Technology Selection for Different Grid Applications. Energies 2022.

<sup>34</sup> Barney A, Petersen U, Polatidis H. Energy scenarios for the Faroe Islands: A MCDA methodology including local social perspectives 2022.

<sup>35</sup> Bouyssou D. Building criteria: a prerequisite for MCDA. In: Readings in multiple criteria decision aid. Berlin, Heidelberg: Springer; 1990. p. 58–80

<sup>36</sup> European Commission , Standard Eurobarometer 98 - Winter 2022-2023 . Available at: <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2872>

<sup>37</sup> World Economic Forum. The global competitiveness report 2018–2019

<sup>38</sup> European Environment Agency. Progress towards 2008-2012 kyoto targets in Europe. EEA technical report, No. 18/2014. Luxemburg: Publications Office of the European Union; 2014.

<sup>39</sup> Bmfwf. Economic report 2016. Federal ministry of science, research & economy. Available at: [http://www.bmfwf.gv.at/Wirtschaftspolitik/Wirtschaftspolitik/Documents/Wirtschaftsbericht\\_2016\\_Englisch\\_WEBversion.ok%20HW9.pdf](http://www.bmfwf.gv.at/Wirtschaftspolitik/Wirtschaftspolitik/Documents/Wirtschaftsbericht_2016_Englisch_WEBversion.ok%20HW9.pdf); 2016. Accessed on 21.09.2018.

<sup>40</sup> Wolkinger B, Mayer J, Tuerk A, Bachner G, Steininger K. Co-designing a lowcarbon transition pathway focusing on energy supply for the iron and steel sector. Narratives of Low-Carbon Transitions (Open Access): understanding Risks and Uncertainties. 2019. p. 25. Feb 21.

<sup>41</sup> [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2019-06/necp\\_factsheet\\_be\\_final\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2019-06/necp_factsheet_be_final_0.pdf)

<sup>42</sup> <https://www.iea.org/reports/belgium-2022/executive-summary>

<sup>43</sup> Badr Eddine Lebrouhi, Éric Schall, Bilal Lamrani, Yassine Chaibi, Tarik Kousksou; Energy Transition in France 2022.

<sup>44</sup> Stephant, M.; Abbes, D.; Hassam-Ouari, K.; Labrunie, A.; Robyns, B. Distributed Optimization of Energy Profiles to Improve Photovoltaic Self-Consumption on a Local Energy Community. Simul. Model. Pract. Theory 2021, 108, 102242.

<sup>45</sup> Hyun Jin Julie, Y.U. System Contributions of Residential Battery Systems: New Perspectives on PV Self-Consumption. Energy Econ. 2021, 96, 105151.

<sup>46</sup> Barone, G.; Buonomano, A.; Forzano, C.; Giuzio, G.F.; Palombo, A. Increasing Self-Consumption of Renewable Energy through the Building to Vehicle to Building Approach Applied to Multiple Users Connected in a Virtual Micro-Grid. Renew. Energy 2020, 159, 1165–1176.

<sup>47</sup> Ministry of Environment and Energy. Greek national plan for climate and energy. 2018.

<sup>48</sup> Nikas A, Gkonis N, Forouli A, Siskos E, Arsenopoulos A, Papapostolou A, Kanellou E, Karakosta C, Doukas H. From near-term actions to long-term pathways—risks and uncertainties associated with the national energy efficiency framework. Narratives of Low-Carbon Transitions 2019 Feb 21:180.

<sup>49</sup> <https://revisedacts.lawreform.ie/eli/2015/act/46/revised/en/html#SEC3>

<sup>50</sup> CLIMATE ACTION PLAN 2023 CAP23 - Changing Ireland for the Better , <https://assets.gov.ie/203546/a183a324-40ed-49c9-b630-bab0fbdd2ce2.pdf>

<sup>51</sup> [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-08/ie\\_final\\_necp\\_main\\_en\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-08/ie_final_necp_main_en_0.pdf)

<sup>52</sup> <https://www.seai.ie/community-energy/ress/>

<sup>53</sup> <https://www.seai.ie/business-and-public-sector/business-grants-and-supports/support-scheme-renewable-heat/>

<sup>54</sup> <https://www.marei.ie/>

<sup>55</sup> <https://selectra.ie/energy/guides/environment/paris-agreement-ireland>

<sup>56</sup> Sorman AH, Pizarro-Irizar C, García-Muros X, Gonzalez-Eguino M, Arto I. On a rollercoaster of regulatory change—risks and uncertainties associated with renewable energy transitions. Narratives of Low-Carbon Transitions 2019 Feb 21: 121.

<sup>57</sup> [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-02/it\\_final\\_necp\\_main\\_en\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-02/it_final_necp_main_en_0.pdf)

<sup>58</sup>

<https://webgate.ec.europa.eu/dashboard/extensions/CountryProfile/CountryProfile.html?Country=IT>

[https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Strategije,%20planovi%20i%20programi/hr%20necp/Integrated%20Nacional%20Energy%20and%20Climate%20Plan%20for%20the%20Republic%20of\\_Croatia.pdf](https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Strategije,%20planovi%20i%20programi/hr%20necp/Integrated%20Nacional%20Energy%20and%20Climate%20Plan%20for%20the%20Republic%20of_Croatia.pdf)

<sup>60</sup> [https://www.mobilnost.hr/cms\\_files/2019/02/1549530136\\_horizon-2020-web.pdf](https://www.mobilnost.hr/cms_files/2019/02/1549530136_horizon-2020-web.pdf)

<sup>61</sup> [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2019-06/necp\\_factsheet\\_lv\\_final\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2019-06/necp_factsheet_lv_final_0.pdf)

<sup>62</sup> Karlis Balputnis, Antans Sauhats, Olegs Linkevics , Potential for energy storage in latvian and lithuanian price area in the nord pool spot

<sup>63</sup> Agris Kamenders, Claudio Rochas, Aleksandra Novikova - Investments in Energy Efficiency and Renewable Energy Projects in Latvia in 2018

<sup>64</sup> LATVIA'S EIGHT NATIONAL COMMUNICATION and FIFTH BIENNIAL REPORT under the United Nations Framework Convention on Climate Change 2022, available at: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/78450136\\_Latvia-NC8-BR5-2-LATVIA\\_NC8\\_BR5\\_Resubmission.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/78450136_Latvia-NC8-BR5-2-LATVIA_NC8_BR5_Resubmission.pdf)

<sup>65</sup> [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-07/lu\\_final\\_necp\\_main\\_en\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-07/lu_final_necp_main_en_0.pdf)

<sup>66</sup> Caymaz S. Dutch coal tax could change but not increase – ministry. Available at: <https://www.icis.com/explore/resources/news/2013/07/03/9684560/dutch-coal-tax-could-change-butnot-increase-ministry/>; 2013.

<sup>67</sup> de Bruyn-Szendrei K, van der Gaast W, Spijker E. Expanding solar PV–risks and uncertainties associated with small-and large-scale options. Narratives of Low-Carbon Transitions 2019 Feb 21:105.

<sup>68</sup> M. Kreijkes Briefing Paper: Looking under the hood of the Dutch energy system CIEP, Available(2017) at: [http://www.clingendaelenergy.com/inc/upload/files/CIEP\\_2017\\_\\_01\\_Looking\\_under\\_the\\_hood\\_of\\_the\\_dutch\\_energy\\_system.pdf](http://www.clingendaelenergy.com/inc/upload/files/CIEP_2017__01_Looking_under_the_hood_of_the_dutch_energy_system.pdf)

<sup>69</sup> CBS. (2019a, March 11). 2018: Eerste handelstekort in aardgas [First trade shortage in natural gas]. Retrieved 03.07.2019, from <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/11/2018-eerste-handelstekort-in-aardgas>

<sup>70</sup> Rijksoverheid. (2018a, July 10). Kabinet: Einde aan gaswinning in Groningen. Retrieved 03.07.2019, from <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/gaswinning-in-groningen/nieuws/2018/03/29/kabinet-einde-aan-gaswinning-in-groningen>

<sup>71</sup> District Court of The Hague. (2018, October 09). State must achieve higher reduction in greenhouse gas emissions in short term. Retrieved 29.03.2020, from <https://www.rechtspraak.nl/Organisatie-en-contact/Organisatie/Gerechtshoven/Gerechtshof-Den-Haag/Nieuws/Paginas/State-must-achieve-higher-reduction-in-greenhouse-gas-emissions-in-short-term.aspx>

<sup>72</sup> CBS (2018a) Natural gas balance sheet; supply and consumption. Retrieved 23.09.18. Available at: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLenandPA=00372ENGandD1=aandD2=528,545,562,579,596,613,630,647andLA=ENandHDR=G1andSTB=TandVW=T>

<sup>73</sup> <https://publications.tno.nl/publication/34625382/IkMSR6/TNO-2017-exporteur.pdf>

<sup>74</sup> Isa Beauchampet, Bríd Walsh, Energy citizenship in the Netherlands: The complexities of public engagement in a large-scale energy transition

<sup>75</sup> [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-06/pt\\_final\\_necp\\_main\\_en\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-06/pt_final_necp_main_en_0.pdf)

<sup>76</sup> <https://floene.pt/en/ppcc/>

<sup>77</sup> <https://www.pnaee.pt/>

<sup>78</sup> [https://www.ren.pt/en-GB/sustentabilidade\\_old/a\\_idi\\_na\\_ren](https://www.ren.pt/en-GB/sustentabilidade_old/a_idi_na_ren)

<sup>79</sup>

[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip\\_22\\_7718/IP\\_22\\_7718\\_EN.pdf](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip_22_7718/IP_22_7718_EN.pdf)

- 
- <sup>80</sup>[https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
- <sup>81</sup>[https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en)
- <sup>82</sup> <https://ec.europa.eu/inea/en/connecting-europe-facility>
- <sup>83</sup><https://cinea.ec.europa.eu/system/files/2022-06/CEF%20Implementation%20Brochure%20-%20June%202022.pdf>
- <sup>84</sup>[https://commission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/european-regional-development-fund-erdf\\_en](https://commission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/european-regional-development-fund-erdf_en)
- <sup>85</sup>[https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-battery-alliance\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-battery-alliance_en)
- <sup>86</sup> [https://rise.esmap.org/data/files/reports/rise\\_2022\\_country\\_profiles.pdf](https://rise.esmap.org/data/files/reports/rise_2022_country_profiles.pdf)
- <sup>87</sup> <https://www.rescoop.eu/policy/latvia-rec-cec-definitions>
- <sup>88</sup> Anastasija Timoseva , Renewable energy policy: a comparative case study of Latvia and Sweden , 2019
- <sup>89</sup> <http://www.res-legal.eu/search-by-country/latvia/>
- <sup>90</sup> <https://www.enercee.net/countries/latvia/support-schemes>
- <sup>91</sup> Integration of electricity from renewables to the electricity grid and to the electricity market – RES INTEGRATION
- <sup>92</sup> <https://www.ast.lv/en/content/guarantees-origin>
- <sup>93</sup> <https://epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2019/06/CA-EPBD-IV-Latvia-2018.pdf>
- <sup>94</sup> <https://faolex.fao.org/docs/pdf/lat172847.pdf>
- <sup>95</sup>[https://iea.blob.core.windows.net/assets/8875d562-756c-414c-bc7e-5fc115b1a38c/Luxembourg\\_2020\\_Energy\\_Policy\\_Review.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/8875d562-756c-414c-bc7e-5fc115b1a38c/Luxembourg_2020_Energy_Policy_Review.pdf)
- <sup>96</sup> [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf)
- <sup>97</sup> Doing Business 2020, available at: [Doing Business 2020 \(worldbank.org\)](http://www.worldbank.org/doingbusiness)
- <sup>98</sup> Research and development expenditure - Country rankings  
[https://www.theglobaleconomy.com/rankings/Research\\_and\\_development/](https://www.theglobaleconomy.com/rankings/Research_and_development/)
- <sup>99</sup> Share of renewable energy more than doubled between 2004 and 2021, available at: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics#Share\\_of\\_renewable\\_energy\\_more\\_than\\_doubled\\_between\\_2004\\_and\\_2021](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_more_than_doubled_between_2004_and_2021)
- <sup>100</sup><https://www.weforum.org/reports/global-energy-architecture-performance-index-2017/>
- <sup>101</sup> Nikas, A.; Doukas, H.; Martinez, L. A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. *Heliyon* 2018, 4, e00588.
- <sup>102</sup> Yoon, K.; Hwang, C.-L. Multiple attribute decision making. *Mult. Attrib. Decis. Mak.* 1995, 104
- <sup>103</sup> Chen, C.-T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets Syst.* 2000, 114, 1–9.
- <sup>104</sup> Chen, T.-Y.; Tsao, C.-Y. The interval-valued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis. *Fuzzy Sets Syst.* 2008, 159, 1410–1428.
- <sup>105</sup> Chen, S.-M.; Lee, L.-W. Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method. *Expert Syst. Appl.* 2010, 37, 2790–2798.
- <sup>106</sup> Papapostolou, A.; Karakosta, C.; Apostolidis, G.; Doukas, H. An AHP-SWOT-Fuzzy TOPSIS approach for achieving a cross-border RES cooperation. *Sustainability* 2020, 12, 2886.
- <sup>107</sup> Papapostolou, A.; Karakosta, C.; Doukas, H. Analysis of policy scenarios for achieving renewable energy sources targets: A fuzzy TOPSIS approach. *Energy Environ.* 2016, 28, 88–109.