



ΔΗΜΟΣ
ΑΓΙΩΝ ΑΝΑΡΓΥΡΩΝ
ΚΑΜΑΤΕΡΟΥ

2.1.10: 4ος Θεματικός Οδηγός Αξιοποίησής Αποτελεσμάτων – Υδρογόνο

Έργα Α.Π.Ε. και Ενεργειακή Αναβάθμιση σε δημοτικά κτίρια της Δ.Κ. Αγ. Αναργύρων»

*Ημερομηνία υποβολής: Φεβρουάριος 2024,
1^η έκδοση*

Περιεχόμενα

Ενότητα 0: Εισαγωγή	6
Ενότητα 1: Η Οικονομία του Υδρογόνου	8
1.1 Βέλτιστος συνδυασμός ΑΠΕ και Ηλεκτρολυτών	8
1.2 Χάρτες Ισοσταθμισμένου Κόστους Υδρογόνου και δυναμικό	17
Ενότητα 2: Κοινωνικό – Οικονομική Επίδραση του Υδρογόνου στην Ελλάδα	24
2.1 Εισαγωγή	24
2.2 Ευκαιρίες για την ανάπτυξη του υδρογόνου στην Ελλάδα	26
2.3 Ρυθμιστικό πλαίσιο για το υδρογόνο	30
2.4 Σχέδια υποδομών	31
2.5 Σημαντικά έργα Κοινού Ευρωπαϊκού Ενδιαφέροντος για το Υδρογόνο (Hydrogen IPCEI)	32
2.6 Μελλοντικές Προοπτικές	33
Ενότητα 3: Ανάλυση της Σχέσης Κοινωνίας - Υδρογόνο	34
3.1. Τάσεις στις μεταφορές - Αυτοκίνητα που κινούνται με ενέργεια από υδρογόνο	34
3.2 Κοινωνική ευαισθητοποίηση και υπευθυνότητα	35
3.3 Μέθοδοι της έρευνας	37
3.4 Αποτελέσματα της έρευνας	38
Ενότητα 4: Ενέργεια και Υδρογόνο στις Δότριες Χώρες	44
4.1 Ανασκόπηση Ενεργειακής Μετάβασης στην Βόρεια Θάλασσα	44
4.2. Συνεργασίες στην Νορβηγία για το Υδρογόνο	48
4.2.1 Δίκτυο Περιφερειών	49
4.2.2 Σκανδιναβική Συνεργασία για το Υδρογόνο	51
Ενότητα 5: Οικονομικές Προοπτικές του Υδρογόνου στην περιοχή Μέσης Ανατολής και Βόρειας Αφρικής	53
5.1 Κατάσταση του Υδρογόνου στην περιοχή Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής	53
5.2 Σχεδιαζόμενη ισχύς	55
5.3 Διασυνδέσεις και ο ρόλος τους στις εξαγωγές προς την ΕΕ	55
5.4 Κοινωνικοοικονομικός αντίκτυπος των έργων υδρογόνου στην περιοχή Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής	56
Ενότητα 6: Το καύσιμο του μέλλοντος: Σχέδιο για μια Μεσογειακή Αγορά Καθαρού Υδρογόνου	59
6.1 Εισαγωγή	59
6.2 Η προετοιμασία της παγκόσμιας κοινότητας υδρογόνου	60
6.3 Η Οικονομία του υδρογόνου απαιτεί παγκόσμια διακυβέρνηση	61
6.4 Ευρώπη και Βόρεια Αφρική ως πρωτοπόροι της παγκόσμιας διακυβέρνησης	61

6.5 Η ισχύς της ερήμου	62
6.6 Παραγωγή καθαρού υδρογόνου με τη Μεσογειακή Σύμπραξη για το Πράσινο Υδρογόνο (ΜΣΠΥ)	63
6.7 Εμπορία υδρογόνου στη Μεσογειακή Σύμπραξη για το Πράσινο Υδρογόνο.....	64
6.8 Μεταφορά και παράδοση καθαρού υδρογόνου	65
6.9 Θεσμοί διακυβέρνησης εντός της Μεσογειακής Σύμπραξης για το Πράσινο Υδρογόνο	65
6.10 Συμπέρασμα	67

Ενότητα 0: Εισαγωγή

Η Πράξη του Δήμου Αγίων Αναργύρων - Καματερού (Δ.ΑΓ.ΑΝ.Κ.) με τίτλο «Έργα Α.Π.Ε. και Ενεργειακή Αναβάθμιση σε δημοτικά κτίρια της Δ.Κ. Αγ. Αναργύρων» υλοποιείται στο πλαίσιο του Προγράμματος ΧΜ ΕΟΧ 2014-2021 «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Ενεργειακή Αποδοτικότητα, Ενεργειακή Ασφάλεια» / GR-Energy και συγχρηματοδοτείται από τις χώρες του ΕΟΧ-ΕΖΕΣ (Ισλανδία, Λιχτενστάιν και Νορβηγία) (75%) και από το Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων της Ελληνικής Δημοκρατίας (25%).

Το παρόν παραδοτέο έχει τίτλο «**Π.2.1.10: 4ος Θεματικός Οδηγός Αξιοποίησής Αποτελεσμάτων – Υδρογόνο**» και εντάσσεται στο πλαίσιο της υλοποίησης του υποέργου 3 με τίτλο: «Παροχή Εξειδικευμένων Υπηρεσιών Υποστήριξης για την αποδοτική υλοποίηση της Πράξης». Ο Δήμος Αγίων Αναργύρων στο πλαίσιο της παρούσας σύμβασης υποστηρίζεται στην υλοποίηση του φυσικού και οικονομικού αντικειμένου της Πράξης

Το παρόν παραδοτέο εντάσσεται στην Ενότητα Εργασίας 2.

Στην υποστήριξη είναι η παροχή ολοκληρωμένων υπηρεσιών στον Φορέα Υλοποίησής για να ανταποκριθεί με το καλύτερο δυνατό τρόπο στις ανάγκες για αποτελεσματική κεφαλαιοποίηση και μεγιστοποίησή των εξαγομένων αποτελεσμάτων της Πράξης.

Η δραστηριότητα αφορά σε:

Η Ομάδα του Συμβούλου παρέχει συνεχή υποστήριξη ώστε ο Φορέας Υλοποίησης να ανταποκρίνεται με το καλύτερο δυνατό τρόπο στις ανάγκες διαχείρισης της Πράξης του.

Οι υπηρεσίες που θα προσφέρονται συνοψίζονται:

- Εξειδικευμένο πλάνο κεφαλαιοποίησης των αποτελεσμάτων της Πράξης με βάση τις ανάγκες και τα χαρακτηριστικά του Φορέα Υλοποίησης.
- Συλλογές πληροφοριών για την επιλογή και τεκμηρίωση των ομάδων στόχου της Φορέα Υλοποίησης.
- Ανάπτυξη κατάλληλων επιστημονικών εγχειρίδιων κεφαλαιοποίησης για κάθε βασική ομάδα στόχου του Φορέα Υλοποίησης (Νέοι και Ενεργοί Πολίτες, Εξειδικευμένοι Επαγγελματίες, Γυναίκες, ΑμΕΑ).
- Διαμόρφωση περιεχομένου θεματικών επιστημονικών οδηγιών για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων με στόχο την ενδυνάμωση του Φορέα Υλοποίησης (Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιριακών Υποδομών, Χρήση ΑΠΕ για τις Υποδομές, Ηλεκτροκίνηση με ΑΠΕ, Υδρογόνο).
- Υποστήριξη για την κεφαλαιοποίηση των αποτελεσμάτων και την σύνδεση τους με έξυπνη χρηματοδότηση.
- Υποστήριξη στην διεξαγωγή συναντήσεων με τις εμπλεκόμενες υπηρεσίες του Προγράμματος για την κεφαλαιοποίηση των αποτελεσμάτων της Πράξης.

Ενότητα 1: Η Οικονομία του Υδρογόνου

1.1 Βέλτιστος συνδυασμός ΑΠΕ και Ηλεκτρολυτών

Το Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου εξαρτάται από την ετήσια παραγωγή και το κόστος του συστήματος παραγωγής υδρογόνου, τα οποία με τη σειρά τους είναι συνάρτηση του μεγέθους των επιμέρους συνιστωσών του εν λόγω συστήματος. Οι ρυθμίσεις μιας τεχνολογίας συνδυάζουν την τεχνολογία παραγωγής με έναν ηλεκτρολύτη, ενώ τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν έναν ηλεκτρολύτη με δύο τεχνολογίες παραγωγής (φωτοβολταϊκά και χερσαία αιολικά). Σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχει ένας βέλτιστος συνδυασμός μεταξύ της ισχύος των στοιχείων που αποδίδει τη μέγιστη παραγωγή υδρογόνου με το ελάχιστο κόστος. Αυτή η βέλτιστη ρύθμιση του συστήματος εξαρτάται από τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες και το τοπικό κόστος και τους κινδύνους των επενδύσεων (που αντιπροσωπεύονται από τα Μέσο Σταθμικό Κόστος Κεφαλαίου). Γενικά, για δεδομένη ισχύ της τεχνολογίας παραγωγής, η αύξηση της ισχύος του ηλεκτρολύτη αυξάνει την οριακή απόδοση υδρογόνου με ρυθμό υψηλότερο από το οριακό κόστος του συστήματος. Η βέλτιστη ισχύς του ηλεκτρολύτη είναι εκείνη στην οποία κάθε περαιτέρω αύξηση της ισχύος προκαλεί μικρότερη αύξηση της παραγωγής υδρογόνου σε σύγκριση με εκείνη του κόστους του συστήματος. Στην πράξη, ένας υπερμεγέθης ηλεκτρολύτης για έναν δεδομένο τοπικό πόρο θα βρεθεί σε αδράνεια για το μεγαλύτερο μέρος του έτους, παραμένοντας μη παραγωγικός.

Εφαρμόστηκε ένας πρόσθετος χαρακτηρισμός της ποιότητας των πόρων προσδιορίζοντας τις κατανομές του συντελεστή ισχύος που είναι χαρακτηριστικές για κάθε περιοχή. Μετά την εφαρμογή των κριτηρίων αποκλεισμού γης, τα εν λόγω προφίλ προσδιορίζονται με την ανάθεση των χωρικά κατανεμημένων πόρων σε μια κατηγορία ποιότητας, με βάση τον ετήσιο συντελεστή ισχύος που παράγεται από τον εν λόγω πόρο. Ο πόρος με την καλύτερη απόδοση κατατάσσεται στην κατηγορία 1 και ο χειρότερος στην κατηγορία 5. Στη συνέχεια, τα προφίλ σε κάθε κατηγορία υπολογίζονται κατά μέσο όρο για την παραγωγή ενός χαρακτηριστικού ωριαίου προφίλ για την κατηγορία της συγκεκριμένης περιοχής. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα όρια της κατηγορίας ποιότητας των πόρων για τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά.

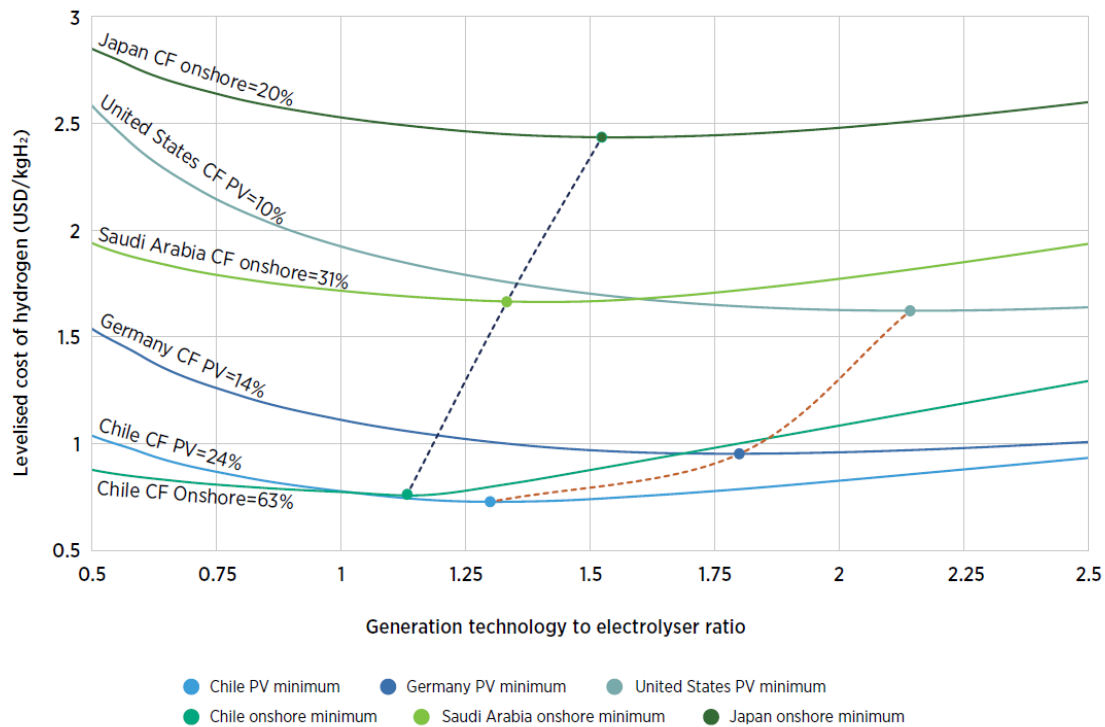
Πίνακας 1: Ταξινόμηση της ποιότητας των πόρων για κάθε τεχνολογία Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (IRENA, 2022)

Κατηγορία	Φ/Β	Χερσαία/υπεράκτια αιολικά
	Ετήσιος Συντελεστής Ισχύος (%)	
1	$CF > 20$	$CF > 60$
2	$17 < CF \leq 20$	$45 < CF \leq 60$
3	$14 < CF \leq 17$	$30 < CF \leq 45$
4	$11 < CF \leq 14$	$15 < CF \leq 30$
5	$0 < CF \leq 11$	$0 < CF \leq 15$

Σημειώσεις: CF = συντελεστής ισχύος. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τον ετήσιο συντελεστή ισχύος (λόγος μεταξύ της λειτουργίας υπό πλήρες φορτίο ωρών και των συνολικών ωρών ενός έτους).

Κάθε κατηγορία ποιότητας πόρων και το χαρακτηριστικό της προφίλ συνδέονται με μια δυνητική εγκατεστημένη ισχύς τεχνολογίας παραγωγής. Τα χαρακτηριστικά προφίλ του συντελεστή ισχύος είναι αντιπροσωπευτικά για τις επιμέρους περιοχές και επιτρέπουν την εισαγωγή μιας γενίκευσης σε επίπεδο περιοχής σχετικά με τις βέλτιστες ρυθμίσεις συστημάτων παραγωγής πράσινου υδρογόνου. Όσον αφορά τα συστήματα μίας τεχνολογίας, ο λόγος μεταξύ της ισχύος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της ισχύος του ηλεκτρολύτη που εξασφαλίζει ελάχιστο Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου θα τείνει προς τη μονάδα, εάν ο πόρος επιτρέπει την επίτευξη υψηλών ετήσιων συντελεστών ισχύος. Αυτό φαίνεται στην άμεση σύγκριση μεταξύ δύο συστημάτων μιας τεχνολογίας που χρησιμοποιούν πόρους διαφορετικής ποιότητας. Πρώτον, στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι διαφορετικοί βέλτιστοι λόγοι φωτοβολταϊκών προς ηλεκτρολύτη για συστήματα που επωφελούνται από τον ηλιακό πόρο υψηλότερης ποιότητας στη Χιλή (κατηγορία 1 φωτοβολταϊκών) και τον ηλιακό πόρο υψηλότερης ποιότητας που υπάρχει στη Γερμανία (κατηγορία 3 φωτοβολταϊκών). Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ετήσιος συντελεστής ισχύος που λαμβάνεται από τον πόρο είναι 24% για τη Χιλή και 14% για τη Γερμανία (επίσης φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα), οι βέλτιστοι λόγοι ΦΒ-ηλεκτρολύτη είναι 1,3 για τη Χιλή και 1,8 για τη Γερμανία. Βάσει της παραδοχής ενός αισιόδοξου σεναρίου για το 2050, οι ελάχιστες τιμές Ισοσταθμισμένου Κόστους Υδρογόνου που προκύπτουν είναι 0,73 USD/kgH₂ (Χιλή) και 0,95 USD/kgH₂ (Γερμανία) για συστήματα ηλεκτρολύτη με τροφοδοσία από φωτοβολταϊκά. Με ακόμη λιγότερο αποδοτικό πόρο, η βέλτιστη φωτοβολταϊκή ισχύς μπορεί ακόμα και να καταλήξει να είναι διπλάσια από εκείνη του ηλεκτρολύτη. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας τις παραδοχές κόστους για τις Ηνωμένες Πολιτείες για το αισιόδοξο σενάριο του 2050 και έναν φωτοβολταϊκό πόρο με ετήσιο συντελεστή ισχύος 10%, ο λόγος μεταξύ της τεχνολογίας παραγωγής και του ηλεκτρολύτη αυξάνεται σε 2,14, αποδίδοντας Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου 1,62 USD/kgH₂, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα. (IRENA, 2022)

Διάγραμμα 1: Σύγκριση μεταξύ του Ισοσταθμισμένου Κόστους Υδρογόνου που παράγεται από ηλιακή και αιολική ενέργεια ως συνάρτηση του ετήσιου συντελεστή ισχύος και του βέλτιστου λόγου (IRENA, 2022)



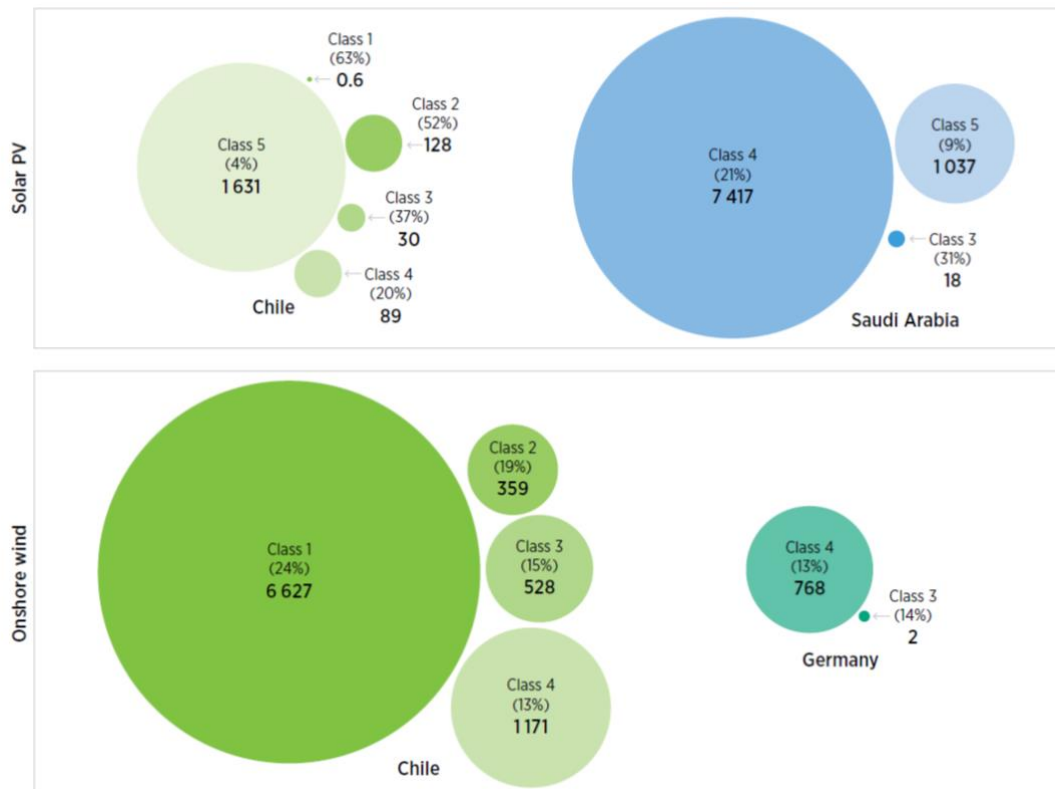
Σημειώσεις: Επισημαίνεται ο αντίκτυπος της ποιότητας των πόρων στον βέλτιστο λόγο τεχνολογία παραγωγής προς ισχύ ηλεκτρολύτη και στο Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου, οι οποίες αναφέρονται ως διακριτά σημεία. Γενικά, οι βέλτιστοι λόγοι είναι συνάρτηση του συντελεστή ισχύος, με πόρους υψηλότερης ποιότητας που εξασφαλίζουν χαμηλότερους λόγους. Οι καμπύλες για τη Χιλή, τη Γερμανία και τη Σαουδική Αραβία δημιουργήθηκαν μέσω του καλύτερου χαρακτηριστικού πόρου τους. Από την άλλη πλευρά, οι καμπύλες για τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία είναι αντιπροσωπευτικές της επίδρασης των πόρων χαμηλής ποιότητας στο Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου και τον βέλτιστο λόγο.

Παρόμοια σύγκριση παρουσιάζεται μεταξύ του υδρογόνου που παράγεται από τον άνεμο στη Χιλή και στη Σαουδική Αραβία. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε ο καλύτερος διαθέσιμος πόρος τους, παρουσιάζοντας ετήσιους συντελεστές ισχύος 63% (κατηγορία 1 χερσαία αιολικά) για τη Χιλή και 31% (κατηγορία 3 χερσαία αιολικά) για τη Σαουδική Αραβία αντίστοιχα (βλ. παραπάνω Σχήμα). Οι βέλτιστοι λόγοι μεταξύ της ισχύος αιολικής ενέργειας και ηλεκτρολύτη είναι 1,13 για τη Χιλή και 1,3 για τη Σαουδική Αραβία. Υποθέτοντας και πάλι ένα αισιόδοξο σενάριο για το 2050, τα Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου είναι 0,76 USD/kgH₂ για τη Χιλή και 1,66 USD/kgH₂ για τη Σαουδική Αραβία. Ο βέλτιστος λόγος αυξάνεται περαιτέρω αν ο ετήσιος συντελεστής ισχύος μειωθεί. Σύμφωνα με τις παραδοχές κόστους του αισιόδοξου σεναρίου για το 2050 για την Ιαπωνία και ετήσιο συντελεστή ισχύος 20%, το αποτέλεσμα είναι Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου 2,43 USD/kgH₂, με αναλογία 1,52.

Συγκρίνοντας τις δυσμενείς περιπτώσεις φωτοβολταϊκών και αιολικών (Γερμανία και Σαουδική Αραβία), μπορεί να παρατηρηθεί πώς ο βέλτιστος λόγος είναι υψηλότερος για τα φωτοβολταϊκά και αυτό οφείλεται στον χαμηλότερο συντελεστή ισχύος των φωτοβολταϊκών στη Γερμανία. Ωστόσο, δεδομένου του πολύ χαμηλότερου επενδυτικού κόστους της τεχνολογίας ΦΒ, το Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου που παράγεται στη Γερμανία από ΦΒ είναι πολύ πιο ανταγωνιστικό. Το παρακάτω Σχήμα δείχνει πώς η πλειονότητα των χερσαίων αιολικών της Χιλής ανήκει στην κατηγορία

τεχνολογίας με τις χειρότερες επιδόσεις, η οποία έχει ετήσιο συντελεστή ισχύος μόνο 4% και δεν είναι επικερδής. Από την άλλη πλευρά, το μεγάλο χερσαίο αιολικό δυναμικό της Σαουδικής Αραβίας κατανέμεται κυρίως στην κατηγορία με τις καλύτερες επιδόσεις (κατηγορία 4). Αναφορικά με το παρακάτω Σχήμα, η Χιλή μπορεί να επωφεληθεί σε μεγάλο βαθμό από το υψηλής ποιότητας φωτοβολταϊκό δυναμικό της (κατηγορία 1 Φ/Β), ενώ η καλύτερης ποιότητας τεχνολογία της Γερμανίας (κατηγορία 3) έχει μικρό δυναμικό ισχύος. Η πλειονότητα της φωτοβολταϊκής ισχύος κατανέμεται στην κατηγορία 4.

Διάγραμμα 2: Διαφορά του χερσαίου αιολικού δυναμικού ανάλογα με την ποιότητα των πόρων στη Χιλή, τη Γερμανία και τη Σαουδική Αραβία (σε GW) (IRENA, 2022)



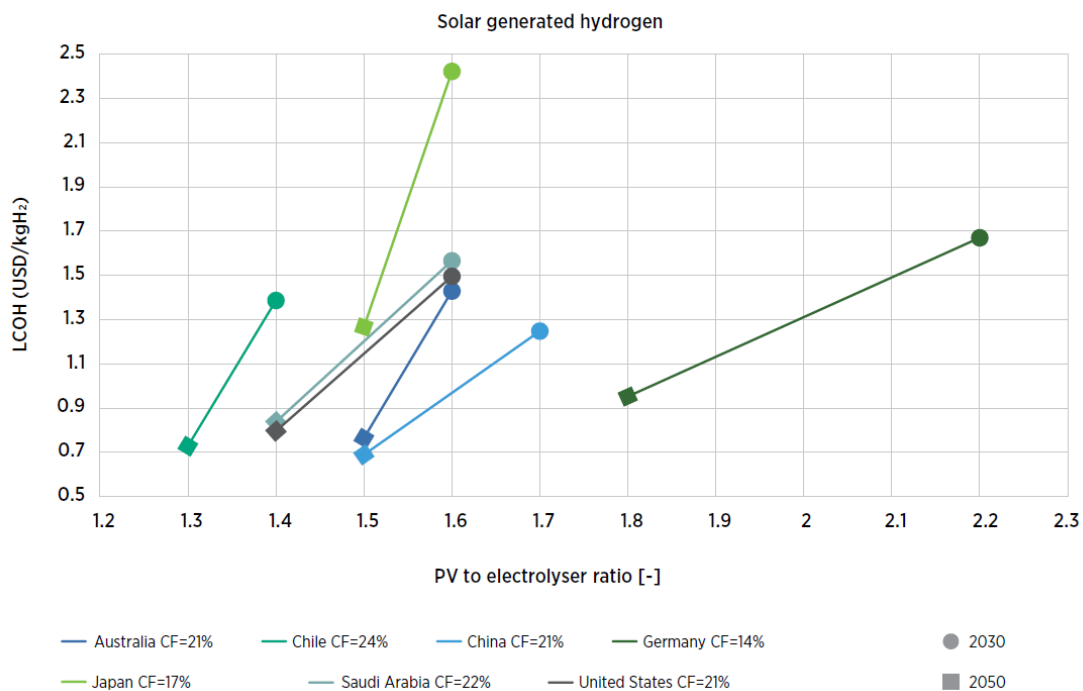
Σημειώσεις: Σε αυτά τα στοιχεία απεικονίζονται οι δυνατότητες σε GW των δυνητικά εγκαταστάσιμων φωτοβολταϊκών και χερσαίων αιολικών συστημάτων κοινής ωφέλειας που βρίσκονται στις αντίστοιχες κατηγορίες ποιότητας πόρων, οι οποίες ορίζονται από τον ετήσιο συντελεστή ισχύος (αναφέρεται ως ποσοστό σε παρένθεση). Τα δυναμικά προσδιορίζονται με την εφαρμογή της πυκνότητας ισχύος των τεχνολογιών στην επιλέξιμη περιοχή. Κάθε κατηγορία χαρακτηρίζεται από έναν μέσο ετήσιο συντελεστή ισχύος. Τα ανώτερα και κατώτερα όρια της κατηγορίας είναι αυτά που καθορίζονται στον παραπάνω πίνακα.

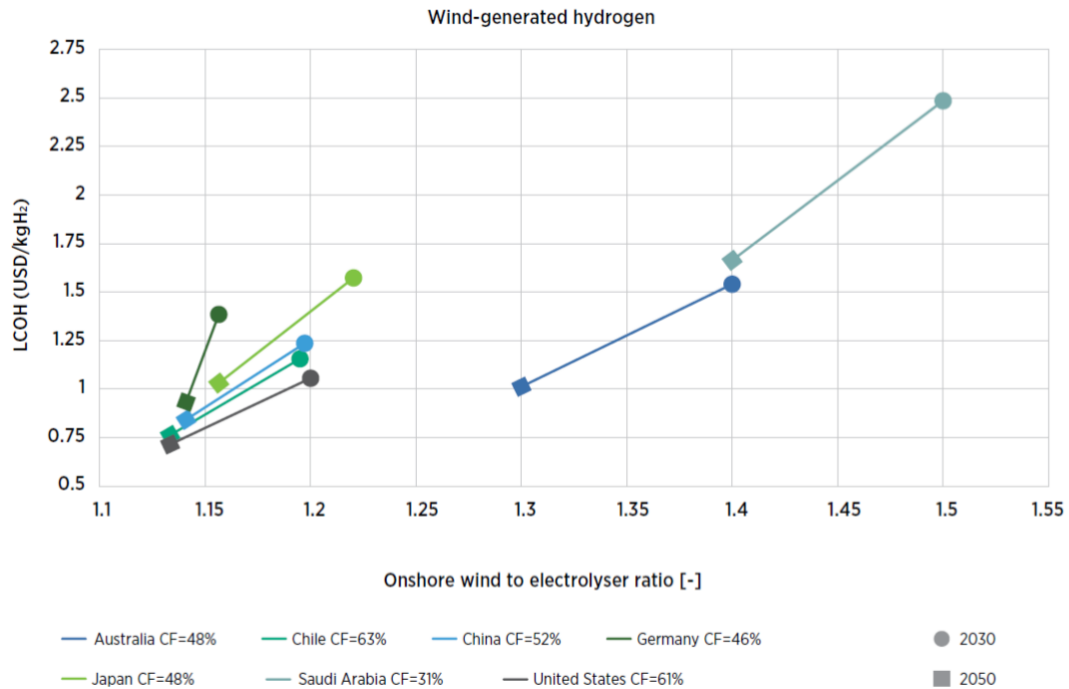
Μπορεί να διαπιστωθεί πώς, στη Χιλή, οι καλύτεροι πόροι των φωτοβολταϊκών και των χερσαίων αιολικών αποδίδουν συγκρίσιμα Ισοσταθμισμένα Κόστη Υδρογόνου, αν και οι ετήσιοι συντελεστές ισχύος διαφέρουν σημαντικά (24% των φωτοβολταϊκών έναντι 63% των χερσαίων αιολικών). Αυτό οφείλεται στη διαφορά στο επενδυτικό κόστος των δύο τεχνολογιών παραγωγής: 312 USD/kW για τα φωτοβολταϊκά και 864 USD/kW για τα χερσαία αιολικά. Οι λόγοι μεταξύ της τεχνολογίας παραγωγής και του ηλεκτρολύτη είναι χαμηλότεροι στην περίπτωση των χερσαίων αιολικών, επομένως το

ελάχιστο Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου εξασφαλίζεται με ηλεκτρολύτη μικρότερης ισχύος, σε σύγκριση με την περίπτωση του φωτοβολταϊκού.

Οι βέλτιστοι λόγοι μεταξύ των τεχνολογιών παραγωγής και της ισχύος του ηλεκτρολύτη εξαρτώνται επίσης από τις οικονομικές παραδοχές του μοντέλου. Θεωρώντας συστήματα μιας τεχνολογίας που λειτουργούν με τους ίδιους ετήσιους συντελεστές ισχύος, η μείωση του κόστους του συστήματος θα προκαλέσει μείωση και του βέλτιστου λόγου. Στο παρακάτω Σχήμα, η διαδικασία επισημαίνεται για τα φωτοβολταϊκά και τα χερσαία αιολικά συστήματα παραγωγής υδρογόνου. Η ποιότητα των πόρων που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των βέλτιστων λόγων είναι η καλύτερη απόδοση κάθε χώρας και χρησιμοποιείται και για τους δύο χρονικούς ορίζοντες.

Διάγραμμα 3: Σχέση μεταξύ Ισοσταθμισμένου Κόστους Υδρογόνου και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ισχύ του ηλεκτρολύτη σε συνάρτηση του συντελεστή ισχύος για το 2030 και το 2050 (IRENA, 2022)

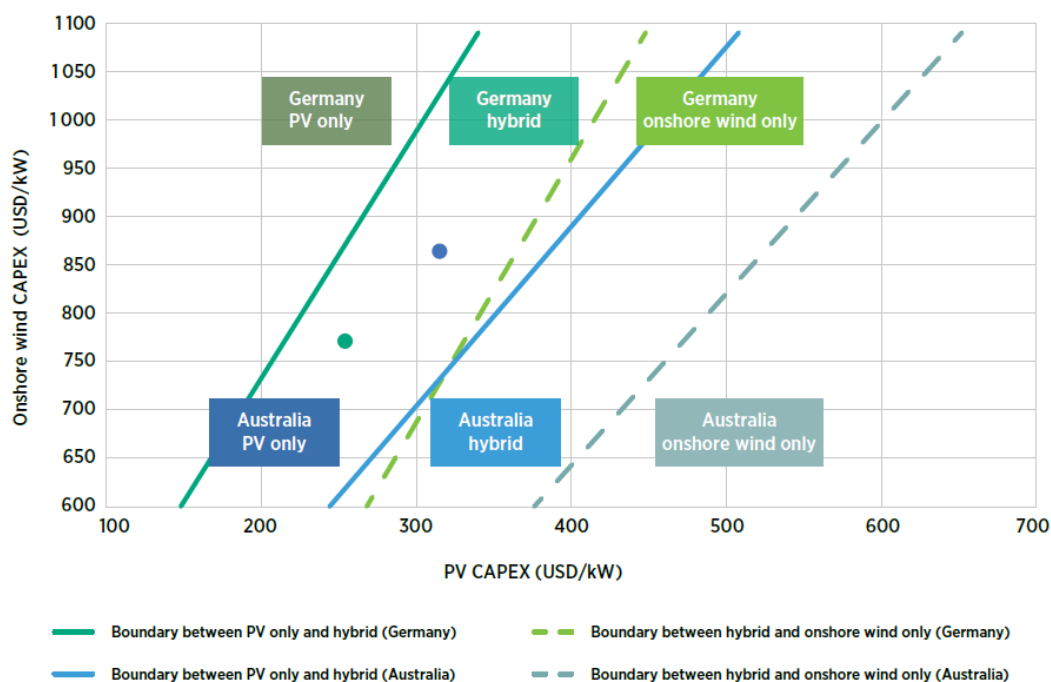




Σημειώσεις: Οι συντελεστές ισχύος που χρησιμοποιούνται για τα φωτοβολταϊκά και τα χερσαία αιολικά είναι οι ίδιοι για το 2030 και το 2050. Η αλλαγή των παραδοχών για το επενδυτικό κόστος (στο αισιόδοξο σενάριο) τόσο για τις τεχνολογίες παραγωγής όσο και για τον ηλεκτρολύτη (καθώς και για την απόδοση) προκαλεί τη μετατόπιση των βέλτιστων λόγων.

Η αξιολόγηση της καταλληλότητας της γης μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να συμπίπτει τόσο για τα φωτοβολταϊκά όσο και για τα χερσαία αιολικά, δίνοντας ενδεχομένως τη δυνατότητα για υβριδικά συστήματα παραγωγής υδρογόνου. Οι βέλτιστοι λόγοι μεταξύ των ισχύων των τριών συνιστωσών του συστήματος είναι εκείνες που εξασφαλίζουν το χαμηλότερο Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου και θα εξαρτηθούν από το τοπικό ηλιακό και αιολικό δυναμικό αλλά και από τις παραδοχές κόστους της περιοχής. Στο παρακάτω Σχήμα, παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ Αυστραλίας και Γερμανίας όσον αφορά τον λόγο μεταξύ της βέλτιστης φωτοβολταϊκής ισχύος και της συνολικής ισχύος παραγωγής του υβριδικού συστήματος ως συνάρτηση της αύξησης του επενδυτικού κόστους των φωτοβολταϊκών (άξονας x) και των χερσαίων αιολικών (άξονας y). Σημειώνεται ότι οι ανανεώσιμοι πόροι είναι σταθεροί και αποδίδουν ετήσιους συντελεστές ισχύος 21% και 48% για την Αυστραλία και 14% και 46% για τη Γερμανία, για τα φωτοβολταϊκά και τα χερσαία αιολικά αντίστοιχα. Το επενδυτικό κόστος και η απόδοση του ηλεκτρολύτη είναι επίσης σταθερά στις τιμές στο αισιόδοξο σενάριο για το 2050 (134 USD/ kW_e και 87,5% [HHV]).

Διάγραμμα 4: Βέλτιστες ρυθμίσεις υβριδικών συστημάτων (κουκκίδες) το 2050 ως συνάρτηση του επενδυτικού κόστους των τεχνολογιών παραγωγής για τη Γερμανία (πράσινες γραμμές) και την Αυστραλία (μπλε γραμμές) (IRENA, 2022)



Σημειώσεις: Οι ανανεώσιμοι πόροι που χρησιμοποιούνται σε αυτή την αναπαράσταση είναι η κατηγορία πόρων με τις καλύτερες επιδόσεις στην Αυστραλία και τη Γερμανία. Τα σημεία αντιπροσωπεύουν τις ακόλουθες τιμές επενδυτικού κόστους: Γερμανία, φωτοβολταϊκά: 254 USD/kW, χερσαία αιολικά: USD 771/ kW, Αυστραλία, φωτοβολταϊκά: 315 USD/kW, χερσαία αιολικά 864 USD/kW.

Η βέλτιστη ρύθμιση των δυνητικά υβριδικών συστημάτων παραγωγής υδρογόνου μπορεί να είναι εκείνη στην οποία ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας κυριαρχεί έντονα έναντι του άλλου. Πιο ανταγωνιστικό επενδυτικό κόστος μιας από τις τεχνολογίες παραγωγής μπορεί να οδηγήσει το βέλτιστο λόγο στο να ευνοεί την εν λόγω τεχνολογία. Επομένως, οι ρυθμίσεις δυνητικά υβριδικών συστημάτων μπορεί να οδηγηθούν πίσω σε συστήματα τύπου μίας τεχνολογίας που συζητήθηκαν προηγουμένως. Με αισιόδοξες παραδοχές για το 2050 και χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η διαθεσιμότητα νερού ως κριτήριο αποκλεισμού γης, προσδιορίστηκε ότι, κατά παγκόσμιο μέσο όρο, το 93,2% της επιφάνειας της γης που θα μπορούσε δυνητικά να φιλοξενήσει υβριδικά συστήματα παραγωγής (πάνω από 56 εκατομμύρια km²) σε παγκόσμιο επίπεδο αποδίδει ελάχιστο Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου όταν λειτουργεί μόνο ως φωτοβολταϊκό σύστημα. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται κυρίως στις βεβαρημένες τιμές επενδυτικού κόστους της χερσαίας αιολικής ενέργειας, οι οποίες, κατά παγκόσμιο μέσο όρο, είναι σχεδόν τριπλάσιες από εκείνες των φωτοβολταϊκών. Οι περισσότερες περιοχές παρουσιάζουν το σύνολο ή σχεδόν το σύνολο των δυνητικά υβριδικών συστημάτων που αποδίδουν ελάχιστο Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου όταν λειτουργούν ως αμιγώς φωτοβολταϊκό σύστημα, με εξαίρεση το Ηνωμένο Βασίλειο (34%), τον Καναδά (43%) και τη Ρωσία (57%).

Στην άλλη πλευρά της κλίμακας, τα δυνητικά υβριδικά συστήματα που βρίσκουν τη βέλτιστη ρύθμισή τους, όταν λειτουργούν ως αποκλειστικά χερσαία συστήματα αντιπροσωπεύουν, κατά παγκόσμιο μέσο όρο, μόνο ένα ποσοστό 2,93%. Ο Καναδάς (34%), η Ρωσία (32%) και το Ηνωμένο Βασίλειο (16%) είναι οι μόνες τρεις χώρες που παρουσιάζουν ποσοστά πολύ υψηλότερα από το μέσο όρο, ακολουθούμενες από τη Χιλή (9%), τις Ηνωμένες Πολιτείες (2,6%) και την Ιαπωνία (2%). Αυτή η

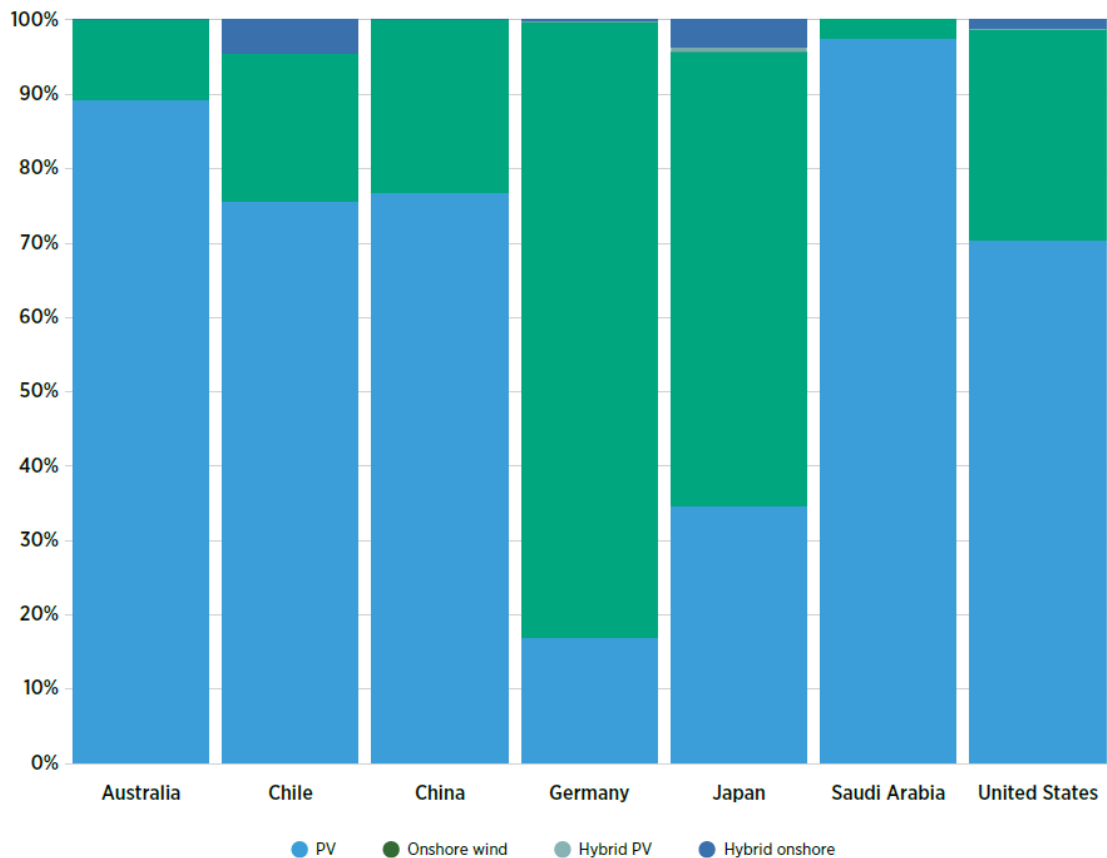
βέλτιστη ρύθμιση υπαγορεύεται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες εξασφαλίζουν υψηλούς συντελεστές ισχύος στα χερσαία αιολικά συστήματα έναντι χαμηλής ισχύος στα φωτοβολταϊκά.

Τέλος, τα πραγματικά υβριδικά συστήματα αντιπροσωπεύουν μόνο, κατά παγκόσμιο μέσο όρο, το 2,48% για τα επικρατούντα χερσαία συστήματα και το 1,38% για τα επικρατούντα φωτοβολταϊκά συστήματα, όλων των δυνητικά υβριδικών συστημάτων. Τα υβριδικά συστήματα με επικρατούντα ηλιακά φωτοβολταϊκά συναντώνται κυρίως στο Ηνωμένο Βασίλειο (25%), ακολουθούμενα από τη Ρωσία (4,6%) και τον Καναδά (3%). Οι υβριδικές διαμορφώσεις που επικρατούν στην ξηρά συναντώνται κυρίως στο Ηνωμένο Βασίλειο (25%), στον Καναδά (19%), στην Ιαπωνία (9%) και στην Αργεντινή (6,6%). Οι διαμορφώσεις αυτές εξαρτώνται επίσης σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες. Οι ανανεώσιμοι πόροι που χρησιμοποιούνται στο παρακάτω Σχήμα είναι η κατηγορία πόρων με τις καλύτερες επιδόσεις στην Αυστραλία και τη Γερμανία.

Η πλειονότητα του δυναμικού των φωτοβολταϊκών και των χερσαίων αιολικών στη Γερμανία κατανέμεται σε περιοχές όπου οι συντελεστές ισχύος είναι χαμηλότεροι (13% για τα φωτοβολταϊκά και 21% για τα χερσαία αιολικά). Με βάση το επενδυτικό κόστος του 2050 για τα φωτοβολταϊκά και τα χερσαία αιολικά, τα υβριδικά συστήματα παραγωγής υδρογόνου με το χαμηλότερο κόστος χρησιμοποιούν μία μόνο τεχνολογία παραγωγής, συγκεκριμένα τα φωτοβολταϊκά.

Οι υποκείμενες παραδοχές επενδυτικού κόστους είναι εκείνες του αισιόδοξου χρονικού ορίζοντα του 2050, που κυμαίνονται μεταξύ 245 USD/kW και 690 USD/kW για τα φωτοβολταϊκά και μεταξύ 743 USD/kW και 1.434 USD/kW για την χερσαία αιολικά. Το αποτέλεσμα της διαφοράς κόστους των δύο τεχνολογιών παραγωγής είναι ότι η συντριπτική πλειονότητα των δυνητικά υβριδικών συστημάτων αποδίδει ελάχιστο Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου όταν εγκαθίσταται μόνο φωτοβολταϊκά ως τεχνολογία παραγωγής. Στην περίπτωση της Αυστραλίας, το μεγαλύτερο μέρος της γης θεωρείται επιλέξιμο τόσο για φωτοβολταϊκά όσο και για χερσαία αιολικά (όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα) και με βάση την προαναφερθείσα ανάλυση, τα περισσότερα από αυτά τα δυνητικά υβριδικά συστήματα θα εξασφαλίσουν ελάχιστο Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου όταν λειτουργούν μόνο ως φωτοβολταϊκά συστήματα.

**Διάγραμμα 5: Ανάλυση της παραγωγής υδρογόνου ανά τεχνολογία Ανανεώσιμων Πηγών
Ενέργειας για επιλεγμένες χώρες (IRENA, 2022)**



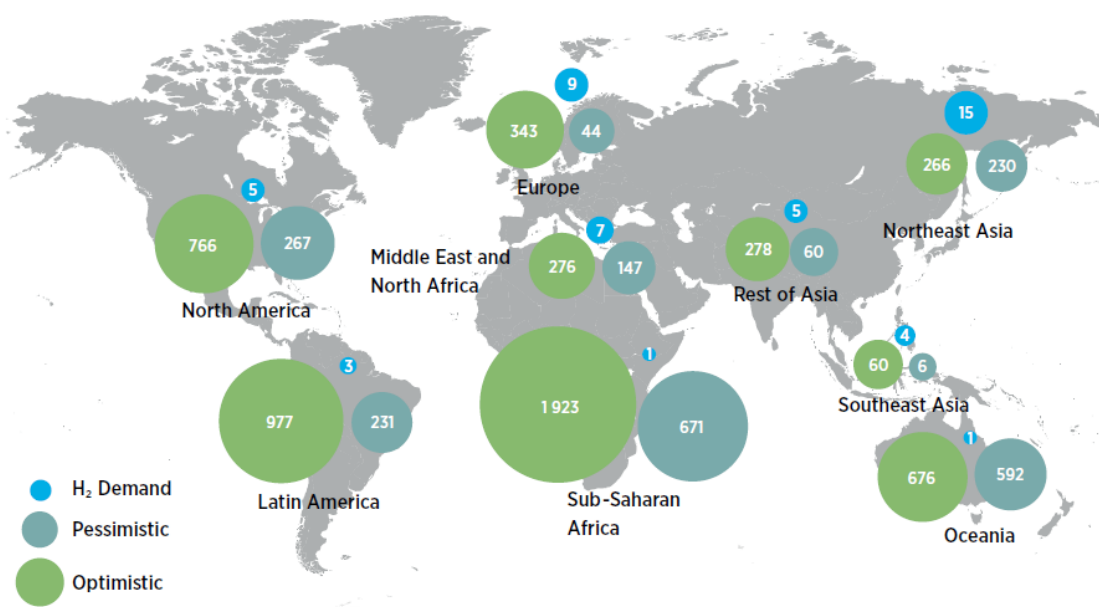
Σημειώσεις: Η σύνθεση κάθε χώρας εξαρτάται από τα κριτήρια αποκλεισμού γης που εφαρμόζονται και από την ποιότητα των πόρων που υπάρχουν στις επιλέξιμες περιοχές. Τα υβριδικά συστήματα βέλτιστης ισχύος που προτιμώνται έντονα (λόγος μικρότερος από 1%) με μία τεχνολογία αναφέρονται ως συστήματα μίας τεχνολογίας. Τα κατάλληλα υβριδικά συστήματα διακρίνονται σε φωτοβολταϊκά ή επικρατέστερα χερσαία αιολικά. Η αναπαράσταση αυτή αφορά μόνο τα συστήματα που αποδίδουν Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου κάτω από 5 USD/kgH₂. Σκοπός αυτής της αναπαράστασης είναι η παροχή αντιπροσωπευτικών περιπτώσεων για διαφορετικούς συνδυασμούς χρήσης γης, παραδοχών κόστους και ποιότητας πόρων.

Από την άλλη πλευρά, στη Γερμανία η ανάλυση επιλεξιμότητας γης υπογραμμίζει ότι το μεγαλύτερο μέρος της διαθέσιμης γης έχει επιλεγεί ως κατάλληλο για την εγκατάσταση χερσαίων αιολικών. Ωστόσο, στις περιοχές όπου θα μπορούσε να εγκατασταθεί ένα υβριδικό σύστημα, οι παραδοχές κόστους και η ποιότητα των πόρων εξακολουθούν να ευνοούν συστήματα αποκλειστικά με φωτοβολταϊκά. Στο παραπάνω Σχήμα, αναφέρεται η σύνθεση του συστήματος για τις σχετικές χώρες για το έτος 2050 υπό αισιόδοξες παραδοχές. Μπορεί να φανεί πώς τα υβριδικά συστήματα αντιπροσωπεύουν τη μειοψηφία των συνολικών συστημάτων παραγωγής απλώς και μόνο λόγω του χαμηλού επενδυτικού κόστους που εκτιμάται για τα φωτοβολταϊκά. Σε περιοχές όπου το επενδυτικό κόστος για τα φωτοβολταϊκά είναι υψηλότερο (ή το επενδυτικό κόστος για τα χερσαία αιολικά είναι χαμηλότερο), τότε οι υβριδικές ρυθμίσεις μπορεί να είναι ελκυστικές.

1.2 Χάρτες Ισοσταθμισμένου Κόστους Υδρογόνου και δυναμικό

Για την παρούσα μελέτη, ο κόσμος χωρίζεται σε 34 περιοχές. Οι χώρες του G20 μοντελοποιούνται μεμονωμένα, ενώ ο υπόλοιπος κόσμος ομαδοποιείται σε οκτώ περιοχές. Επιπλέον, ορισμένες επιλεγμένες χώρες, που θα μπορούσαν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο ως εξαγωγείς και εισαγωγείς, αναλύονται επίσης μεμονωμένα (Χιλή, Κολομβία, Μαρόκο, Πορτογαλία, Ισπανία και Ουκρανία). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι για τα αυτόνομα πράσινα συστήματα παραγωγής υδρογόνου το 2050, το Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου είναι κατά μέσο όρο αρκετά χαμηλό, με τιμές κάτω από 1,5 USD/kgH₂ στις περισσότερες χώρες, όταν χρησιμοποιούνται οι καλύτερες ανανεώσιμες πηγές. Όσον αφορά το δυναμικό παραγωγής υδρογόνου, είναι προφανές ότι το οικονομικό δυναμικό κάτω από 2 USD/kgH₂ είναι τεράστιο και ικανοποιεί σε μεγάλο βαθμό την προβλεπόμενη ζήτηση για το έτος 2050 (παρακάτω Σχήμα). Η συνολική ζήτηση υδρογόνου το 2050 αντιπροσωπεύει το 12% της συνολικής τελικής ζήτησης ενέργειας και ανέρχεται σε 74 EJ (IRENA, 2022c). Από αυτά, τα 24 EJ θα αφιερωθούν στον τομέα της ενέργειας, ενώ τα υπόλοιπα 50 EJ θα διατεθούν κυρίως μεταξύ των τομέων των χημικών προϊόντων (κυρίως αμμωνία) και των μεταφορών (IRENA, 2022c). Ωστόσο, εάν εξεταστεί το οικονομικό δυναμικό των μεμονωμένων χωρών, μπορεί να υπολείπεται της προβλεπόμενης ζήτησης υδρογόνου για το έτος 2050. Υπό αισιόδοξες παραδοχές και συμπεριλαμβανομένων των περιορισμών στη διαθεσιμότητα νερού, το δυναμικό παραγωγής υδρογόνου κάτω από 2 USD/ kgH₂ της Ιαπωνίας και της Δημοκρατίας της Κορέας είναι ήδη το μισό και το ένα τρίτο της προβλεπόμενης ζήτησης, θεωρώντας τις ως δυνητικούς μελλοντικούς εισαγωγείς.

Διάγραμμα 6: Σύγκριση μεταξύ του οικονομικού δυναμικού του εφοδιασμού πράσινου υδρογόνου κάτω από 2 USD/kgH₂ και της προβλεπόμενης ζήτησης υδρογόνου, σε EJ/έτος, το 2050

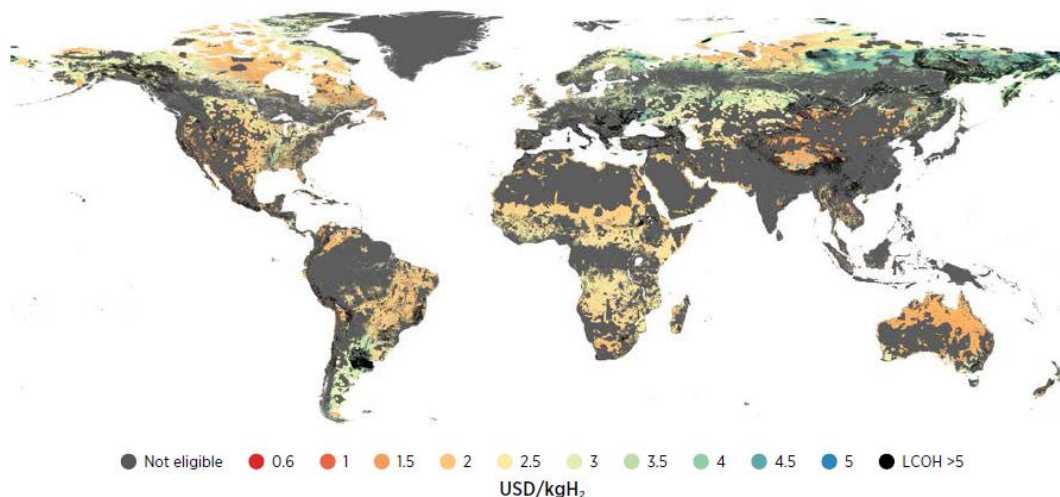


Σημειώσεις: Οι παραδοχές για το επενδυτικό κόστος 2050 έχουν ως εξής: αισιόδοξες, φωτοβολταϊκά: 225 USD/kW έως 455 USD/kW, χερσαία αιολικά: 700 USD/kW έως 1.070 USD/kW, υπεράκτια αιολικά: USD 1.275/kW έως 1.745 USD/kW. Απαισιόδοξο, φωτοβολταϊκά: 271 USD/kW έως USD 551/kW, χερσαία αιολικά: USD 775/kW έως 1.191 USD/kW, υπεράκτια αιολικά: USD 1.317/kW έως 1.799 USD/kW. Μέσο

Σταθμικό Κόστος Κεφαλαίου: Αισιόδοξο, ανά τιμές του 2020 χωρίς τεχνολογικούς κινδύνους σε όλες τις περιοχές. Απαισιόδοξο, ανά τιμές του 2020 με τεχνολογικούς κινδύνους σε όλες τις περιοχές. Το τεχνικό δυναμικό υπολογίστηκε με βάση τη διαθεσιμότητα γης λαμβάνοντας υπόψη διάφορες ζώνες αποκλεισμού (προστατευόμενες περιοχές, δάση, μόνιμοι υγρότοποι, καλλιεργήσιμες εκτάσεις, αστικές περιοχές, κλίση 5% (φωτοβολταϊκά) και 20% (χερσαία αιολικά), πυκνότητα πληθυσμού και υδατική πίεση). Η συνολική ζήτηση υδρογόνου, χωρίς τον τομέα της ενέργειας (24 EJ/έτος), είναι ίση με 50 EJ/έτος. Ο χάρτης αυτός παρέχεται μόνο για λόγους απεικόνισης. Τα όρια και τα ονόματα που εμφανίζονται στον χάρτη δεν υποδηλώνουν οποιαδήποτε έγκριση ή αποδοχή από το IRENA.

Όσον αφορά το οικονομικό δυναμικό του πράσινου υδρογόνου κάτω από 4 USD/kg H₂ στον χρονικό ορίζοντα του 2030, η υποσαχάρια Αφρική κατέχει το μεγαλύτερο δυναμικό παραγωγής, με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 1.650 EJ και 1.242 EJ/έτος (όπου η ανώτερη και η κατώτερη τιμή αντιπροσωπεύουν την απαισιόδοξη και την αισιόδοξη τεχνικοοικονομική παραδοχή). Ακολουθούν η Αυστραλία (520 EJ έως 598 EJ/έτος), η Βραζιλία (376 EJ έως 461 EJ/έτος), οι Ηνωμένες Πολιτείες (213 EJ έως 385 EJ/έτος), η Ρωσία (198 EJ έως 276 EJ/έτος), ο Καναδάς (185 EJ έως 274 EJ/έτος) και η Μέση Ανατολή/Βόρεια Αφρική (112 EJ έως 214 EJ/έτος). Στο άλλο άκρο της κλίμακας, οι χώρες που περιορίζονται γεωγραφικά από την υψηλή υδατική πίεση, τη χρήση γης, τη μορφολογία ή/και τις προστατευόμενες περιοχές (που αναφέρονται ως μη επιλέξιμες περιοχές στο παρακάτω Σχήμα), παρουσιάζουν σημαντικά χαμηλότερες δυνατότητες παραγωγής υδρογόνου. Η πιο επιβαρυνμένη είναι η Δημοκρατία της Κορέας, με δυναμικό που κυμαίνεται μεταξύ 0,2 EJ και 0,1 EJ, ακολουθούμενη από την Ιαπωνία (0,1 EJ έως 1,2 EJ/έτος), την Ιταλία (1,1 EJ έως 1,3 EJ/έτος), την Πορτογαλία (1,8 EJ έως 2,1 EJ/έτος), τη Γερμανία (2,6 EJ έως 4,3 EJ/έτος) και τη Γαλλία (2,9 EJ έως 5,6 EJ/έτος). Το οικονομικό δυναμικό μειώνεται σημαντικά εάν το κατώτατο όριο μειωθεί στα 2 USD/kgH₂, και οι περισσότερες χώρες και περιοχές δεν παρουσιάζουν δυναμικό παραγωγής υδρογόνου με απαισιόδοξες παραδοχές το 2030.

Διάγραμμα 7: Παγκόσμιος χάρτης του Ισοσταθμισμένου Κόστους του πράσινου Υδρογόνου το 2030 λαμβάνοντας υπόψη την έλλειψη νερού (IRENA, 2022)

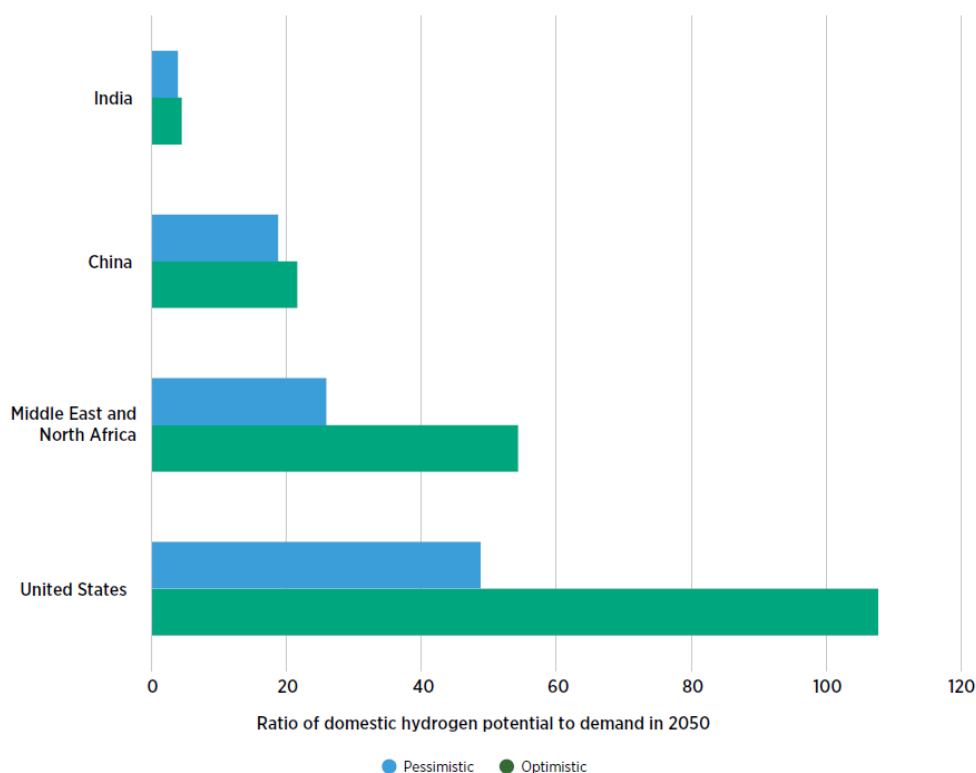


Σημειώσεις: Γεωχωρική κατανομή του Ισοσταθμισμένου Κόστους Υδρογόνου κάτω από 5 USD/kgH₂ για το 2030 σύμφωνα με αισιόδοξες παραδοχές. Σε αυτή την αναπαράσταση, τα κριτήρια αποκλεισμού γης λαμβάνουν επίσης υπόψη τη διαθεσιμότητα του νερού. Ο χάρτης αυτός παρέχεται μόνο για σκοπούς

απεικόνισης. Τα όρια και τα ονόματα που εμφανίζονται σε αυτόν τον χάρτη δεν υποδηλώνουν έγκριση ή αποδοχή από το IRENA.

Εστιάζοντας στον χρονικό ορίζοντα του 2050 και λαμβάνοντας υπόψη τη γενική μείωση του επενδυτικού κόστους των τεχνολογιών, ακόμη και αν μειωθεί το κατώτατο όριο του οικονομικού δυναμικού σε Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου στα 2 USD/kgH₂, το δυναμικό παραγωγής υδρογόνου στον χρονικό ορίζοντα του 2050 εξακολουθεί να είναι μεγάλο. Η υποσαχάρια Αφρική εξακολουθεί να διαθέτει το μεγαλύτερο δυναμικό, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 1.845 EJ και 602 EJ/έτος, σύμφωνα με τις απαισιόδοξες και αισιόδοξες παραδοχές αντίστοιχα. Ακολουθούν η Αυστραλία (584 EJ έως 659 EJ/έτος), η Βραζιλία (86 EJ έως 511 EJ/έτος), οι Ηνωμένες Πολιτείες (193 EJ έως 426 EJ/έτος) και η Κίνα (230 EJ έως 265 EJ/έτος). Οι χώρες που παρουσιάζουν τις χαμηλότερες οικονομικές δυνατότητες το 2050 είναι η Δημοκρατία της Κορέας (0,15 EJ έως 0,2 EJ/έτος), η Ιαπωνία (0,04 EJ έως 1,3 EJ/έτος), η Ιταλία (1,3 EJ έως 1,4 EJ/έτος) και η Πορτογαλία (1,9 EJ έως 2,4 EJ/έτος). Οι τιμές αυτές μπορούν να τοποθετηθούν σε προοπτική συγκρίνοντας με την προβλεπόμενη συνολική ζήτηση υδρογόνου (εξαιρουμένης της ζήτησης του τομέα της ενέργειας) το 2050, η οποία ανέρχεται σε 50 EJ. Πολλές περιοχές θα έχουν υπερεπαρκή εγχώρια προσφορά πράσινου υδρογόνου κάτω από 2 USD/kgH₂, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι περιοχές με τη μεγαλύτερη ζήτηση είναι η Κίνα (12,2 EJ/έτος), η Μέση Ανατολή/Βόρεια Αφρική (4,5 EJ/έτος), η Ινδία (4,2 EJ/έτος) και οι Ηνωμένες Πολιτείες (4 EJ/έτος) (παρακάτω Σχήμα).

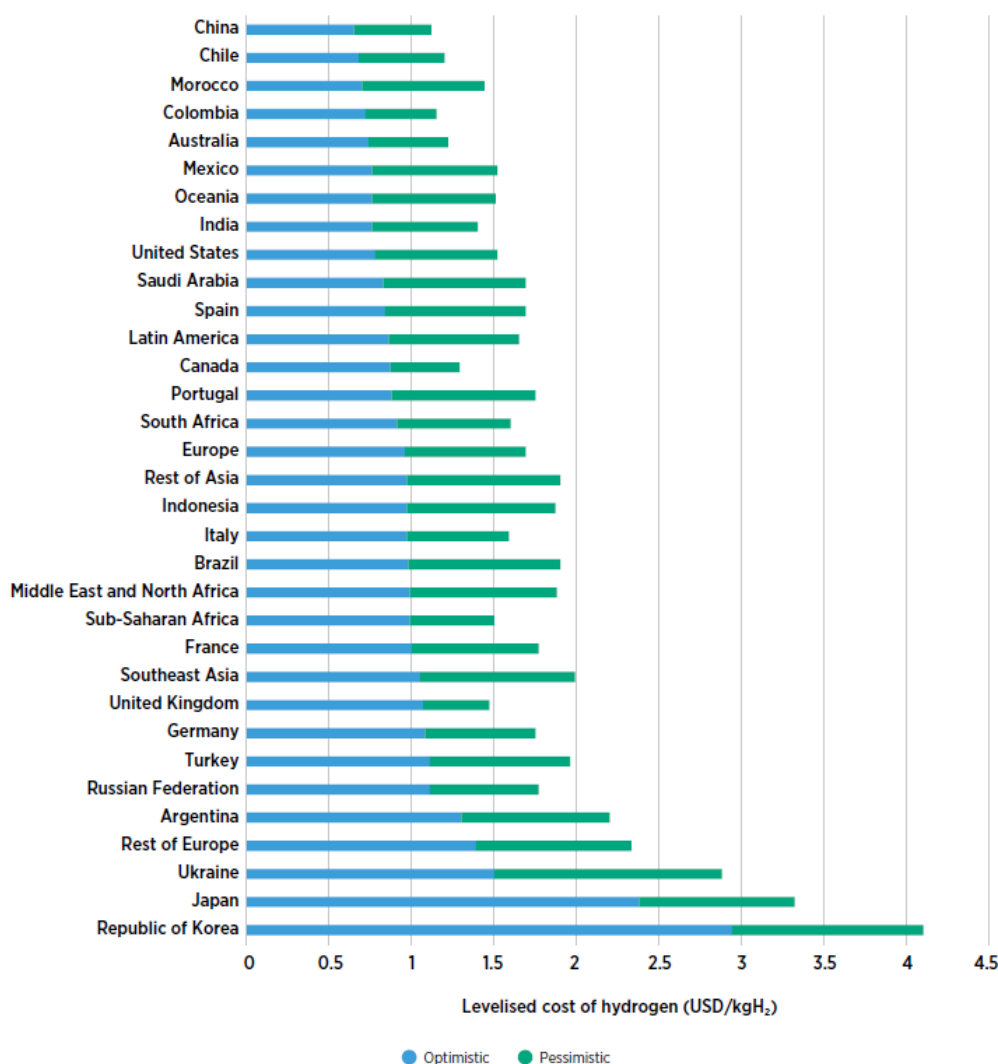
Διάγραμμα 8: Λόγος μεταξύ της δυνητικής εγχώριας παραγωγής πράσινου υδρογόνου και της εκτιμώμενης ζήτησης υδρογόνου για το 2050 για επιλεγμένες χώρες (IRENA, 2022)



Σημειώσεις: Προσφορά υδρογόνου που προσδιορίζεται με κόστος με τεχνοοικονομικές παραδοχές για το έτος 2050 σύμφωνα με αισιόδοξα και απαισιόδοξα σενάρια. Στην ανάλυση αυτή λαμβάνεται υπόψη η διαθεσιμότητα νερού για ηλεκτρόλυση.

Συγκρίνοντας τη ζήτηση για το έτος 2050, το Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου κάθε περιοχής μπορεί να προσδιοριστεί μέσω των καμπυλών προσφοράς-κόστους των επιμέρους χωρών και περιοχών (παρακάτω Σχήμα). Οι χώρες που ενδείκνυνται καλύτερα για την εγχώρια παραγωγή και κατανάλωση πράσινου υδρογόνου φαίνεται να είναι η Κίνα, η Ινδία και οι Ηνωμένες Πολιτείες: όλες παρουσιάζουν μεγάλο δυναμικό παραγωγής με χαμηλό Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου (0,65 USD/kgH₂ έως 0,78 USD/kgH₂) κυρίως λόγω των υψηλής ποιότητας ηλιακών πόρων τους. Οι ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Γαλλία, η Γερμανία, η Ιταλία και η Ισπανία, χαρακτηρίζονται από υψηλότερο Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου, περίπου 0,8 USD/kgH₂ έως 1,1 USD/kgH₂. Το δυναμικό παραγωγής είναι συνήθως αρκετά μεγάλο ακόμη και για αυτές τις χώρες- μόνο η Ιταλία έχει χαμηλότερο βιώσιμο οικονομικά δυναμικό (1.000 petajoules σε Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου χαμηλότερο από 1,15 USD/kgH₂) λόγω του ανάγλυφού της και της πυκνής αστικοποίησης. Από την άλλη πλευρά, το Ηνωμένο Βασίλειο παρουσιάζει υψηλότερο Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου (1 USD/kgH₂ έως 2 USD/kgH₂) κυρίως λόγω της κακής ποιότητας των ηλιακών πόρων του.

Διάγραμμα 9: Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου για το 2050 που προκύπτει από την ανάλυση προσφοράς-ζήτησης (IRENA, 2022)

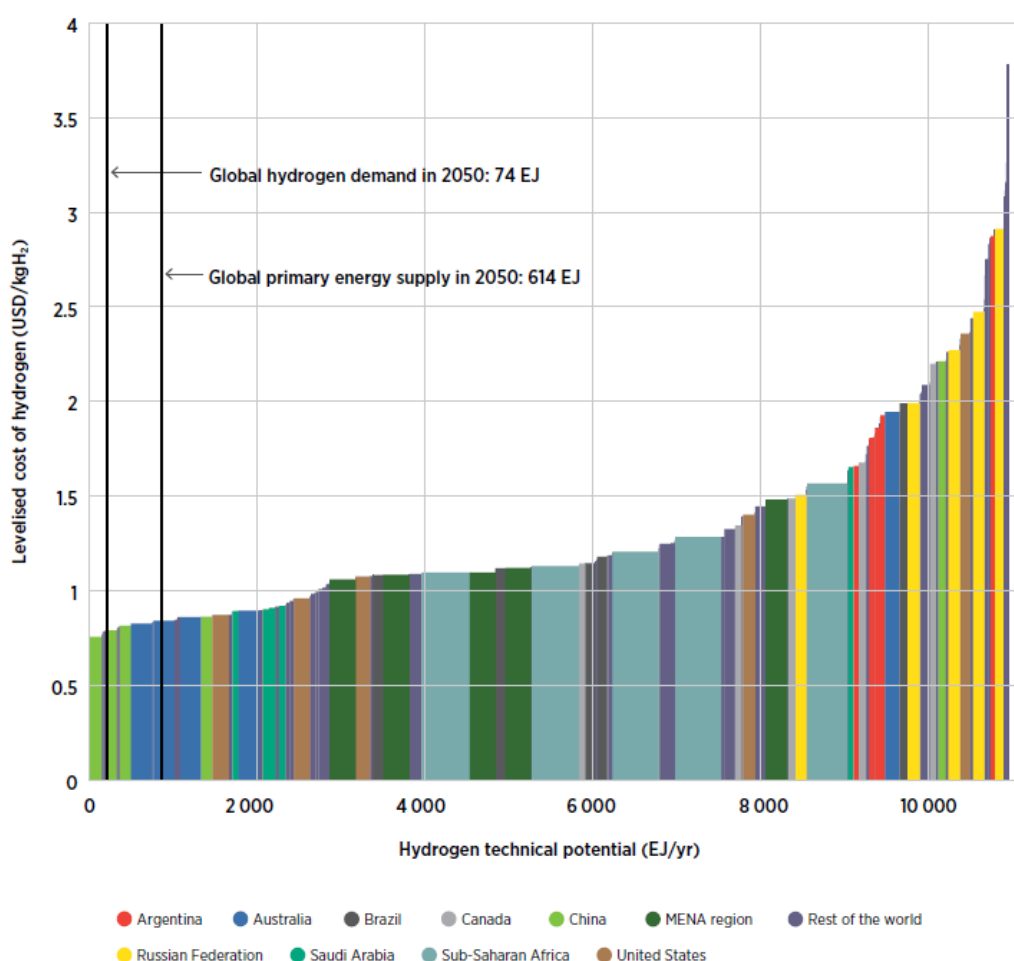


Σημειώσεις: Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου που προκύπτει από τις καμπύλες προσφοράς-κόστους των επιμέρους χωρών και περιοχών με βάση την εκτιμώμενη ζήτηση υδρογόνου για το 2050. Η

διαθεσιμότητα νερού για ηλεκτρόλυση λαμβάνεται υπόψη στις καμπύλες προσφοράς-κόστους υδρογόνου.

Μια πρόσθετη αξιολόγηση έγινε για τις σχετικές χώρες μόνο για το σενάριο κόστους του 2020. Τα Ισοσταθμισμένα Κόστη Υδρογόνου βρέθηκαν να είναι ίσα με 85 USD/MWh και 190 USD/MWh και, αν συγκριθούν με το κόστος του φυσικού αερίου του 2020-21, το οποίο είναι περίπου 30 USD/MWh (Statista, 2021), εξακολουθούν να μην είναι αρκετά ανταγωνιστικά. Το κόστος που προέκυψε από αυτή την αξιολόγηση για το έτος 2050 υπό αισιόδοξες παραδοχές κόστους κυμαίνεται από 0,65 USD/kgH₂ έως 1,5 USD/kgH₂ λαμβάνοντας υπόψη ένα δυναμικό παραγωγής 9.000 EJ/έτος, λαμβάνοντας υπόψη την έλλειψη νερού ως κριτήριο αποκλεισμού (παρακάτω Σχήμα). Αυτή η δυνητική προσφορά υδρογόνου είναι πολλαπλάσια της αξίας της μελλοντικής παγκόσμιας ζήτησης υδρογόνου (σε όλους τους τομείς) 74 EJ/έτος καθώς και της συνολικής παγκόσμιας τελικής ζήτησης ενέργειας (614 EJ/έτος). Αυτές οι δύο ανάγκες θα μπορούσαν να καλυφθούν από την προμήθεια με Ισοσταθμισμένο Κόστος Υδρογόνου ύψους 0,7 USD/kgH₂ και 0,8 USD/kgH₂, αντίστοιχα. (IRENA, 2022)

Διάγραμμα 10: Παγκόσμια καμπύλη προσφοράς-κόστους πράσινου υδρογόνου για το έτος 2050 υπό αισιόδοξες παραδοχές (IRENA, 2022)

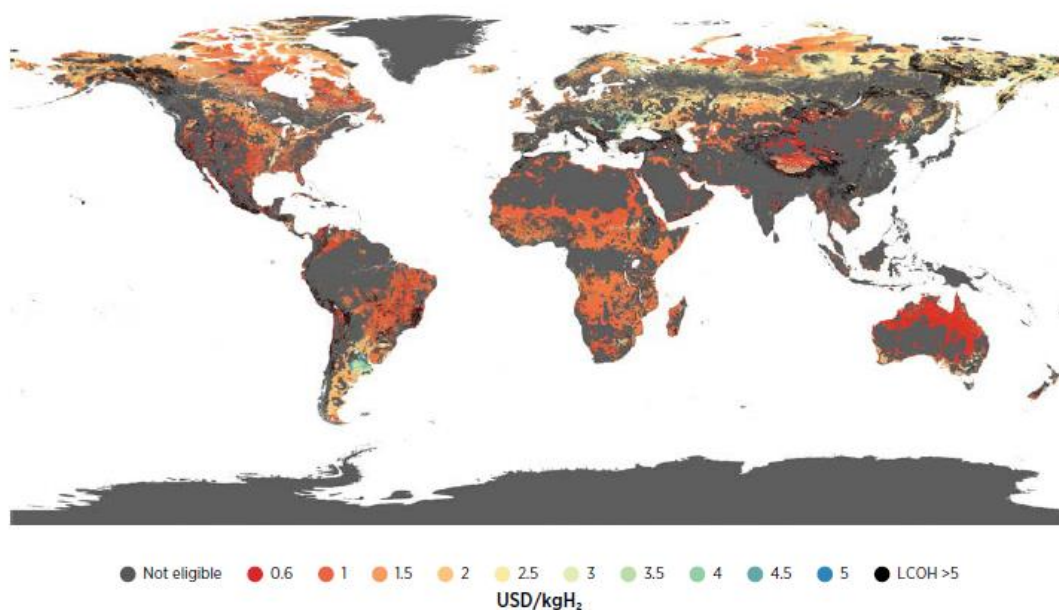


Σημείωση: Τα κριτήρια αποκλεισμού γης λαμβάνουν υπόψη όχι μόνο την τυπολογία της γης, τις προστατευόμενες περιοχές, την κλίση και την πυκνότητα του πληθυσμού, αλλά και τη διαθεσιμότητα του νερού. Οι παραδοχές κόστους είναι αυτές του αισιόδοξου σεναρίου για το 2050. Οι τιμές Μέσου

Σταθμικού Κόστους Κεφαλαίου είναι επίσης εκείνες του αισιόδοξου σεναρίου. Το επενδυτικό κόστος του ηλεκτρολύτη και η αποδοτικότητα ορίστηκαν σε 134 USD/kWe και 87,5% (HHV). Εδώ η έλλειψη νερού δεν περιλαμβάνεται στα κριτήρια αποκλεισμού.

Στο παρακάτω Σχήμα παρουσιάζεται η παγκόσμια κατανομή της παραγωγής υδρογόνου και το κόστος της για το έτος 2050 σύμφωνα με τις αισιόδοξες παραδοχές. Στην περίπτωση αυτή λήφθηκε υπόψη και η διαθεσιμότητα νερού. Σε σύγκριση με τον χάρτη του σεναρίου για το 2030 (παραπάνω Σχήμα του παγκόσμιου χάρτη του Ισοσταθμισμένου Κόστους του πράσινου Υδρογόνου το 2030 λαμβάνοντας υπόψη την έλλειψη νερού), φαίνεται ότι οι περιοχές όπου το κόστος του υδρογόνου είχε αυξηθεί σε τιμές άνω των 5 USD/kgH₂ βρίσκονται πλέον κάτω από αυτή την τιμή. Παράδειγμα αυτού του φαινομένου είναι η περιοχή Pamras στην Αργεντινή, η οποία χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για γεωργία (δηλ. καλλιεργήσιμες εκτάσεις). Ως εκ τούτου, το μόνο βιώσιμο σύστημα παραγωγής υδρογόνου είναι μέσω της χερσαίας αιολικής ενέργειας, η οποία έχει σχεδόν τριπλάσιο επενδυτικό κόστος από τα φωτοβολταϊκά (333 USD/kW φωτοβολταϊκών έναντι 912 USD/kW). Αυτά τα συστήματα παραγωγής επηρεάζονται επίσης από το υψηλό Μέσο Σταθμικό Κόστος Κεφαλαίου στην Αργεντινή, σχεδόν 13%.

Διάγραμμα 11: Παγκόσμιος χάρτης Ισοσταθμισμένου Κόστους του πράσινου υδρογόνου το 2050 λαμβάνοντας υπόψη την έλλειψη νερού (IRENA, 2022)

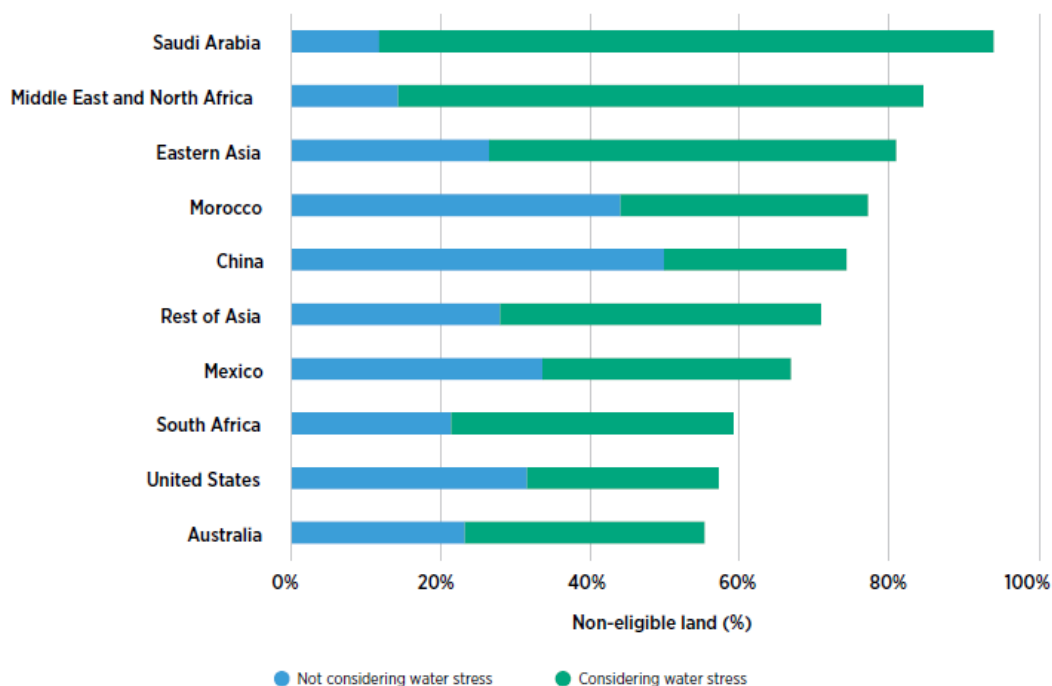


Σημειώσεις: Γεωχωρική κατανομή του Ισοσταθμισμένου Κόστους Υδρογόνου κάτω από 5 USD/kgH₂ για το 2050 σύμφωνα με αισιόδοξες παραδοχές, βλέπε σημειώσεις του παραπάνω Σχήματος “Σύγκριση μεταξύ του οικονομικού δυναμικού του εφοδιασμού πράσινου υδρογόνου κάτω από 2 USD/kgH₂ και της προβλεπόμενης ζήτησης υδρογόνου, σε EJ/έτος, το 2050” για συγκεκριμένες τιμές. Σε αυτή την απεικόνιση, τα κριτήρια αποκλεισμού γης λαμβάνουν επίσης υπόψη τη διαθεσιμότητα νερού. Ο χάρτης αυτός παρέχεται μόνο για σκοπούς απεικόνισης. Τα όρια και τα ονόματα που εμφανίζονται σε αυτόν δεν υποδηλώνουν έγκριση ή αποδοχή από το IRENA.

Από την άλλη πλευρά, το παραπάνω Σχήμα παρέχει μια εικόνα των περιοχών στις οποίες η συμπερίληψη της διαθεσιμότητας νερού ως κριτήριο αποκλεισμού έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο.

Ορισμένες από τις πιο πολλά υποσχόμενες περιοχές υπονομεύονται έντονα από την έλλειψη πόρων νερού. Η βόρεια Κίνα, η νοτιοδυτική Αυστραλία και γενικά οι άγονες ζώνες δεν είναι κατάλληλες για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου εάν ληφθεί υπόψη η διαθεσιμότητα νερού, παρά το γεγονός ότι παρουσιάζουν μεγάλες δυνατότητες για την παραγωγή υδρογόνου με το χαμηλότερο κόστος. Οι περιοχές που πλήττονται περισσότερο από έλλειψη νερού είναι η Σαουδική Αραβία και η περιοχή της Μέσης Ανατολής/Βόρειας Αφρικής, οι οποίες βλέπουν το οικονομικό δυναμικό τους κάτω από 2 USD/kgH₂ να μειώνεται κατά 94% και 84% αντίστοιχα (παρακάτω Σχήμα). Η Κίνα, με εξαίρεση τα βόρεια εδάφη της (τα οποία θα μπορούσαν να παρουσιάσουν υψηλή παραγωγή υδρογόνου χαμηλού κόστους), μειώνει το οικονομικό της δυναμικό (κάτω από 2 USD/ kgH₂) κατά 59%.

Διάγραμμα 12: **Επίδραση των υδατικών περιορισμών στην επιλεξιμότητα της γης για την επιτόπια παραγωγή πράσινου υδρογόνου (IRENA, 2022)**



Σημείωση: Τα κριτήρια αποκλεισμού γης αφορούν την τυπολογία γης, τις προστατευόμενες περιοχές, την κλίση του εδάφους και την πυκνότητα του πληθυσμού. Επισημαίνεται ο αντίκτυπος της διαθεσιμότητας νερού ως κριτήριο αποκλεισμού.

Πρέπει να προστεθεί ότι η απομακρυσμένη τοποθεσία δεν συμπεριλήφθηκε ως κριτήριο αποκλεισμού. Ως εκ τούτου, απομακρυσμένες περιοχές, δηλαδή ο Βόρειος Καναδάς, η Σιβηρία και το οροπέδιο του Θιβέτ, συμπεριλήφθηκαν στην αξιολόγηση. Ρεαλιστικά, ακόμη και αν σε ορισμένες περιπτώσεις οι περιοχές αυτές θα μπορούσαν να παράγουν υδρογόνο σε ανταγωνιστικές τιμές, η αναγκαία επένδυση σε υποδομές (εφόσον είναι τεχνικά εφικτή) για τη σύνδεση της παραγωγής με τη ζήτηση των πιθανών προμηθευτών θα αύξανε σημαντικά το κόστος.

Ενότητα 2: Κοινωνικό – Οικονομική Επίδραση του Υδρογόνου στην Ελλάδα

2.1 Εισαγωγή

Το υδρογόνο είναι το ελαφρύτερο και πιο άφθονο χημικό στοιχείο στο σύμπαν. Στη Γη, το υδρογόνο βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία, όπως στο νερό και στους υδρογονάνθρακες. Μπορεί να παραχθεί με τη χρήση διαφόρων διεργασιών. Η πρώτη ύλη και η πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του καθορίζουν τον χαρακτηρισμό του ως "γκρι", "μπλε" ή "πράσινο".

Το γκρι υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα μέσω διεργασιών υψηλών εκπομπών άνθρακα, όπως η αναμόρφωση μεθανίου με ατμό και η αεριοποίηση άνθρακα. Επί του παρόντος, το 96% του υδρογόνου που παράγεται παγκοσμίως είναι γκρι υδρογόνο. Το μπλε υδρογόνο παράγεται επίσης από ορυκτά καύσιμα μέσω διεργασιών υψηλών εκπομπών άνθρακα, αλλά το CO₂ που εκπέμπεται κατά την παραγωγή δεσμεύεται μέσω τεχνολογίας δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS). Το πράσινο υδρογόνο παράγεται μέσω ηλεκτρόλυσης νερού που τροφοδοτείται με ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Μέχρι σήμερα, η ανάπτυξη έργων πράσινου υδρογόνου αφορά έργα επίδειξης.

Σήμερα, το υδρογόνο χρησιμοποιείται κυρίως για τη διύλιση αργού πετρελαίου και για τη σύνθεση αμμωνίας και μεθανόλης. Ωστόσο, το υδρογόνο αναμένεται να αποτελέσει μέρος των παγκόσμιων προσπάθειών μετριασμού των εκπομπών τις επόμενες δεκαετίες, μέσω διαφόρων εφαρμογών, όπως χρήσης του υδρογόνου ως καύσιμο σε βαρέα και επιβατικά αυτοκίνητα με κυψέλες καυσίμου και έγχυσης του υδρογόνου στο δίκτυο φυσικού αερίου, μειώνοντας τις εκπομπές άνθρακα ως ένα βαθμό στο τομέα της θερμότητας.

Όσον αφορά τις πιο πρόσφατες εξελίξεις σχετικά με τους στόχους μείωσης των εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μετά την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, ο Ευρωπαϊκός Νόμος για το Κλίμα τέθηκε σε ισχύ στις 29 Ιουλίου 2021, ο οποίος περιλαμβάνει τον νομικά δεσμευτικό στόχο για καθαρό μηδενισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050. Ο νόμος έθεσε επίσης τον ενδιάμεσο στόχο μείωσης των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990.

Στο πλαίσιο της Πράσινης Συμφωνίας, μία από τις πιο εξέχουσες στρατηγικές της ΕΕ είναι η στρατηγική για το υδρογόνο, η οποία υπογραμμίζει τη σημασία της παραγωγής ανανεώσιμου υδρογόνου (πράσινο υδρογόνο) και της χρήσης του ως πρώτη ύλη, καύσιμο ή φορέας ενέργειας για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στους τομείς της βιομηχανίας, των μεταφορών, της ενέργειας και των κτιρίων. Η Στρατηγική έθεσε ενδιάμεσους στόχους 6GW ηλεκτρολυτών ανανεώσιμου υδρογόνου στην ΕΕ που θα παράγουν έως και 1 εκατ. τόνους ανανεώσιμου υδρογόνου έως το 2024 και τουλάχιστον 40GW ηλεκτρολυτών που θα παράγουν έως και 10 εκατ. τόνους ανανεώσιμου υδρογόνου έως το 2030. Από το 2030 και μετά, το ανανεώσιμο υδρογόνο θα αναπτυχθεί σε μεγάλη κλίμακα σε όλους τους τομείς που είναι δύσκολο να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Επίσης, στα τέλη του 2020, η Επιτροπή δημοσίευσε τη νομοθετική της πρόταση για την αναθεώρηση του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 347/2013 σχετικά με τις κατευθυντήριες γραμμές για τις διευρωπαϊκές ενεργειακές υποδομές (Regulation on trans-European networks in energy), που προβλέπει τον αποκλεισμό των υποδομών δικτύων πετρελαίου και φυσικού αερίου σε έργα που είναι επιλέξιμα για ένταξη σε «Έργα Κοινού Ενδιαφέροντος» και τη συμπερίληψη έργων υδρογόνου και έξυπνων δικτύων φυσικού αερίου.

Ακολουθώντας τις κατευθύνσεις της Πράσινης Συμφωνίας της ΕΕ, η Ελλάδα δημοσίευσε το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (NECP), θέτοντας φιλόδοξους στόχους για την κλιματική αλλαγή που πρέπει να επιτευχθούν έως το 2030. Συγκεκριμένα, η χώρα ανακοίνωσε την πρόθεσή της να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά περισσότερο από 42% σε σύγκριση με τις εκπομπές του 1990 και περισσότερο από 56% σε σύγκριση με τις εκπομπές του 2005, υπερβαίνοντας έτσι ακόμη και τους βασικούς στόχους της ΕΕ. Η Ελλάδα έθεσε επίσης ως στόχο 35% ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, και πάλι υψηλότερο από τον βασικό στόχο της ΕΕ για τις ΑΠΕ που είναι 32%.

Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα της Ελλάδας για το 2019, θεωρεί το υδρογόνο ως μελλοντική λύση και δεν περιλαμβάνει συγκεκριμένους ποσοτικούς στόχους ή οδικούς χάρτες για την ανάπτυξη του υδρογόνου ως καυσίμου βραχυπρόθεσμα. Αναλυτικότερα, το ελληνικό Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα:

- Αναγνωρίζει ως βασική προτεραιότητα έρευνας και καινοτομίας την "παραγωγή ανανεώσιμου υδρογόνου από ηλεκτρόλυση νερού και ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ (εγκατεστημένοι ηλεκτρολύτες σε σταθμούς ανεφοδιασμού ανανεώσιμου υδρογόνου)".
- Υποστηρίζει την ανάπτυξη "πιλοτικών εφαρμογών για την ενεργειακή αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας και της παραγωγής υδρογόνου από ΑΠΕ"
- Αναφέρει ότι "Για το σκοπό αυτό, θα πρέπει επίσης να αναπτυχθεί το αντίστοιχο νομοθετικό και κανονιστικό πλαίσιο για τη λειτουργία των έργων αυτών, ενώ είναι εξαιρετικά σημαντικό να αναπτυχθούν ή να επικαιροποιηθούν, όπου απαιτείται, τα απαραίτητα καθεστώτα και μηχανισμοί στήριξης για τη λειτουργία τους". Και ότι "η ανάπτυξη καυσίμων ΑΠΕ (ιδίως υδρογόνου) για αποθήκευση ενέργειας μεγάλης κλίμακας εκτιμάται ότι θα είναι μικρή μέχρι το 2030 και αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω αργότερα".
- Σημειώνει ότι "μέχρι το 2030 αναμένεται να λειτουργήσουν τα πρώτα συστήματα ηλεκτρόλυσης, επιτρέποντας τη σύζευξη του τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τον τομέα παραγωγής υδρογόνου για αποθήκευση ενέργειας".
- Θεωρεί σημαντικό για το επιστημονικό δυναμικό της χώρας να "παρακολουθεί και να συμμετέχει σε σχετικά προγράμματα που προωθούν το υδρογόνο ως καύσιμο στη ναυτιλία, σε πιο εξειδικευμένες εφαρμογές όπου αυτό ενδείκνυται (π.χ. φορτηγίδες σε τερματικούς σταθμούς ή υδρογονοκίνητα ferry boat με ηλεκτροκινητήρα)".
- Αναφέρει ότι "η εφαρμογή του υδρογόνου δεν είναι ελκυστική για τα θαλάσσια σκάφη, καθώς συνεπάγεται σημαντική μείωση της ωφέλιμης χωρητικότητας των πλοίων και είναι μια πολύπλοκη και δαπανηρή επένδυση".
- Διαπιστώνει ότι "οι επιλογές για τη σύζευξη των τομέων της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου (power-to-gas) μέσω εφαρμογών αποθήκευσης που περιλαμβάνουν μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε ανανεώσιμο αέριο, όπως το υδρογόνο, είναι [εξίσου] σημαντικές". Και ότι "το αέριο που παράγεται με τη χρήση ενέργειας από ΑΠΕ μπορεί να διοχετευθεί στο υφιστάμενο δίκτυο φυσικού αερίου και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για θέρμανση σε κτίρια ή στις μεταφορές", ενώ "η βιωσιμότητα και η αποτελεσματικότητα ενός τέτοιου συστήματος θα εξεταστούν αρχικά μέσω πιλοτικών εφαρμογών και, εφόσον κριθούν θετικές, θα προωθηθούν κατάλληλα μέτρα και πολιτικές με σκοπό την επέκταση του πεδίου εφαρμογής αυτών των τεχνολογικών εφαρμογών".

- Υποστηρίζει το επιχείρημα της ΕΕ ότι "η εισαγωγή εγγυήσεων προέλευσης για το βιοαέριο και το υδρογόνο από διάφορες μορφές ενέργειας και η σύζευξη συστημάτων εγγυήσεων προέλευσης για διάφορες μορφές ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια, αέριο καύσιμο, θερμική και ψυκτική ενέργεια) θα συμβάλει στην αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση".

2.2 Ευκαιρίες για την ανάπτυξη του υδρογόνου στην Ελλάδα

Προχωρώντας προς μια εποχή καθαρών μηδενικών εκπομπών, ο ρόλος του υδρογόνου δεν είναι ακόμη σαφής. Ομολογουμένως, το υδρογόνο είναι ο δρόμος για τη μείωση των εκπομπών σε τομείς όπου δεν μπορούν εύκολα να απαλλαγούν από τον άνθρακα, όπως οι οδικές μεταφορές, η βαριά βιομηχανία, η αμμωνία, ο χάλυβας, τα ναυτιλιακά καύσιμα, η αεροπλοΐα.

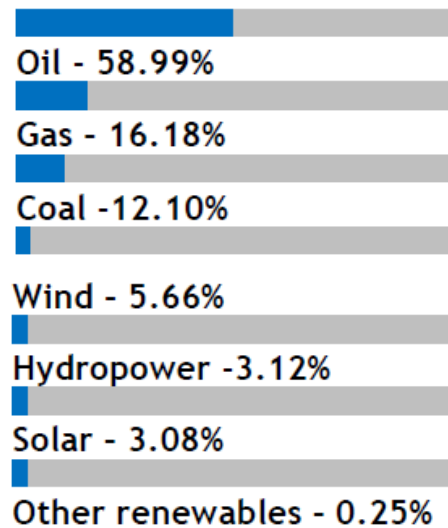
Η ευρεία ανάπτυξη του υδρογόνου στις εθνικές οικονομίες θα εξαρτηθεί από τη διαθεσιμότητα του υδρογόνου και το κόστος και τις επιδόσεις σε σχέση με τις εναλλακτικές λύσεις για κάθε πιθανή εφαρμογή. Για την περίπτωση της Ελλάδας, το μείγμα καυσίμων της χώρας, οι ενεργειακές ανάγκες και η ένταση των αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα, καθώς και ορισμένα ειδικά χαρακτηριστικά της χώρας, μας επιτρέπουν να εντοπίσουμε ευκαιρίες και δυσκολίες για την ανάπτυξη του υδρογόνου.

Αρχικά, στην Ελλάδα ο πιο ενεργοβόρος τομέας είναι οι Μεταφορές, οι οποίες αντιστοιχούν στο 36,7% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας το 2018, και ακολουθούν τα νοικοκυριά που -για το ίδιο έτος- ήταν υπεύθυνα για το 24,3% της συνολικής κατανάλωσης και η Βιομηχανία που κατανάλωσε το 22,8% της σωρευτικής κατανάλωσης της χώρας. Το εμπόριο και οι υπηρεσίες αντιπροσώπευαν το 13,1% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, ενώ το ενεργειακό μερίδιο του γεωργικού τομέα για το έτος 2018 ήταν μόλις 1,7%.

Όσον αφορά το μερίδιο της κατανάλωσης ενέργειας ανά πηγή στην Ελλάδα, δεδομένου ότι το πετρέλαιο καλύπτει το 98% των αναγκών στις μεταφορές, η τελική κατανάλωση ενέργειας της χώρας κυριαρχείται από το πετρέλαιο. Το μερίδιο της κατανάλωσης ενέργειας ανά πηγή στην Ελλάδα το 2019, όπως απεικονίζεται στο παρακάτω Σχήμα, αποκαλύπτει ότι τα ορυκτά καύσιμα κάλυψαν το 87,27% των συνολικών ενεργειακών αναγκών της χώρας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ η Ελλάδα είναι αυτάρκης σε άνθρακα, έχει πολύ μικρή εγχώρια παραγωγή πετρελαίου και καμία παραγωγή φυσικού αερίου. Έτσι, η ζήτηση αυτών των καυσίμων καλύπτεται από εισαγωγές.

Όσον αφορά την ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, το 2019, οι μονάδες φυσικού αερίου παρείχαν το 42,4%, οι πετρελαϊκές μονάδες το 10%, οι λιγνιτικές μονάδες το 22,6% και οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας παρήγαγαν το 25%. Ωστόσο, η εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν επαρκεί για τις ενεργειακές ανάγκες της χώρας. Προκειμένου να καλυφθεί το κενό μεταξύ της εγχώριας παραγωγής και της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, η Ελλάδα είναι καθαρός εισαγωγέας ηλεκτρικής ενέργειας, με τις καθαρές εισαγωγές να καλύπτουν ένα χαμηλό μερίδιο της τάξης του 16% περίπου του συνολικού εφοδιασμού.

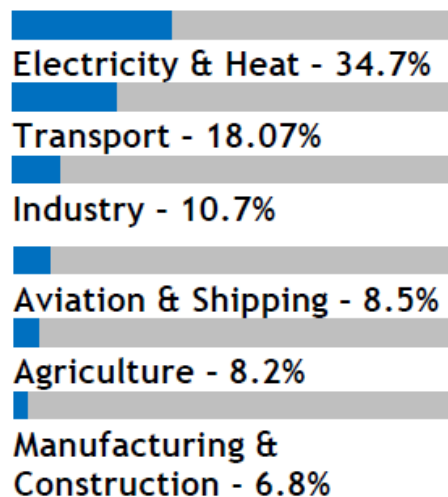
Σχήμα 1: Ελλάδα - μερίδιο κατανάλωσης ενέργειας ανά πηγή το 2019



Το μερίδιο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα στην Ελλάδα το 2016 απεικονίζεται στο παρακάτω Σχήμα.

Ο εφοδιασμός ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας φαίνεται να είναι οι μεγαλύτερες πηγές εκπομπών, και ακολουθούν οι μεταφορές και η βιομηχανία. Για τον τομέα αυτό, το 2019, το 65% των εκπομπών προήλθε από τον άνθρακα, το 19% από το φυσικό αέριο και το 16% από το πετρέλαιο. Η αεροπλοΐα και η ναυτιλία κατέχουν σημαντικό μερίδιο στο σύνολο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι η διεθνής ναυτιλία και η διεθνής αεροπλοΐα, δεν εμπίπτουν στις εθνικές πολιτικές μετριασμού του κλίματος.

Σχήμα 2: **Ελλάδα - μερίδιο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα στην Ελλάδα το 2016**



Εστιάζοντας στην ηλεκτρική ενέργεια, όπως έχει ήδη αναφερθεί, το φυσικό αέριο και οι ΑΠΕ κυριαρχούν σήμερα στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η χρήση λιγνίτη αναμένεται να εξαλειφθεί σύντομα. Στην πραγματικότητα, η Ελλάδα δημοσίευσε ένα Γενικό Σχέδιο για την απαλλαγή από τον άνθρακα, σύμφωνα με το οποίο η Ελλάδα φιλοδοξεί να καταργήσει σταδιακά όλες τις λιγνιτικές μονάδες έως το 2028. Η Ελλάδα ήταν ιστορικά μία από τις πιο εξαρτημένες από τον λιγνίτη χώρες της Ευρώπης, λόγω των άφθονων πόρων άνθρακα στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας και του δήμου

Μεγαλόπολης (Περιφέρεια Πελοποννήσου). Αξίζει να σημειωθεί ότι μεταξύ 2018 και 2020, το μερίδιο του λιγνίτη στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας μειώθηκε από 33,9% σε 10,3%.

Ωστόσο, για την Ελλάδα, η οποία εισάγει όλο το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο (το τελευταίο χρησιμοποιείται κυρίως στα μη διασυνδεδεμένα νησιά) και εισάγει καθαρή ηλεκτρική ενέργεια από το εξωτερικό, τα αποθέματα λιγνίτη αποτελούσαν μια σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας. Για την ακρίβεια, η Ελλάδα είναι η έβδομη χώρα στον κόσμο και η τρίτη στην ΕΕ-27 όσον αφορά την παραγωγή λιγνίτη. Δεδομένου ότι η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό ανεκμετάλλευτο δυναμικό παραγωγής ΑΠΕ, η παραγωγή και χρήση πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή θα μπορούσε να τερματίσει την εξάρτηση της χώρας από τις χώρες εξαγωγής ορυκτών καυσίμων και να βελτιώσει έτσι την ενεργειακή της ασφάλεια, ενισχύοντας παράλληλα τις ανάγκες ευελιξίας του συστήματος και μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Όσον αφορά τη θέρμανση, η θέρμανση κτιρίων στην Ελλάδα το 2017 καλύφθηκε κυρίως από πετρέλαιο θέρμανσης (46,64%) και στερεά βιοκαύσιμα χαμηλού κόστους (32,65%), και δευτερευόντως από ηλεκτρική ενέργεια (9,74%) και φυσικό αέριο (11,93%). Η ανάμειξη του υδρογόνου με το φυσικό αέριο στην υφιστάμενη υποδομή φυσικού αερίου θα είχε περιορισμένο αντίκτυπο στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου της χώρας από τον τομέα της θέρμανσης, λόγω του σχετικά μικρού μεριδίου του φυσικού αερίου στο μείγμα καυσίμων θέρμανσης. Ωστόσο, μακροπρόθεσμα, μια αποκλειστική υποδομή υδρογόνου σε συνδυασμό με επενδύσεις για την αντικατάσταση των οικιακών λεβήτων πετρελαίου, θα μπορούσε να απαλλάξει αποτελεσματικά από τις ανθρακούχες εκπομπές ένα μεγαλύτερο τμήμα του τομέα θέρμανσης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η Ελλάδα σχεδιάζει επί του παρόντος να επενδύσει σημαντικά σε νέα δίκτυα φυσικού αερίου για να προσεγγίσει νέους καταναλωτές και να συμβάλει στην υποκατάσταση των ρυπογόνων προϊόντων πετρελαίου που χρησιμοποιούνται για θέρμανση. Το εν λόγω σχέδιο δεν φαίνεται να εξετάζει ενδεχόμενες επεκτάσεις των δικτύων φυσικού αερίου μακροπρόθεσμα για ένα καθαρό μηδενικό ενεργειακό σύστημα το 2050 ή αν τα νέα αυτά δίκτυα θα έχουν αρνητικό αντίκτυπο σε άλλες πολιτικές (π.χ. υψηλό κόστος που θα πρέπει να καταβάλουν οι πελάτες ή λανθάνοντα περιουσιακά στοιχεία).

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό της Ελλάδας είναι ότι οι κατά κεφαλήν εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται στις περισσότερες ελληνικές μεγάλες περιφέρειες¹ είναι κάτω από 10 tCO_{2e} κατά άτομο. Μόνο η Δυτική Μακεδονία και η Στερεά Ελλάδα έχουν υψηλότερες κατά κεφαλήν εκπομπές από τον μέσο όρο του ΟΟΣΑ των 11,5 tCO_{2e}. Οι εκτιμώμενες κατά κεφαλήν εκπομπές στη Δυτική Μακεδονία -όπου λειτουργούν λιγνιτικές μονάδες- είναι πάνω από 18 φορές υψηλότερες από ό,τι στα Ιόνια Νησιά. Στην ίδια περιοχή λειτουργούν σήμερα τρία δίκτυα τηλεθέρμανσης που αξιοποιούν τα θερμικά απόβλητα από την καύση λιγνίτη. Το υδρογόνο θα μπορούσε να αντικαταστήσει τον λιγνίτη στις εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης.

Όσον αφορά τον τομέα των μεταφορών, θα πρέπει να τονιστεί ότι, παρόλο που οι μεταφορές θεωρούνται στα περισσότερα Εθνικά Σχέδια για την Ενέργεια και το Κλίμα της ΕΕ ως το πρώτο τμήμα της αγοράς που θα αναπτύξει το υδρογόνο, το Σχέδιο της Ελλάδας προβλέπει ότι η τελική κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών το 2030 θα καλυφθεί μέσω πετρελαιοειδών, προηγμένων βιοκαυσίμων, φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Εναλλακτικών Καυσίμων, η Εθνική Έκθεση της Ελλάδας για το 2019 σχετικά με την εφαρμογή του Εθνικού Πλαισίου Πολιτικής για την Ανάπτυξη της Αγοράς όσον αφορά

¹ Ανατολική Μακεδονία, Θράκη, Κεντρική Μακεδονία, Ήπειρος, Θεσσαλία, Ιόνια νησιά, Δυτική Ελλάδα, Αττική, Βόρειο Αιγαίο, Νότιο Αιγαίο, Κρήτη

τις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών και την ανάπτυξη των σχετικών υποδομών, αποκαλύπτει ότι "Τα επόμενα χρόνια δεν αναμένεται να προωθηθεί το υδρογόνο ως καύσιμο στον τομέα των μεταφορών".

Η τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές στην Ελλάδα κυριαρχείται από τα πετρελαιοειδή, (93% το 2016), ενώ το φυσικό αέριο (Compressed Natural Gas, καθώς δεν υπάρχει υποδομή ανεφοδιασμού για LNG), τα βιοκαύσιμα (βιοντίζελ) και η ηλεκτρική ενέργεια μοιράζονται το υπόλοιπο 7%. Οι οδικές μεταφορές είναι υπεύθυνες για το μεγαλύτερο μέρος της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στις μεταφορές, (μερίδιο 87% το 2016), και ακολουθούν ο τομέας των εγχώριων θαλάσσιων μεταφορών (9%), οι εγχώριες αεροπορικές μεταφορές (3%) και οι σιδηροδρομικές μεταφορές (1% -το μεγαλύτερο μέρος των οποίων βασίζεται σε ντιζελομηχανές). Εστιάζοντας στις οδικές μεταφορές, τα επιβατικά αυτοκίνητα καταναλώνουν το 57% της συνολικής τελικής κατανάλωσης του μέσου, τα φορτηγά και τα ελαφρά οχήματα ευθύνονται για το 40% της συνολικής κατανάλωσης του οδικού μέσου, το 4% αποδίδεται στα λεωφορεία και το υπόλοιπο 3% στις μοτοσυκλέτες.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι οδικές μεταφορές είναι ο κυρίαρχος τρόπος μεταφοράς στην ενδοχώρα τόσο για τους επιβάτες όσο και για τα εμπορεύματα, εν μέρει λόγω των χαρακτηριστικών του εδάφους της χώρας και επίσης λόγω της ανεπαρκούς σιδηροδρομικής υποδομής. Αναλυτικότερα, το 2015, τα λεωφορεία και τα πούλμαν στην Ελλάδα μετέφεραν το 17% των επιβατών που ταξίδευαν χερσαία, σχεδόν διπλάσιο από τον μέσο όρο της ΕΕ που είναι 9% και οι σιδηροδρομικές μεταφορές χρησιμοποιήθηκαν για το 2% των εμπορευματικών χερσαίων μεταφορών και το 1% των χερσαίων μεταφορών επιβατών έναντι του μέσου όρου της ΕΕ που είναι 17,4% για τα εμπορεύματα και 7,6% για τους επιβάτες, αντίστοιχα.

Δεδομένης της ενεργειακής έντασης του ελληνικού τομέα μεταφορών που βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα, το υδρογόνο θα μπορούσε να αναπτυχθεί με πολλούς τρόπους και σε συνδυασμό με άλλες εναλλακτικές λύσεις (π.χ. επέκταση της υποδομής των ηλεκτρικών σιδηροδρόμων) για την απαλλαγή του τομέα από τον άνθρακα. Η τεχνολογία κυψελών καυσίμου υδρογόνου για τα οδικά οχήματα είναι καθιερωμένη και η διεθνής πρακτική δείχνει ότι τα φορτηγά μεγάλων αποστάσεων, τα φορτηγά και τα βαρέα οχήματα κινούνται προς την τεχνολογία κυψελών καυσίμου υδρογόνου, ενώ η τεχνολογία μπαταριών υιοθετείται για τα αστικά αυτοκίνητα. Η χρήση λύσεων μόνο με μπαταρίες στα οχήματα αυτά είναι λιγότερο ελκυστική από τη χρήση υδρογόνου που παρουσιάζει ταχύτερο χρόνο ανεφοδιασμού και υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Συνδυάζοντας το δυναμικό του υδρογόνου ως καυσίμου για τις οδικές μεταφορές με τον τρόπο μεταφοράς που έχει τις υψηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα, οι εμπορευματικές μεταφορές και οι βαριές επιβατικές μεταφορές θα πρέπει να είναι οι πρώτοι υποψήφιοι συμβατοί με το υδρογόνο. Για τις ελληνικές σιδηροδρομικές μεταφορές, οποιαδήποτε παρέμβαση σήμερα θα είχε μικρή επίπτωση στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου της χώρας. Ωστόσο, η ελληνική κυβέρνηση σχεδιάζει την επέκταση της σιδηροδρομικής υποδομής. Σε αυτή την περίπτωση, η χώρα θα μπορούσε να εξετάσει την κορυφαία επιλογή στην Ευρώπη, η οποία σήμερα είναι η χρήση κυψελών καυσίμου υδρογόνου που υποστηρίζονται από μια συστοιχία μπαταρίας. Όσον αφορά τον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών, το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα προωθεί τη μελλοντική ευρύτερη υιοθέτηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καυσίμου για την εγχώρια ναυτιλία. Στην πραγματικότητα, η χρήση υδρογόνου στα πλοία εγείρει ανησυχίες που αφορούν την ενεργειακή πυκνότητα, το μέγεθος και το κόστος των συστημάτων αποθήκευσης καυσίμων, τον διαθέσιμο χώρο φορτίου και επιβατών κ.λπ. Λίγα πιλοτικά προγράμματα για οχηματαγωγά πλοία με καύσιμο υδρογόνο λαμβάνουν χώρα παγκοσμίως και μακροπρόθεσμα η Ελλάδα θα μπορούσε να επωφεληθεί μέσω της ωρίμανσης των σχετικών τεχνολογιών και των οικονομικών κλίμακας.

Όσον αφορά τον βιομηχανικό τομέα, οι υφιστάμενες περιπτώσεις χρήσης του υδρογόνου ως πρώτης ύλης/αντιδραστηρίου, οι οποίες σήμερα βασίζονται σχεδόν αποκλειστικά στο γκρίζο υδρογόνο (που παράγεται από την αναμόρφωση του φυσικού αερίου), είναι η παραγωγή αμμωνίας, η διύλιση πετρελαίου και η χαλυβουργία. Αυτές μπορούν να είναι οι πρώτες βιομηχανίες που θα εξεταστούν για την απαλλαγή από τον άνθρακα, αντικαθιστώντας το γκρίζο υδρογόνο με μπλε ή πράσινο.

Επιπλέον, το υδρογόνο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τις ενεργειακές ανάγκες των βιομηχανικών εγκαταστάσεων και θα μπορούσε να αντικαταστήσει το φυσικό αέριο ως καύσιμο σε διαδικασίες παραγωγής θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας. Η ΕΕ-27 έχει συνολική δυναμικότητα για τη βιομηχανική παραγωγή αμμωνίας ίση με περίπου 21 εκατ. τόνους, εκ των οποίων μόνο το 1% παράγεται στην Ελλάδα (με βάση τα στοιχεία του 2013). Τα διυλιστήρια που λειτούργησαν το 2019 στην ΕΕ-28 (συμπεριλαμβανομένου του Ηνωμένου Βασιλείου), τη Νορβηγία και την Ελβετία είχαν δυναμικότητα πρωτογενούς διύλισης 681 εκατ. τόνων, εκ των οποίων η Ελλάδα αντιστοιχούσε σε 21,2 εκατ. τόνους (3,1%). Η Ελλάδα παρήγαγε επίσης το 0,9% του ακατέργαστου χάλυβα στην ΕΕ το 2019. Παρόλο που οι ελληνικές παραγωγικές δυνατότητες σε αμμωνία, χάλυβα και πετρελαιοειδή είναι χαμηλές σε σύγκριση με άλλα κράτη μέλη, οι εξαγωγές αυτών των αγαθών είναι απαραίτητες για την οικονομία της χώρας. Ειδικά τα ελληνικά διυλιστήρια συμβάλλουν σημαντικά στην ελληνική οικονομία (σχεδόν το 37,5% των εσόδων της Ελλάδας από εξαγωγές το 2012 προήλθε από διυλισμένα προϊόντα) και, ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να διατηρηθεί η ανταγωνιστικότητά τους (η τελευταία απειλείται από διυλιστήρια εκτός ΕΕ, όπου οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου δεν τιμολογούνται). Επομένως, η χρήση υδρογόνου αντί για φυσικό αέριο ως πρώτη ύλη στις προαναφερθείσες βιομηχανίες θα μπορούσε να έχει θετική επίδραση στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της χώρας και στην ενίσχυση της οικονομικής της θέσης. Σε παγκόσμιο επίπεδο, αρκετά διυλιστήρια συμμετέχουν σε έργα που αποσκοπούν στη χρήση ή την παραγωγή πράσινου υδρογόνου. Ένα τέτοιο έργο που υλοποιείται από τη Shell στο λιμάνι του Ρότερνταμ, μετατρέπει την πράσινη ηλεκτρική ενέργεια σε ανανεώσιμο υδρογόνο που χρησιμοποιείται για τη μείωση του αποτυπώματος εκπομπών των καυσίμων που παράγονται στο κοντινό διυλιστήριο στο Pernis. Όσον αφορά τη χρήση του υδρογόνου για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας βιομηχανικών διεργασιών, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η Ελλάδα διαθέτει ανεκμετάλλευτο δυναμικό ΑΠΕ, το οποίο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου για τέτοιους σκοπούς. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί ότι βραχυπρόθεσμα, οι βιομηχανικές διεργασίες που καταναλώνουν υδρογόνο θα μπορούσαν να επιλέξουν το μπλε υδρογόνο (που παράγεται είτε μέσω θερμικής αναμόρφωσης φυσικού αερίου με ατμό είτε μέσω αεριοποίησης άνθρακα, αλλά με δέσμευση και αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα) πριν από τη μετάβαση στο ανανεώσιμο υδρογόνο.

2.3 Ρυθμιστικό πλαίσιο για το υδρογόνο

Η Ελλάδα δεν διαθέτει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την ανάπτυξη και τη χρήση του υδρογόνου, αν και υπάρχουν πρόσφατες εξελίξεις προς αυτή την κατεύθυνση:

- Μετά τη δημοσιοποίηση στα μέσα του 2020 της Στρατηγικής της ΕΕ για το Υδρογόνο, τον Δεκέμβριο του 2020, το ελληνικό Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας ανακοίνωσε τη σύσταση νέας επιτροπής, υπεύθυνης για την ανάπτυξη Εθνικής Στρατηγικής για το Υδρογόνο. Η τελευταία θα περιλαμβάνει: έναν οδικό χάρτη για την ανάπτυξη και χρήση τεχνολογιών και εφαρμογών υδρογόνου και άλλων αερίων από ΑΠΕ σε επιμέρους ενεργειακούς τομείς, τα προτεινόμενα μέτρα πολιτικής ανά τομέα τελικής χρήσης, τα τεχνικά και οικονομικά στοιχεία για το κόστος ανάπτυξης και λειτουργίας εφαρμογών υδρογόνου και άλλων αερίων από ΑΠΕ.

- Τον Ιούλιο του 2021, η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (PAE) ήρθε σε επαφή με εξωτερικό σύμβουλο για την εκπόνηση μελέτης σχετικά με τη διαμόρφωση των βασικών αρχών του ρυθμιστικού πλαισίου όσον αφορά την ανάπτυξη υποδομών υδρογόνου και της αντίστοιχης αγοράς στην Ελλάδα.
- Τον Αύγουστο του 2021, ο Διαχειριστής Δικτύου Διανομής (ΔΕΔΑ) πρότεινε στη PAE την ακόλουθη προσθήκη/τροποποίηση στον Κώδικα Δικτύου: Να μετονομαστεί ο ισχύων "Κώδικας Διαχείρισης Δικτύου Διανομής Αερίου", σε "Δίκτυο Διαχείρισης Δικτύου, Κώδικας Διαχείρισης Δικτύου αυτών των μειγμάτων", με πρόβλεψη για περαιτέρω τροποποίηση ώστε να συμπεριληφθεί το υδρογόνο (πράσινο και μπλε) στα διανεμόμενα μείγματα καυσίμων αερίου.
- Τον Μάιο του 2021, η PAE ενέκρινε την επέκταση της υποδομής του αγωγού φυσικού αερίου που προτάθηκε από την Trans Adriatic Pipeline AG, τη Snam Rete Gas και τον ΔΕΣΦΑ (Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς), αναφέροντας ότι: "[...] Το έργο της αύξησης ισχύος που αφορά το Ελληνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου, δηλαδή ο νέος αγωγός 30 ιντσών και ο νέος συμπίεστής στην Αμπελιά αναμένεται να λειτουργήσει θετικά για το σύστημα, καθώς: [...] θα συμβάλει στην επίτευξη του στόχου της κλιματικής ουδετερότητας που αποτελεί στρατηγική της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, καθώς θεωρείται δεδομένο ότι η νέα αυτή επένδυση σε υποδομές φυσικού αερίου θα υποστηρίξει τη μεταφορά υδρογόνου ή/και βιοαερίου".
- Στις αρχές του 2021, η PAE εξετάζοντας τα δύο σημαντικότερα νέα έργα που περιλαμβάνονται στο Σχέδιο Ανάπτυξης του Διαχειριστή Μεταφοράς για την περίοδο 2021-2030, δηλαδή τους δύο αγωγούς υψηλής πίεσης, προς την Πάτρα και προς τη Δυτική Μακεδονία, σχολίασε ότι: το φυσικό αέριο θα πρέπει να θεωρηθεί ως καύσιμο-γέφυρα προς την πράσινη ανάπτυξη και ότι είναι σκόπιμο οι επεκτάσεις του Συστήματος Φυσικού Αερίου α) να πραγματοποιηθούν τα επόμενα χρόνια, ώστε να υπάρχει επαρκής χρόνος απόσβεσης, και β) να υποστηρίξουν τη μεταφορά υδρογόνου ή/και βιοαερίου, πάντα υπό συνθήκες οικονομικής αποδοτικότητας.

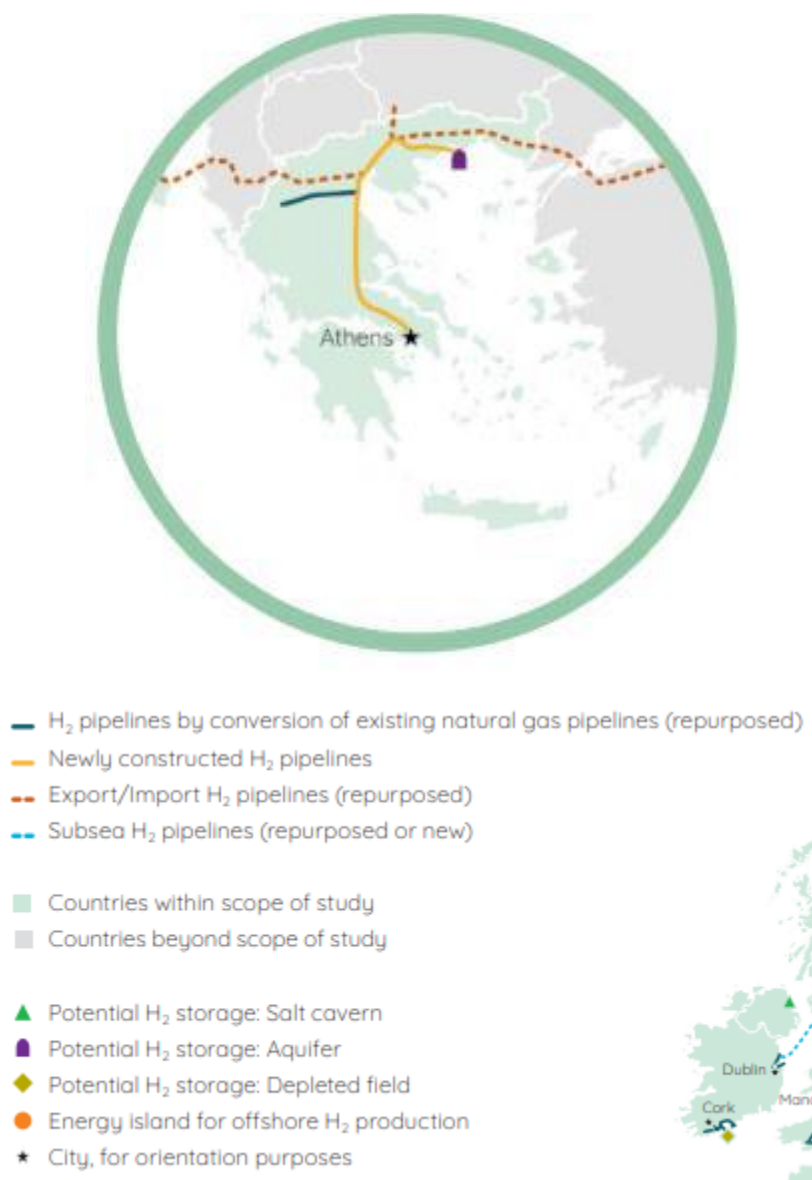
2.4 Σχέδια υποδομών

Για τη μετάβαση της Ελλάδας στην εποχή του υδρογόνου, η χώρα θα πρέπει να εξετάσει την ανάπτυξη εγκαταστάσεων παραγωγής μπλε και πράσινου υδρογόνου, την αξιοποίηση των υφιστάμενων ή άμεσα σχεδιαζόμενων υποδομών φυσικού αερίου για τη μεταφορά υδρογόνου και την ανάπτυξη ειδικών υποδομών και αγορών υδρογόνου. Για τον σκοπό αυτό, ορισμένες πρωτοβουλίες βρίσκονται σε εξέλιξη:

Ο ελληνικός Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς, ΔΕΣΦΑ, συμμετέχει στην πρωτοβουλία **European Hydrogen Backbone (EHB)**, η οποία αποτελείται από μια αυξανόμενη ομάδα 23 ευρωπαϊκών εταιρειών υποδομών φυσικού αερίου, που συνεργάζονται για τον σχεδιασμό μιας πανευρωπαϊκής υποδομής μεταφοράς υδρογόνου. Το European Hydrogen Backbone έχει συντάξει πρόταση για μια ειδική υποδομή αγωγών υδρογόνου μήκους 39.700 χιλιομέτρων που θα κατασκευαστεί έως το 2040, η οποία θα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε αναπροσαρμοζόμενους αγωγούς φυσικού αερίου και θα εκτείνεται σε 21 ευρωπαϊκές χώρες (19 κράτη μέλη, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ελβετία). Ο ρόλος της Ελλάδας-ΔΕΣΦΑ στο έργο European Hydrogen Backbone περιγράφεται ως εξής στην τελευταία έκθεση της πρωτοβουλίας, που δημοσιεύθηκε τον Απρίλιο του 2021: "*Μέχρι το 2040, τα δύο κύρια βιομηχανικά clusters της Ελλάδας στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη θα συνδεθούν, με νέους αγωγούς που θα ακολουθούν την υφιστάμενη διαδρομή φυσικού αερίου, η αναπροσαρμογή υφιστάμενων αγωγών μπορεί επίσης να αποτελέσει επιλογή ανάλογα με τις συνθήκες της αγοράς. Η αποθήκευση θα μπορούσε να είναι διαθέσιμη με τη μορφή υδροφόρου στρώματος κοντά στο νησί της Θάσου. Η σύνδεση με την Ευρώπη θα μπορούσε να γίνει είτε μέσω των θαλασσών με τη χρήση του αγωγού TAP*

είτε μέσω της Νοτιοανατολικής Ευρώπης. Το δυνητικό cluster υδρογόνου στη Δυτική Μακεδονία θα συνδεθεί επίσης με τη Θεσσαλονίκη, κοντά στην υφιστάμενη σύνδεση με τον TAP, μέσω του νέου, έτοιμου για υδρογόνο αγωγού στην περιοχή, ο οποίος βρίσκεται υπό ανάπτυξη".

Σχήμα 3: Ο ρόλος της Ελλάδας στην πρωτοβουλία European Hydrogen Backbone



2.5 Σημαντικά έργα Κοινού Ευρωπαϊκού Ενδιαφέροντος για το Υδρογόνο (Hydrogen IPCEI)

Τον Σεπτέμβριο του 2021, ο Έλληνας Υπουργός Ανάπτυξης και Επενδύσεων και ο Έλληνας Υπουργός Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής ενέκριναν τη συμμετοχή πέντε ελληνικών έργων υδρογόνου στο πρώτο κύμα σημαντικών έργων κοινού ευρωπαϊκού ενδιαφέροντος (IPCEI). Τα έργα αυτά είναι τα εξής:

White Dragon: Το έργο περιλαμβάνει την ανάπτυξη ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σε μεγάλη κλίμακα για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου με ηλεκτρόλυση στη Δυτική Μακεδονία για την υποστήριξη της σταδιακής κατάργησης 2,1GW λιγνιτικής ισχύος έως το 2029.

Green HIPO: Το έργο αυτό συμπληρώνει το White Dragon και περιλαμβάνει την κατασκευή μονάδας για την παραγωγή καινοτόμων ηλεκτρολυτών και κυψελών καυσίμου στη Δυτική Μακεδονία. Το Green HIPO θα παράγει ουσιαστικά τις κυψέλες καυσίμου που θα τροφοδοτούν το σχέδιο πράσινης ενέργειας του White Dragon.

Blue Med: Το έργο αυτό είναι αφιερωμένο στην παραγωγή μπλε και πράσινου υδρογόνου και θα ξεκινήσει το 2025.

H₂CAT TANKS: Το έργο αυτό είναι αφιερωμένο στην κατασκευή καινοτόμων δεξαμενών υψηλής πίεσης για την αποθήκευση υδρογόνου, ειδικά για τον τομέα των μεταφορών.

H₂CEM - TITAN: Το έργο περιλαμβάνει την παραγωγή, αποθήκευση και χρήση πράσινου υδρογόνου για καύση με σκοπό την παραγωγή ενέργειας για την απεξάρτηση από τον άνθρακα των εργοστασίων τσιμέντου της ελληνικής εταιρείας TITAN.

Τα 5 έργα πρέπει να *"αποδείξουν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή ότι είναι τεχνικά και οικονομικά ώριμα, σύμφωνα με τα κριτήρια του IPCEI"* για να εξασφαλίσουν στήριξη από τα χρηματοδοτικά μέσα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

2.6 Μελλοντικές Προοπτικές

Με βάση την τρέχουσα κατάσταση των πρωτοβουλιών που σχετίζονται με το υδρογόνο και των συζητήσεων που διεξάγονται στην Ελλάδα, πρέπει να αντιμετωπιστούν οι ακόλουθοι τομείς προτεραιότητας, προκειμένου να επιταχυνθεί η ανάπτυξη τεχνολογιών υδρογόνου στη χώρα:

- Η μεταφορά της αναθεωρημένης οδηγίας RED II στην ελληνική νομοθεσία. Αυτή η πρόσφατη αναθεώρηση θέτει νέο στόχο για τα ανανεώσιμα καύσιμα στις μεταφορές μη βιολογικής προέλευσης ύψους 2,6% (το πράσινο υδρογόνο εμπίπτει σε αυτή την κατηγορία καυσίμων) και νέο στόχο για μερίδιο 50% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην κατανάλωση υδρογόνου στη βιομηχανία, συμπεριλαμβανομένων των μη ενεργειακών χρήσεων.
- Το ρυθμιστικό πλαίσιο για το υδρογόνο θα πρέπει να αναπτυχθεί για την προσαρμογή του εθνικού συστήματος μεταφοράς φυσικού αερίου ώστε να επιτρέπει την ανάμειξη υδρογόνου και την ανάπτυξη ενός ειδικού συστήματος μεταφοράς υδρογόνου. Το ρυθμιστικό πλαίσιο χρειάζεται σαφείς ρόλους και αρμοδιότητες για τους διάφορους εμπλεκόμενους φορείς, πρέπει να επιτρέπει τη συμμετοχή τρίτων μερών και να διαμορφώνει τα τιμολόγια των υποδομών μεταφοράς υδρογόνου.
- Υπάρχει ανάγκη για ένα Εθνικό Σχέδιο Στρατηγικής για το Υδρογόνο, το οποίο θα παρέχει τη σαφήνεια και τη βεβαιότητα που χρειάζονται οι κατασκευαστές, οι επενδυτές και οι δανειολήπτες για το ευρύ ενδιαφέρον στην ανάπτυξη του υδρογόνου στην ελληνική ενεργειακή αγορά.
- Υπάρχει ανάγκη για σαφείς και ευνοϊκούς μηχανισμούς χρηματοδότησης για έργα υδρογόνου, καθώς η έλλειψη ειδικών μηχανισμών και εργαλείων χρηματοδότησης σε εθνικό επίπεδο μπορεί να αποτρέψει τους δυνητικούς ενδιαφερόμενους από το να επενδύσουν.
- Οι τεχνικοί περιορισμοί και οι ευκαιρίες πρέπει να αξιολογηθούν, για παράδειγμα: Αξιολόγηση και ανάλυση κενών του εθνικού συστήματος μεταφοράς φυσικού αερίου για την λήψη και μεταφορά μειγμάτων υδρογόνου.

Ενότητα 3: Ανάλυση της Σχέσης Κοινωνίας - Υδρογόνο

3.1. Τάσεις στις μεταφορές - Αυτοκίνητα που κινούνται με ενέργεια από υδρογόνο

Το υδρογόνο έχει δυνατότητα να καλύψει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στον τομέα των μεταφορών με ιδιαίτερα υψηλές εκπομπές ρύπων, προσφέροντας μια εναλλακτική λύση στα κοινά καύσιμα πετρελαίου. Η ανάγκη χρήσης αποδοτικών και καθαρών πηγών ενέργειας αποτελεί σημαντικό στοιχείο της ευρωπαϊκής πολιτικής για τις μεταφορές. Η σύγχρονη βιομηχανία μεταφορών (δηλαδή οι μεταφορές του 21^{ου} αιώνα) στοχεύει στην αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής και στη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας, μέσω της τροφοδοσίας των οχημάτων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης τεχνολογιών που βασίζονται στο υδρογόνο. Η χρήση του υδρογόνου και των παράγωγων καυσίμων του ανταγωνίζεται άλλες επιλογές απαλλαγής από τον άνθρακα σε διάφορους τομείς (ηλεκτρική ενέργεια έναντι υδρογόνου). Γενικά, το υδρογόνο ως πηγή ενέργειας ανταγωνίζεται άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης, αποδοτικά ηλεκτρικά δίκτυα και τη ζήτηση. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος, η ζήτηση, η αποθήκευση και η αποδοτικότητα στις μεταφορές, τη βιομηχανία, τη στέγαση και τις υπηρεσίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις τεχνικές και οικονομικές ιδιότητες των διαδικασιών παραγωγής καυσίμων. Η αποθήκευση υδρογόνου αποτελεί βασικό στοιχείο, ιδιαίτερα στη χρήση υδρογόνου σε μεγάλη κλίμακα, δηλαδή σε βιομηχανική κλίμακα και στις μεταφορές. Για να καλυφθούν οι απαιτήσεις της αγοράς ενέργειας υδρογόνου, είναι απαραίτητο να υπάρχουν σταθερές και αξιόπιστες λύσεις αποθήκευσης για κάθε εφαρμογή. Υπάρχουν τρεις κύριες πηγές παροχής υδρογόνου, οι οποίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη μέθοδο αποθήκευσης: αέρια, υγρή και παροχή υδρογόνου με βάση το υλικό. Η επιλογή εξαρτάται από τις συνθήκες της αγοράς, ιδίως από τη ζήτηση, η οποία εξαρτάται από τις δημογραφικές συνθήκες και τη συμπεριφορά των καταναλωτών. (Kluczek, 2019)

Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται έρευνες σχετικά με το μελλοντικό κόστος της αποθήκευσης και της τεχνολογίας υδρογόνου για μια ενεργειακή μετάβαση χαμηλών εκπομπών, οι οποίες προβλέπουν το κόστος της τεχνολογίας σε σχέση με τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και υδρογόνου, τις μπαταρίες κοινής ωφέλειας, την αντλησιοταμίευση, την αποθήκευση ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα (CAES) και την ηλεκτρόλυση υδρογόνου.

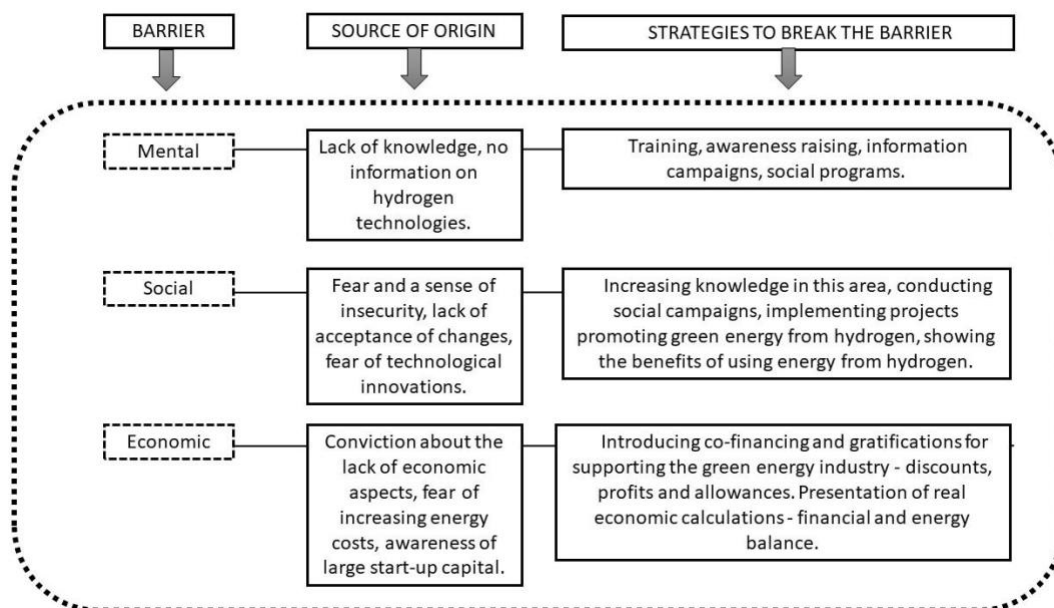
Επιπλέον, έχουν διεξαχθεί πολυάριθμες μελέτες, σχετικά με τις δυνατότητες των τεχνολογιών υδρογόνου, από κατασκευαστές αυτοκινήτων, πελάτες και προμηθευτές ενέργειας. Έχει παρατηρηθεί ότι η πιο αποτελεσματική μέθοδος προσέλκυσης καταναλωτών σε τεχνολογικές καινοτομίες είναι η προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο, αυτό αφορά κυρίως πελάτες που αναζητούν αυτοκίνητα που κινούνται με εναλλακτικά καύσιμα. Οι δραστηριότητες προώθησης θα πρέπει να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ πλούσιων και φτωχών, καθώς και μεταξύ ιδιαίτερα ανεπτυγμένων και λιγότερο ανεπτυγμένων χωρών. Ως εκ τούτου, σε διαφορετικές χώρες εφαρμόζονται διαφορετικές πρακτικές για την ενίσχυση μιας βιομηχανίας καθαρής ενέργειας και η σύγκριση χωρών μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία μιας πιο βιώσιμης βιομηχανίας και ιδιαίτερα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η εμπορευματοποίηση και η προώθηση του κοινωνικού κινήματος (υδρογόνου) μπορούν να συμβάλουν στην ευαισθητοποίηση σχετικά με τις κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η σημερινή οικονομία. Οι τεχνολογίες υδρογόνου θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ριζικό μετασχηματισμό των παγκόσμιων μεταφορών.

Οι πτυχές της ασφάλειας που σχετίζονται με τη χρήση του υδρογόνου είναι επίσης εξαιρετικά σημαντικές, επειδή το υδρογόνο είναι γνωστό για ακραίες ιδιότητες από πολλές απόψεις. Ως εκ τούτου, η αξιολόγηση των κινδύνων και η βελτιστοποίηση των υποδομών θα πρέπει να είναι πολύπλευρη για τον σωστό εντοπισμό των πιθανών απειλών και την εισαγωγή προληπτικών δράσεων, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα στοιχεία της επιχειρησιακής διαχείρισης. (Manuela Ingaldi, 2020)

3.2 Κοινωνική ευαισθητοποίηση και υπευθυνότητα

Γενικά, η προσφορά ενέργειας υδρογόνου βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην αγορά οχημάτων υδρογόνου και η ανάπτυξή της βασίζεται στις αγοραστικές ανάγκες των πολιτών (π.χ. οδηγών). Επομένως, στη στρατηγική για την ανάπτυξη της ενέργειας υδρογόνου ως εναλλακτική στα παραδοσιακά καύσιμα, είναι απαραίτητο να ξεπεραστούν τα ψυχολογικά, κοινωνικά και οικονομικά εμπόδια της κοινωνίας (παρακάτω Σχήμα).

Διάγραμμα 13: Εμπόδια που προκύπτουν κατά την εφαρμογή σύγχρονων (νέων, άγνωστων) τεχνολογιών (Manuela Ingaldi, 2020)



Τα ψυχολογικά εμπόδια υφίστανται λόγω του χαμηλού επιπέδου γνώσεων και μερικές φορές της παντελούς έλλειψης γνώσης, σχετικά με τις τεχνολογίες υδρογόνου και τη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας από υδρογόνο. Το δεύτερο εμπόδιο (το κοινωνικό εμπόδιο) βασίζεται στις κοινωνικές συνήθειες, οι οποίες σχετίζονται με την εξοικείωση με τις παραδοσιακές τεχνολογίες και το αίσθημα ανασφάλειας και απειλής από τις νέες (ελάχιστα γνωστές) τεχνολογίες. Το τρίτο εμπόδιο (το οικονομικό εμπόδιο) είναι φυσικό επακόλουθο της οικονομικής κατάστασης (τρόπος ζωής) των πολιτών. Είναι πολύ πιο εύκολο να σπάσει αυτό το εμπόδιο στις ιδιαίτερα ανεπτυγμένες και πλούσιες κοινωνίες. Ωστόσο, είναι ιδιαίτερα δύσκολο να ξεπεραστεί στις αναπτυσσόμενες χώρες, επειδή αναγκάζει τους πολίτες να δαπανήσουν ένα μεγάλο ποσό αρχικού κεφαλαίου. Απαιτείται επίσης αυξημένο επίπεδο εκπαίδευσης για την ορθή αξιολόγηση των ανταγωνιστικών τεχνολογιών ως προς τα οικονομικά και κοινωνικά τους οφέλη. Στο παραπάνω Σχήμα το τεχνολογικό εμπόδιο

παραλείπεται επειδή θεωρήθηκε ότι ο μέσος πολίτης δεν έχει γνώσεις (και δεν απαιτείται να έχει γνώσεις) σχετικά με την παραγωγή, την αποθήκευση και τη μεταφορά υδρογόνου. Αντίθετα, το τεχνολογικό εμπόδιο πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην έρευνα για τη μεταφορά τεχνολογίας και την εμπορική χρήση της τεχνολογίας. (Ibrahim & Law, 2014)

Τα περισσότερα έργα που σχετίζονται με την εφαρμογή τεχνολογιών υδρογόνου αξιολογούνται από την άποψη της βιώσιμης ανάπτυξης, με την υποστήριξη της έννοιας της Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης (ΕΚΕ). Η ΕΚΕ ορίζεται γενικά ως η δέσμευση και η συμβολή (αντίκτυπος) των επιχειρήσεων στη βιώσιμη ανάπτυξη. Είναι ένα μέσο για την ενσωμάτωση των αξιών της εταιρείας στη λήψη αποφάσεων, στις στρατηγικές και δράσεις με διαφάνεια και υπευθυνότητα, συμβάλλοντας έτσι εθελοντικά στη βελτίωση της κοινωνίας και της ποιότητας του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η αύξηση της κοινωνικής ευθύνης είναι δυνατή μόνο με την αύξηση της διαφάνειας των κοινωνικών και περιβαλλοντικών παραγόντων, χρησιμοποιώντας απλή και πιο ευανάγνωστη γλώσσα. Η άρση των φραγμών είναι δυνατή μόνο με την αύξηση της ευαισθητοποίησης των πολιτών με τη διεξαγωγή πολυάριθμων εκπαιδευτικών εκστρατειών και πληροφόρησης, καθώς και τη διεξαγωγή κοινωνικών εκστρατειών, την υλοποίηση έργων προώθησης της πράσινης ενέργειας από υδρογόνο και την εισαγωγή επιδοτήσεων και πριμοδότησης για την υποστήριξη της βιομηχανίας πράσινης ενέργειας, επιτρέποντας έτσι εκπτώσεις, κέρδη και οικονομικές ελαφρύνσεις. Επομένως, ο σχεδιασμός μιας πολιτικής προώθησης θα πρέπει να επικεντρώνεται στους σημαντικότερους (αναγνώσιμους) παράγοντες, π.χ. στη συνολική τιμή ενός οχήματος και στην οικονομία καυσίμου, δηλαδή στην εξοικονόμηση καυσίμου μακροπρόθεσμα. Τα οικονομικά κίνητρα, μια εκτεταμένη και καλά προσβάσιμη υποδομή φόρτισης και η τοπική παρουσία εγκαταστάσεων παραγωγής, συμβάλλουν στην ανάπτυξη της βιομηχανίας ηλεκτρικών οχημάτων σε μια δεδομένη χώρα. Επιπλέον, οι δυνητικές επιπτώσεις μιας αναδυόμενης μετάβασης στο υδρογόνο απαιτούν ευρεία δέσμευση κοινωνικής πρακτικής.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολυάριθμες αναφορές που δείχνουν αύξηση της ευαισθητοποίησης και σχετικά μικρή βελτίωση των γνώσεων σχετικά με την ενέργεια υδρογόνου και τις υποδομές υδρογόνου. Παρατηρούνται επίσης αλλαγές στην αντίληψη των κινδύνων και των οφελών για την κοινωνία και στην κοινωνική αποδοχή των επερχόμενων αλλαγών, ενδεχομένως ως αποτέλεσμα του χρονικού πλαισίου, της αποδοχής των ισορροπημένων κινδύνων και οφελών, καθώς και της πεποίθησης του κοινού ότι οι βιομηχανίες υδρογόνου είναι σε θέση να συμμορφωθούν με τα διεθνή πρότυπα ασφαλείας.

Σύμφωνα με άλλη έρευνα που διεξήχθη στο Ηνωμένο Βασίλειο, το επίπεδο γνώσεων σχετικά με την ενέργεια που προέρχεται από το υδρογόνο είναι χαμηλό. Ωστόσο, ανεξάρτητα από την εκπαίδευση και το κοινωνικοοικονομικό υπόβαθρο, οι άνθρωποι είναι πρόθυμοι να μάθουν περισσότερα για τις νέες ενεργειακές ευκαιρίες. Οι άνθρωποι φαίνεται να είναι αδιάφοροι για την έννοια της ενέργειας του υδρογόνου. Μεταξύ των μεγαλύτερων σε ηλικία μελών της κοινωνίας (με ανώτερη χημική εκπαίδευση), η παραγωγή υδρογόνου θεωρείται ανησυχητική, αν και το ποσοστό των περιπτώσεων αυτών ήταν τόσο μικρό που δεν ελήφθη γενικά υπόψη. Ωστόσο, μπορεί να υποτεθεί ότι το κοινό προετοιμάζεται (δηλ. ευαισθητοποιείται) για τις επερχόμενες αλλαγές, επειδή εκφράζει την ανησυχία του για τη χρήση των ορυκτών καυσίμων (περιορισμένοι πόροι, κλιματική αλλαγή, ρύπανση κ.λπ.). Γενικά, η γνώμη για το υδρογόνο είναι θετική, αλλά με την προϋπόθεση ότι δεν πρέπει να διακυβεύονται η τιμή και η ασφάλεια. Επιπλέον, η έρευνα Cherryman et al. σημείωσε ότι

οι γυναίκες αποδέχονται γενικά τη χρήση της ενέργειας υδρογόνου πιο ευνοϊκά, με τις κύριες ανησυχίες να είναι η ασφάλεια και το κόστος.

Τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν από την έρευνα Capellán-Perez et al. (2020) δείχνουν ότι, στις μετασοσιαλιστικές ευρωπαϊκές χώρες, είναι σημαντικά πιο δύσκολο να υλοποιηθούν έργα που βασίζονται στην καθαρή ενέργεια, όπως αποδεικνύεται από τον μικρό αριθμό έργων καθαρής ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Τσεχική Δημοκρατία, την Ουγγαρία, την Πολωνία, τη Σλοβακία και τη Σλοβενία.

Με βάση την παραπάνω βιβλιογραφική επισκόπηση του θέματος, παρατηρήθηκε ένα μεγάλο ερευνητικό κενό σε σχέση με τη στάση της κοινωνίας απέναντι στις νέες ενεργειακές τεχνολογίες και ιδιαίτερα στη χρήση της ενέργειας υδρογόνου. Η βιβλιογραφία παρέχει έρευνα για τη γενική κοινωνική ευθύνη απέναντι στις αλλαγές στις ενεργειακές τεχνολογίες, αλλά δεν υποδεικνύει τομείς στους οποίους θα πρέπει να ενισχυθούν οι γνώσεις των πολιτών.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται σε μια πιλοτική μελέτη αξιολόγησης της στάσης των κατοίκων των ευρωπαϊκών χωρών (όπου η υποδομή για ενέργεια υδρογόνου δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη) σε σχέση με τους τομείς που συσχετίζονται με: το φυσικό περιβάλλον, τις βασικές γνώσεις για την ενέργεια υδρογόνου και τη χρήση της ενέργειας υδρογόνου. Η ανάλυση που παρουσιάζεται είναι πολύτιμη κυρίως για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων για τον σχεδιασμό μεθόδων εξοικείωσης της κοινωνίας με τις τεχνολογίες ενέργειας υδρογόνου. Η παρούσα έρευνα μπορεί επίσης να αποτελέσει πολύτιμη πηγή πληροφοριών για τις βιομηχανίες, που ανησυχούν για τον αντίκτυπό τους στο περιβάλλον, καθώς και για τον αντίκτυπο των επιχειρηματικών τους μοντέλων στην αποδοχή της κοινωνίας. (Manuela Ingaldi, 2020)

3.3 Μέθοδοι της έρευνας

Ο κύριος στόχος της έρευνας είναι να προσδιοριστεί πώς αντιλαμβάνονται οι απλοί πολίτες την ενέργεια υδρογόνου και ειδικότερα την ενέργεια που χρησιμοποιείται στα οχήματα. Η μελέτη απευθύνθηκε σε άτομα που ζουν σε τρεις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης (Πολωνία, Τσεχική Δημοκρατία και Σλοβακία). Πρόκειται για χώρες στις οποίες η ενέργεια υδρογόνου δεν αξιοποιείται επαρκώς και οι υποδομές για την ενέργεια υδρογόνου δεν είναι ανεπτυγμένες.

Η έρευνα χωρίστηκε σε τρία μέρη: (Α) Φυσικό περιβάλλον, (Β) Ενέργεια Υδρογόνου και (Γ) Χρήση Καυσίμου Υδρογόνου. Κάθε ένα από αυτά τα τρία μέρη περιείχε 5 δηλώσεις. Οι ερωτηθέντες κλήθηκαν να δηλώσουν αν συμφωνούν με μια συγκεκριμένη δήλωση. Για την αξιολόγηση των δηλώσεων χρησιμοποιήθηκε πενταβάθμια κλίμακα Likert, όπου το 1 σημαίνει ότι διαφωνώ απόλυτα και το 5 σημαίνει ότι συμφωνώ απόλυτα. Τα σύνολα των δηλώσεων αξιολογήθηκαν για να αποκαλύψουν τις αδυναμίες στα κίνητρα της κοινωνίας για την ανάπτυξη της ενέργειας υδρογόνου, εντοπίζοντας έτσι τα πιο δύσκολα εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν. (Manuela Ingaldi, 2020)

Οι δηλώσεις της έρευνας είναι οι εξής:

A. Φυσικό περιβάλλον

A1. Αισθάνομαι υπεύθυνος για το φυσικό περιβάλλον.

A2. Οι πράξεις μου έχουν αντίκτυπο στο περιβάλλον.

A3. Οι άνθρωποι πρέπει να φροντίζουν όλο και περισσότερο το φυσικό περιβάλλον λόγω της τεράστιας ζημιάς που έχει υποστεί.

- A4. Η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αποτελεί προτεραιότητα για μια ανεπτυγμένη κοινωνία.
A5. Οι άνθρωποι έχουν πρόσβαση σε νέες τεχνολογίες που έχουν θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον.

B. Ενέργεια υδρογόνου

- B1. Η ενέργεια υδρογόνου είναι καθαρή ενέργεια.
B2. Η χρήση της ενέργειας υδρογόνου δεν εκπέμπει διοξείδιο του άνθρακα.
B3. Το υδρογόνο είναι μια δυνητικά μεγάλη πηγή ενέργειας.
B4. Η ενέργεια υδρογόνου είναι ασφαλής για τους ανθρώπους.
B5. Η χρήση της ενέργειας υδρογόνου έχει θετικό αντίκτυπο στο φυσικό περιβάλλον.

C. Χρήση καυσίμου υδρογόνου

- C1. Υπάρχουν διαθέσιμα οχήματα καυσίμου υδρογόνου στη χώρα μου.
C2. Το κόστος παραγωγής ενέργειας από υδρογόνο είναι υψηλό (σε σύγκριση με άλλα είδη ενέργειας).
C3. Στη χώρα μου, η υποδομή των σταθμών καυσίμων υδρογόνου είναι καλά ανεπτυγμένη.
C4. Η χρήση του καυσίμου υδρογόνου είναι ασφαλής.
C5. Ενδιαφέρομαι για τη δυνατότητα να αποκτήσω ένα αυτοκίνητο με καύσιμο υδρογόνο.

Οι ερωτήσεις είναι δομημένες με τέτοιο τρόπο ώστε η υψηλή βαθμολογία να σημαίνει ότι ο ερωτώμενος είναι υπέρ της οικολογίας (μέρος A) και κατανοεί τη λειτουργία της ενέργειας υδρογόνου (μέρος B), καθώς και τη χρήση του καυσίμου υδρογόνου (μέρος C).

Επιπλέον, το ερωτηματολόγιο περιείχε ένα τμήμα για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τα βασικά χαρακτηριστικά των ερωτηθέντων, ώστε να προσδιοριστεί η δομή των ατόμων που έλαβαν μέρος στη μελέτη. Συνολικά συμμετείχαν 766 άτομα στην έρευνα (247 από την Πολωνία, 223 από την Τσεχική Δημοκρατία και 199 από τη Σλοβακία).

Η χρήση της πενταβάθμιας κλίμακας Likert επέτρεψε την ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας όσον αφορά την αξιοπιστία των απαντήσεων. Για την ανάλυση αυτή, χρησιμοποιήθηκαν τα τεστ Cronbach Alpha και τα τυποποιημένα τεστ Cronbach Alpha τόσο για κάθε ομάδα ερωτήσεων όσο και για το σύνολο της έρευνας, ενώ αργότερα τα αποτελέσματα της ανάλυσης ερμηνεύτηκαν από τους Hair et al. Θεωρείται ότι ένας δείκτης Cronbach Alpha πάνω από την τιμή 0,7 σημαίνει ότι τα δεδομένα που συλλέχθηκαν είναι κατάλληλα για περαιτέρω ανάλυση.

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση κλίμακας για να προσδιοριστούν οι βαθμοί που έδιναν συχνότερα οι ερωτηθέντες. Στη συνέχεια, αναλύθηκαν τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, δηλαδή υπολογίστηκαν βασικά στατιστικά στοιχεία και ποσοστά των επιμέρους αξιολογήσεων. (Muller, 2006,)

3.4 Αποτελέσματα της έρευνας

Όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία, ο εντοπισμός των τομέων που χρήζουν βελτίωσης αποτελεί βασικό στοιχείο του σχεδιασμού και της υλοποίησης νέων έργων. Υπάρχουν πολυάριθμα εργαλεία διαχείρισης που υποστηρίζουν την επίτευξη μακροπρόθεσμων στόχων πραγματοποιώντας αναλύσεις τελευταίας τεχνολογίας. Έτσι, η έρευνα στοχεύει να εντοπίσει τον τομέα (εμπόδιο) που πρέπει να ξεπεραστεί για να νιώσει η κοινωνία θετικά για τις νέες ενεργειακές τεχνολογίες.

Αρχικά επαληθεύτηκαν τα συμπληρωμένα ερωτηματολόγια. Στην έρευνα συμμετείχαν συνολικά 766 ερωτηθέντες. Δεν συμπληρώθηκαν όλα τα ερωτηματολόγια σωστά στο σύνολό τους, με αποτέλεσμα να απορριφθούν 17 ερωτηματολόγια. Τελικά, 749 ερωτηματολόγια αναλύθηκαν περαιτέρω (παρακάτω Πίνακας).

Πίνακας 2: Ερωτηματολόγια που λήφθηκαν υπόψη κατά τη διάρκεια της έρευνας (Manuela Ingaldi, 2020)

Ερωτηθέντες	Ποσότητα	Ποσοστιαίες μονάδες
Αριθμός ερωτηθέντων, συμπεριλαμβανομένων:	766	100,00
Απορριφθέντα ερωτηματολόγια	17	2,22
Ορθά συμπληρωμένα ερωτηματολόγια	749	97,78

Έπειτα αναλύθηκε η δομή των ερωτηθέντων (παρακάτω Πίνακας) και υπολογίστηκαν τα ποσοστά των επιμέρους απαντήσεων. Φαίνεται ότι η δομή των ερωτηθέντων ήταν ποικίλη, αλλά ορισμένα χαρακτηριστικά επαναλαμβάνονταν. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται σε ένα ασυνήθιστο θέμα έρευνας, δηλαδή την ενέργεια υδρογόνου. Είναι πιθανό ότι ένας μεγάλος αριθμός ατόμων δεν ολοκλήρωσε την έρευνα ακριβώς επειδή το θέμα ήταν δύσκολο. Ωστόσο, αυτό υποδηλώνει επίσης ένα χαμηλό επίπεδο γνώσης και ευαισθητοποίησης.

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά των ερωτηθέντων (Manuela Ingaldi, 2020)

Χαρακτηριστικά	Ερωτηθέντες	Ποσοστό
Εθνικότητα	Πολωνός	45,3
	Τσέχος	29,1
	Σλοβάκος	25,6
Φύλο	Γυναίκα	54,1
	Άνδρας	45,9
Ηλικία	Ηλικία έως 20 ετών	0
	21–30 ετών	12,9
	31–40 ετών	21,6
	41–50 ετών	43,2
	51–60 ετών	19,5
	61–70 ετών	2,8
	Πάνω από 70 ετών	0
	Μαθητής/Φοιτητής	7,9

Χαρακτηριστικά	Ερωτηθέντες	Ποσοστό
Κοινωνική/επαγγελματική θέση	Εργαζόμενος	68,3
	Άνεργος	1,2
	Επιχειρηματίας	18,7
	Συνταξιούχος	3,9
Εκπαίδευση	Πρωτοβάθμια εκπαίδευση	0
	Χαμηλότερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση	0
	Επαγγελματική εκπαίδευση	21,8
	Δευτεροβάθμια εκπαίδευση	41,8
	Τριτοβάθμια εκπαίδευση	36,4
Τόπος κατοικίας	Χωριό	3,1
	Πόλη έως 50.000 κατοίκους	9,1
	Πόλη από 51.000 έως 100.000 κατοίκους	12,4
	Πόλη από 101.000 έως 200.000 κατοίκους	11,8
	Πόλη από 201.000 έως 400.000 κατοίκους	18,9
	Πόλη με πάνω από 300.000 κατοίκους	44,7

Αναλύθηκαν τα αποτελέσματα του κύριου μέρους της έρευνας. Πρώτον, υπολογίστηκε ο αριθμός των μεμονωμένων αξιολογήσεων για κάθε δήλωση. Με βάση αυτά τα δεδομένα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της συσχέτισης μεταξύ των επιμέρους δηλώσεων, λαμβάνοντας υπόψη τους βαθμούς που δόθηκαν.

Η μέση συσχέτιση μεταξύ των ερωτήσεων ήταν 0,27. Μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η εξάρτηση είναι σαφής, αλλά η τιμή αυτή υποδηλώνει χαμηλή συσχέτιση. Αυτό σημαίνει ότι, κατά μέσο όρο, υπάρχει μόνο μια μικρή συσχέτιση μεταξύ των επιμέρους δηλώσεων. Ο υψηλότερος συντελεστής συσχέτισης προέκυψε για τις δηλώσεις B1 και B2, δηλαδή "Η ενέργεια υδρογόνου είναι καθαρή ενέργεια" και "Η χρήση της ενέργειας υδρογόνου δεν εκπέμπει διοξείδιο του άνθρακα", όπως αναμενόταν. Ο μικρότερος (σχεδόν μηδενικός) συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε στην περίπτωση των δηλώσεων A3 και C5, δηλαδή, "Οι άνθρωποι πρέπει να φροντίζουν όλο και περισσότερο το φυσικό περιβάλλον λόγω της τεράστιας ζημιάς που έχει υποστεί" και "Ενδιαφέρομαι για τη δυνατότητα να αποκτήσω ένα αυτοκίνητο με καύσιμο υδρογόνο", γεγονός που υποδηλώνει την απουσία εξαρτήσεων.

Για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές Cronbach Alpha και τυποποιημένος Cronbach Alpha. Οι συντελεστές αυτοί υπολογίστηκαν τόσο για το σύνολο της έρευνας όσο και για τα επιμέρους τμήματά της (παρακάτω πίνακας). Στην περίπτωση της συνολικής έρευνας και των τμημάτων A και B, τα αποτελέσματα κυμάνθηκαν στο εύρος (0,8, 0,9), το οποίο υποδηλώνει πολύ καλή ισχύ συσχέτισης. Στην περίπτωση του τμήματος 3, το αποτέλεσμα ήταν

χαμηλότερο, εντός του εύρους (0,7, 0,8), δηλαδή καλή ισχύ συσχέτισης. Ωστόσο, σύμφωνα με τις προηγούμενες υποθέσεις, τα αποτελέσματα αυτά αποδεικνύουν την αξιοπιστία της μελέτης. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα της μελέτης υποβλήθηκαν σε περαιτέρω ανάλυση.

Πίνακας 4: **Συντελεστές Cronbach Alpha** (Manuela Ingaldi, 2020)

Τμήμα της Έρευνας	Cronbach Alpha	Τυποποιημένος Cronbach Alpha	Αριθμός στοιχείων
Ολόκληρη η έρευνα	0,812	0,850	15
A. Φυσικό περιβάλλον	0,815	0,864	5
B. Ενέργεια υδρογόνου	0,870	0,901	5
C. Χρήση καυσίμου υδρογόνου	0,764	0,792	5

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων ξεκίνησε με τα στατιστικά στοιχεία της κλίμακας. Ο παρακάτω Πίνακας παρέχει πληροφορίες σχετικά με το μέσο όρο, τη διακύμανση και την τυπική απόκλιση της κλίμακας που αποτελείται και από τα πέντε αναλυθέντα στοιχεία. Παρατηρείται ότι η κλίμακα που υιοθετήθηκε λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται από 5 (εάν ο ερωτώμενος επέλεξε τη χαμηλότερη δυνατή τιμή για όλα τα στοιχεία, δηλαδή 1) έως 75 (εάν ο ερωτώμενος επέλεξε 5 για όλες τις τιμές). Ο μέσος όρος 50,2444 σε αυτή την κλίμακα φαίνεται να είναι σχετικά υψηλός (δηλ. περίπου τα 2/3 της συνολικής κλίμακας) και υποδηλώνει θετική στάση των ερωτηθέντων απέναντι στην προστασία του περιβάλλοντος και την ενέργεια υδρογόνου.

Πίνακας 5: **Τα στατιστικά στοιχεία της κλίμακας** (Manuela Ingaldi, 2020)

Μέσος όρος	Διακύμανση	Τυπική απόκλιση	Αριθμός στοιχείων
50,3778	94,36840	9,71434	5

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων για τις επιμέρους ομάδες δηλώσεων προκύπτει ότι η ομάδα Α βαθμολογήθηκε με την υψηλότερη βαθμολογία (μέσος όρος 3,96), δηλαδή οι ερωτηθέντες συμφωνούσαν, αν και όχι απόλυτα, με τις δηλώσεις αυτές. Πρόκειται για μια ομάδα που σχετίζεται με την προστασία του περιβάλλοντος, η οποία συζητείται συχνά σε δημόσια φόρουμ. Επιπλέον, το "να είσαι οικολογικός" έχει γίνει πρόσφατα μόδα, γι' αυτό και τα αποτελέσματα αυτά δεν προκαλούν έκπληξη. Η υψηλότερη τυπική απόκλιση σημειώθηκε επίσης για αυτή την ομάδα δηλώσεων, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι βαθμολογίες σε αυτή την ομάδα διέφεραν περισσότερο.

Ο χαμηλότερος μέσος όρος προέκυψε για την ομάδα C (μέσος όρος 2,58), γεγονός που δείχνει ότι οι ερωτηθέντες είτε διαφωνούν είτε αδιαφορούν για τις δηλώσεις. Η ομάδα αυτή ασχολείται με τη χρήση του καυσίμου υδρογόνου. Οι χαμηλότερες βαθμολογίες σε αυτή την ομάδα δείχνουν ότι υπάρχει πολύ μικρή γνώση και ευαισθητοποίηση στην κοινωνία σχετικά με τα οφέλη της χρήσης ενέργειας από υδρογόνο. Αυτό αποδεικνύει ότι η ανάπτυξη και η επέκταση των τεχνολογιών υδρογόνου πρέπει να υποστηριχθεί σθεναρά από δράσεις που προωθούν όχι μόνο την οικολογία

αλλά, κυρίως, την τεχνολογία. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κοινωνία έχει υψηλό βαθμό πρόσβασης στην πληροφόρηση και απαιτεί καθαρά και ευανάγνωστα δεδομένα (που αποτελεί επίσης τεχνολογικό παράγοντα). Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συμβάλουν στην πειθώ του κοινού και να βελτιώσουν την αντίληψή του όσον αφορά την ασφάλεια και την προσβασιμότητα.

Κατά την ανάλυση των επιμέρους ερωτήσεων, μπορεί να σημειωθεί ότι οι ακόλουθες ερωτήσεις έλαβαν την υψηλότερη βαθμολογία: A3 (Οι άνθρωποι πρέπει να φροντίζουν όλο και περισσότερο το φυσικό περιβάλλον λόγω της τεράστιας ζημιάς που έχει υποστεί) και A4 (Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί προτεραιότητα για μια ανεπτυγμένη κοινωνία). Και στις δύο περιπτώσεις, ο μέσος όρος ήταν πάνω από 4, γεγονός που δείχνει ότι οι ερωτηθέντες συμφωνούν με τις εν λόγω δηλώσεις. Πρόκειται για σημαντικές δηλώσεις, διότι οι ερωτηθέντες γνωρίζουν ότι πρέπει να φροντίζουν το περιβάλλον και, ως εκ τούτου, να χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό δείχνει ότι η κοινωνία έχει, σε κάποιο βαθμό, ξεπεράσει ένα ψυχολογικό εμπόδιο όσον αφορά το ζήτημα της οικολογικής βιωσιμότητας. Αξιολογώντας τις υπόλοιπες δηλώσεις της ομάδας A, μπορεί να ειπωθεί ότι οι ερωτηθέντες συμφωνούν με αυτές, αν και η γνώμη τους μετατοπίζεται εν μέρει προς την αδιαφορία.

Στην ομάδα B, η μέση βαθμολογία για την ερώτηση B4 (Η ενέργεια υδρογόνου είναι ασφαλής για τον άνθρωπο) ήταν 2,56, γεγονός που δείχνει ότι οι ερωτηθέντες δεν ήταν απολύτως σίγουροι για την απάντησή τους: Αδιαφορία ή διαφωνία. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις αυτής της ομάδας, οι απαντήσεις έδειξαν μια διακύμανση μεταξύ αδιαφορίας και συμφωνίας με τη δήλωση. Το αποτέλεσμα αυτό αποδεικνύει ότι το κοινό γνωρίζει τα οφέλη της χρήσης ενέργειας από υδρογόνο, αλλά αισθάνεται άγχος και αβεβαιότητα σχετικά με την ασφάλειά της. Οι διακυμάνσεις των απαντήσεων μπορεί επίσης να οφείλονται σε μια διττή κατανόηση της ασφάλειας. Η ασφάλεια σε αυτή την κατηγορία μπορεί να αναφέρεται στην ασφάλεια των τεχνικών συνθηκών και στην ασφάλεια της πρόσβασης στην πηγή ενέργειας.

Η χειρότερη βαθμολόγηση ήταν για τη δήλωση C3 (δηλαδή, Στη χώρα μου η υποδομή των σταθμών καυσίμων υδρογόνου είναι καλά ανεπτυγμένη) που πέτυχε μέση βαθμολογία ερώτησης 1,44, δηλαδή οι ερωτηθέντες δεν συμφωνούσαν με τη δήλωση και συχνά διαφωνούσαν πλήρως. Είναι ενδιαφέρον ότι, βάσει της ανάλυσης της διαθεσιμότητας των σταθμών φόρτισης, συμπεραίνεται ότι στις χώρες που καλύπτει η μελέτη υπάρχουν τέτοιοι σταθμοί, αλλά ο αριθμός τους είναι πολύ μικρός. Οι σταθμοί φόρτισης βρίσκονται συνήθως κατά μήκος μεγάλων οδικών αξόνων και σε μεγάλες πόλεις.

Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων για τη δήλωση C5 (Ενδιαφέρομαι για τη δυνατότητα να αποκτήσω ένα αυτοκίνητο με καύσιμο υδρογόνο), οι ερωτηθέντες ήταν κατά μέσο όρο αδιάφοροι. Συγκριτικά, οι απαντήσεις στις άλλες δηλώσεις αυτής της ομάδας κυμάνθηκαν μεταξύ διαφωνίας και αδιαφορίας. Αυτό είναι αναμενόμενο. Εάν οι ερωτηθέντες πιστεύουν ότι η χώρα έχει έλλειψη υποδομών σταθμών φόρτισης, το κοινό δεν θα ενδιαφερθεί για αυτόν τον τύπο αυτοκινήτου. (Gholami & Pirsaeheb, 2020)

Κατά την ανάλυση των βαθμολογιών 5, δηλαδή των περιπτώσεων στις οποίες οι ερωτηθέντες συμφωνούν απόλυτα με μια συγκεκριμένη δήλωση, μπορεί να σημειωθεί ότι το υψηλότερο ποσοστό αυτής της βαθμολογίας καταγράφηκε για τις δηλώσεις A1 (Αισθάνομαι υπεύθυνος για το φυσικό περιβάλλον) και A3 (Οι άνθρωποι πρέπει να φροντίζουν όλο και περισσότερο το φυσικό περιβάλλον λόγω της τεράστιας ζημιάς που έχει υποστεί). Αυτό υποδηλώνει τις υψηλές δυνατότητες της

κοινωνίας να αφομοιώσει τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στη ζωή τους.

Η βαθμολογία 4 (συμφωνώ) ήταν κυρίαρχη για το A5 (Οι άνθρωποι έχουν πρόσβαση σε νέες τεχνολογίες που έχουν θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον). Η συμφωνία με τη δήλωση (αν και αβέβαιη) μπορεί να υποδηλώνει ότι, στην πραγματικότητα, το κοινό έχει πρόσβαση σε αυτές τις τεχνολογίες, αλλά μπορεί να μην τις χρησιμοποιεί πάντα. Η πρόσβαση σε αυτόν τον τομέα μπορεί να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από ένα οικονομικό εμπόδιο, όπως η έλλειψη οικονομικής υποστήριξης από το κράτος με τη μορφή επιδοτήσεων, εκπτώσεων ή οικονομικών κινήτρων.

Η βαθμολογία 3 (ουδέτερη, ούτε ναι ούτε όχι) επικράτησε για τις δηλώσεις B4 (Η ενέργεια υδρογόνου είναι ασφαλής για τους ανθρώπους), B3 (Το υδρογόνο είναι μια δυνητικά μεγάλη πηγή ενέργειας) και B5 (Η χρήση της ενέργειας υδρογόνου έχει θετικό αντίκτυπο στο φυσικό περιβάλλον). Αυτή η αδιαφορία που έδειξαν οι ερωτηθέντες υποδηλώνει έλλειψη γνώσης σχετικά με την τεχνολογία που σχετίζεται με την απόκτηση ενέργειας από υδρογόνο, καθώς και την ασφάλεια και τα οφέλη από τη χρήση αυτής της ενέργειας. Αυτό επιβεβαιώνει προηγούμενες παρατηρήσεις ότι η κοινωνία χρειάζεται σαφή στοιχεία σχετικά με την τεχνολογία και τα οφέλη του υδρογόνου.

Κατά την ανάλυση της βαθμολογίας 2 (διαφωνώ), δεν μπορεί να γίνει καμία αξιοσημείωτη παρατήρηση για αυτή την βαθμολογία. Μπορεί μόνο να σημειωθεί ότι οι δηλώσεις C1 (Υπάρχουν διαθέσιμα οχήματα καυσίμου υδρογόνου στη χώρα μου), C2 (Το κόστος παραγωγής ενέργειας από υδρογόνο είναι υψηλό (σε σύγκριση με άλλα είδη ενέργειας)) και C4 (Η χρήση του καυσίμου υδρογόνου είναι ασφαλής) αντιπροσώπευαν πάνω από το 20% αυτών των απαντήσεων. Ωστόσο, το εύρημα αυτό δεν είναι σημαντικό και δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Η βαθμολογία 1 (Διαφωνώ απόλυτα) ήταν ιδιαίτερα κυρίαρχη για τη δήλωση C3 (Στη χώρα μου, η υποδομή των σταθμών καυσίμων υδρογόνου είναι καλά ανεπτυγμένη). Αυτή είναι η ερώτηση με τη χαμηλότερη μέση βαθμολογία. Μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι οι ερωτηθέντες διαφωνούν πλήρως με αυτή τη δήλωση και αυτό δεν σημαίνει πραγματική έλλειψη υποδομών φόρτισης, αλλά μάλλον την άγνοια των ερωτηθέντων ως προς αυτό λόγω έλλειψης ενδιαφέροντος.

Η αρνητική στάση απέναντι στην ενέργεια υδρογόνου μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εμπόδιο στην ανάπτυξη της σε πολλές χώρες και αποτελεί στοιχείο των κοινωνικών εμποδίων, που παρουσιάστηκαν στο παραπάνω Σχήμα. Όπως προκύπτει από το τμήμα Β της έρευνας και συγκεκριμένα από την ερώτηση B4, οι ερωτηθέντες δεν είναι σίγουροι ότι η ενέργεια υδρογόνου είναι ασφαλής πηγή ενέργειας και, ως εκ τούτου, δεν αποδέχονται πλήρως αυτό το είδος ενέργειας. Αυτό πιθανώς σχετίζεται με το γεγονός ότι, στις χώρες που συμμετείχαν στην έρευνα, η ενέργεια υδρογόνου λαμβάνει ελάχιστη προσοχή. Λόγω του χαμηλού επιπέδου γνώσης των κατοίκων για την ενέργεια υδρογόνου, οι ερωτηθέντες φοβούνται τη χρήση της. Αυτό επιδεινώνεται από τους γενικότερους φόβους των ανθρώπων για κάθετι νέο και άγνωστο.

Επομένως, όπως φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα, η ευαισθητοποίηση του κοινού για το θέμα αυτό θα πρέπει να αυξηθεί μέσω διαφόρων κοινωνικών εκστρατειών, τηλεοπτικών προγραμμάτων ή άρθρων στον Τύπο που θα δείχνουν τα οφέλη από τη χρήση πράσινης ενέργειας, ιδίως της ενέργειας υδρογόνου. Προφανώς, είναι αδύνατο να πεισθεί όλη η κοινωνία. Ωστόσο, το να πεισθεί ένα μέρος της κοινωνίας μπορεί να βοηθήσει να ξεπεραστούν τα εμπόδια για την εφαρμογή της ενέργειας υδρογόνου σε μια δεδομένη χώρα. (Koroneos, 2004,)

Ενότητα 4: Ενέργεια και Υδρογόνο στις Δότεριες Χώρες

4.1 Ανασκόπηση Ενεργειακής Μετάβασης στην Βόρεια Θάλασσα

Παράλληλα με τη συνεχή παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν επίσης προτεραιότητα. Η ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική, η κυματική και η παλιρροϊκή ενέργεια, θα μπορούσε να οδηγήσει σε βιώσιμη και μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη που ταυτόχρονα διαφοροποιεί τα ενεργειακά μείγματα των χωρών. Οι χώρες της Βόρειας Θάλασσας έχουν ήδη κάνει αρκετά βήματα προς την κατεύθυνση αυτή, συγκεκριμένα:

- Μνημόνιο κατανόησης μεταξύ Ηνωμένου Βασιλείου και της Ενεργειακής Συνεργασίας Βόρειας Θάλασσας, με στόχο τη δημιουργία εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που θα επιτρέπουν σε κάθε χώρα να παράγει ενέργεια μειώνοντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το ενεργειακό κόστος.
- Η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου ανακοίνωσε σχέδια για την κατασκευή του μεγαλύτερου υπεράκτιου αιολικού έργου στον κόσμο, με επενδύσεις ύψους έως και 31 δισ. λιρών.
- Οι Κάτω Χώρες σχεδιάζουν να εισαγάγουν 10 GW πρόσθετης υπεράκτιας αιολικής ισχύος έως το 2030 και το έργο αναμένεται να προσελκύσει επενδύσεις ύψους σχεδόν 8 δισ. ευρώ.
- Η Νορβηγία επενδύει επίσης ενεργά στην πράσινη ενέργεια και σχεδιάζει να αποκτήσει 30 GW υπεράκτιας αιολικής ισχύος έως το 2040.
- Ο γερμανικός παραγωγός ενέργειας RE και η νορβηγική Equinor ανακοίνωσαν σχέδια για την κατασκευή σταθμών παραγωγής ενέργειας με καύσιμο υδρογόνο στη Γερμανία. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής θα λειτουργούν με φυσικό αέριο προτού μεταβούν στο μπλε υδρογόνο, ενώ περισσότερο από το 95% του CO₂ προορίζεται να συλλεχθεί και να αποθηκευτεί κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας.
- Η Δανία σκοπεύει να αυξήσει το στόχο της σε 12,9 GW υπεράκτιας αιολικής ισχύος έως το 2030.
- Οι γερμανικές εταιρείες επενδύουν δισεκατομμύρια στην υπεράκτια αιολική ενέργεια, με τη Γερμανία να στοχεύει σε ισχύ 30 GW έως το 2030. Η επένδυση αυτή θα καταμεληθεί σε διάφορα έργα, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης νέων τεχνολογιών, της υποστήριξης δραστηριοτήτων έρευνας και παραγωγής και της δημιουργίας του υπεράκτιου ενεργειακού δικτύου.

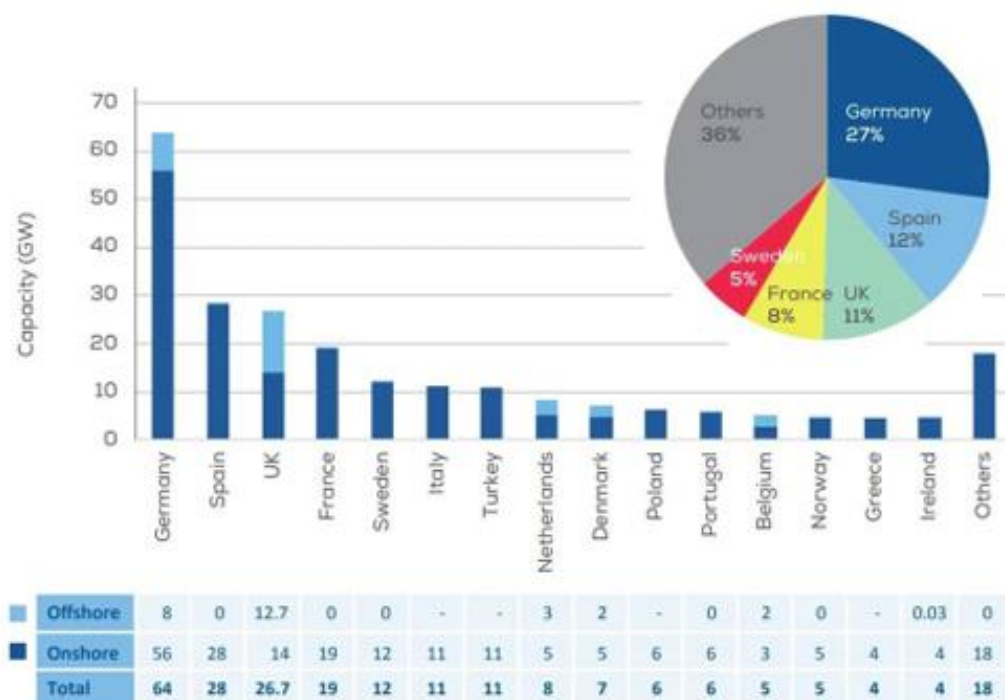
Αυτά τα έργα πράσινης ενέργειας είναι ιδιαίτερα κρίσιμα για τις χώρες της Βόρειας Θάλασσας και την ευρύτερη Ευρώπη, καθώς αποσκοπούν στη μείωση της εξάρτησής τους από τις ρωσικές εισαγωγές ορυκτών καυσίμων και στη βελτίωση της ανταγωνιστικότητάς τους στην παγκόσμια αγορά ενέργειας. Η πράσινη ενέργεια θα διαφοροποιήσει, το πιο σημαντικό, τα ενεργειακά τους μείγματα, προκειμένου να διατηρήσουν τις βιομηχανίες τους που διέρχονται κρίση, επιτρέποντας έτσι έναν πιο ασφαλή και βιώσιμο ενεργειακό εφοδιασμό. Στο πλαίσιο αυτό, η ανανεώσιμη ενέργεια σημείωσε εκθετική αύξηση το 2022. Η αιολική, η ηλιακή, η βιομάζα και η υδροηλεκτρική ενέργεια παρήγαγαν το 40% της ηλεκτρικής ενέργειας του Ηνωμένου Βασιλείου, σημειώνοντας αύξηση κατά 5% σε σχέση με το 2021. Ταυτόχρονα, η Γερμανία, η οποία υπέστη τα μεγαλύτερα πλήγματα από την ενεργειακή κρίση, πρόσθεσε σχεδόν 10 GW νέας καθαρής χερσαίας αιολικής και ηλιακής ισχύος και η παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια αντιπροσώπευε το 46% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της Γερμανίας, από 41% το 2021. Το Βέλγιο χρησιμοποίησε επίσης τα υπεράκτια αιολικά πάρκα του για την τροφοδοσία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καλύπτοντας το 8% της συνολικής ζήτησης.

Η ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών έργων θεωρείται επομένως ζωτικής σημασίας για την ενεργειακή ασφάλεια των χωρών της Βόρειας Θάλασσας και για την επίτευξη των στόχων τους για τις

ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς "το 80% των παγκόσμιων υπεράκτιων ανεμογεννητριών" βρίσκεται στη Βόρεια Θάλασσα. Παρά το βραδύτερο ξεκίνημα λόγω της πανδημίας, σημειώνεται σημαντική πρόοδος. Το 2022, οι κυβερνήσεις της Βόρειας Θάλασσας δημοπράτησαν 25 GW αιολικής ισχύος, τη μεγαλύτερη ισχύ στην ιστορία τους, και σχεδόν 30 GW διαγωνισμών έχουν προγραμματιστεί για τα επόμενα τρία χρόνια, με τη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο να κατέχουν σήμερα την πρώτη θέση όσον αφορά την υπεράκτια αιολική ισχύ. Ωστόσο, απαιτούνται ακόμη σημαντικές προσπάθειες για την επίτευξη των στόχων για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς οι χώρες της Βόρειας Θάλασσας πρέπει να εκσυγχρονίσουν άμεσα τις ενεργειακές υποδομές τους και να δημιουργήσουν πολιτικές και κανονισμούς για την ενθάρρυνση περαιτέρω ιδιωτικών επενδύσεων.

Επιπλέον, η ενεργειακή μετάβαση της Ευρώπης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα σπάνιων μεταλλευμάτων, τα οποία αποτελούν βασικά συστατικά για μεγάλο μέρος της τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η Κίνα ελέγχει σχεδόν το 90% της αγοράς σπάνιων μεταλλευμάτων, αλλά η πρόσφατη ανακάλυψη του μεγαλύτερου κοιτάσματος σπάνιων μεταλλευμάτων της Ευρώπης στη σουηδική πόλη Kiruna, από την εταιρεία εξόρυξης LKAB, θα προσδώσει σημαντική ώθηση στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και ενεργειακή ασφάλεια στην Ευρώπη μακροπρόθεσμα. Ωστόσο, θα χρειαστεί ακόμη περισσότερο από μια δεκαετία μέχρι να μπορέσουν να εξορυχθούν τα κοιτάσματα και να αποσταλούν στις αγορές. Επί του παρόντος, τα περισσότερα από τα ορυκτά σπάνιων μεταλλευμάτων που χρησιμοποιούνται στην ΕΕ προέρχονται από την Κίνα, συχνά με υψηλότερο κόστος. Η προμήθεια μεταλλευμάτων από την τοπική αγορά θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά το κόστος, καθιστώντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ακόμη πιο προσιτές. Επιπλέον, θα επέτρεπε στις χώρες της Βόρειας Θάλασσας να μειώσουν την εξάρτησή τους από ξένους πόρους, οι οποίοι βρίσκονται στο επίκεντρο γεωπολιτικών εντάσεων.

Σχήμα 4: Υπεράκτια και χερσαία εγκατεστημένη αιολική ισχύς



Source: WindEurope, February 2022

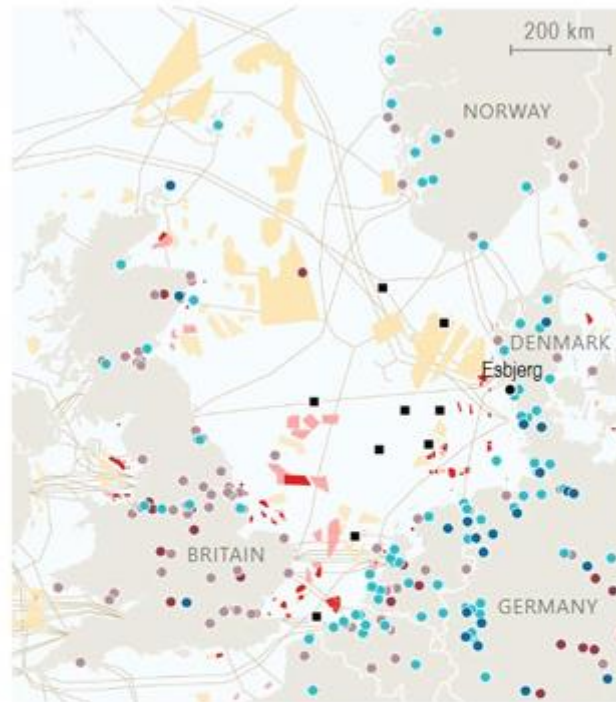
Source: Reuters.

Οι σημαντικές δυνατότητες παραγωγής των υπεράκτιων αιολικών συστημάτων προορίζονται για την ενίσχυση της παραγωγής πράσινου υδρογόνου. Η διαδικασία ηλεκτρόλυσης του πράσινου υδρογόνου τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γεγονός που την καθιστά βιώσιμη λύση για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη δημιουργία θέσεων εργασίας και ανάπτυξης στον τομέα της ενέργειας. Το κόστος της παραγωγής πράσινου υδρογόνου είναι ακόμη πολύ υψηλό για να είναι οικονομικά βιώσιμο σε σύγκριση με την παραγωγή υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, η ΕΕ έχει υπολογίσει ότι η επένδυση στο πράσινο υδρογόνο θα μπορούσε να δημιουργήσει έως και 1 εκατ. θέσεις εργασίας και, ως εκ τούτου, το πράσινο υδρογόνο είναι βέβαιο ότι θα αποτελέσει βασική πηγή ενέργειας στην περιοχή.

Η Γερμανία έχει καταβάλει σημαντικές προσπάθειες για την επίτευξη αυτού του στόχου. Παράλληλα με τον νέο τερματικό σταθμό υδροποιημένου φυσικού αερίου της Γερμανίας στο Wilhelmshaven, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση επενδύει επίσης στο πράσινο υδρογόνο. Το Wilhelmshaven αναμένεται να μετατραπεί σε ζώνη παραγωγής πράσινου υδρογόνου, με τον τωρινό κρατικοποιημένο πάροχο ενέργειας Uniper να ηγείται ενός έργου για την κατασκευή εγκαταστάσεων ηλεκτρόλυσης μεγάλης κλίμακας. Ταυτόχρονα, η Γερμανία, η Δανία, οι Κάτω Χώρες και το Βέλγιο υπέγραψαν συμφωνία ύψους 135 δισ. ευρώ για την υπεράκτια αιολική ενέργεια, προκειμένου να αξιοποιήσουν το νέο δυναμικό για το πράσινο υδρογόνο, καθιστώντας τη Βόρεια Θάλασσα το "πράσινο εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας της Ευρώπης". Τα υπεράκτια αιολικά έργα αναμένεται να παράγουν 65GW ετησίως έως το 2030, που ισοδυναμούν με "30 πυρηνικούς αντιδραστήρες", με απώτερο στόχο να φτάσουν τα 150GW ετησίως έως το 2050. Η συγκέντρωση έργων πράσινου υδρογόνου, εάν είναι επιτυχής, θα είναι κρίσιμη για την επίτευξη ενός κρίσιμου μεγέθους σε ενεργειακά έργα, τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη λειτουργία πλοίων, αυτοκινήτων και άλλων μεταφορών και βιομηχανικών διαδικασιών, όπως η παραγωγή χάλυβα και αλουμινίου, δημιουργώντας έτσι θέσεις εργασίας και τονώνοντας την οικονομική ανάπτυξη στην περιοχή και την ευρύτερη ευρωπαϊκή οικονομία.

Σχήμα 5: Έργα ανανεώσιμης ενέργειας στη Βόρεια Θάλασσα

'New' North Sea energy infrastructure



Offshore wind farms

■ Operating ■ In progress or application

■ Concept or development/auction areas

Hydrogen-electrolyser projects

● Operating ● In progress or application

Carbon-capture projects

● Operating ● Under development or planned

Source: The Economist.

Τα πιο συναρπαστικά έργα υποδομών πράσινης ενέργειας στη Βόρεια Θάλασσα είναι τα ενεργειακά νησιά, τα οποία προορίζονται να αποτελέσουν αυτοδύναμους υπεράκτιους ενεργειακούς κόμβους που θα παράγουν και θα αποθηκεύουν ενέργεια μηδενικών εκπομπών άνθρακα από διάφορες ανανεώσιμες πηγές. Θα μπορούσαν να γίνουν παγκόσμιοι κόμβοι για την παραγωγή και αποθήκευση πράσινου υδρογόνου. Αυτά τα ενεργειακά νησιά θα μπορούσαν να παράγουν αρκετή ενέργεια για την τροφοδοσία εκατομμυρίων ευρωπαϊκών νοικοκυριών, με τις χώρες της Βόρειας Θάλασσας να βρίσκονται στη διαδικασία εγκατάστασής τους:

- Το ενεργειακό νησί Vindø της Δανίας θα κατασκευαστεί από την Orsted και την ATP. Το νησί θα καλύπτει έκταση 400 τετραγωνικών χιλιομέτρων και αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία το 2033. Θα έχει αρχική ισχύ 3GW και θα συνδέεται με το Βέλγιο, ενώ σχεδιάζονται νέες συνδέσεις με τη Γερμανία και τις Κάτω Χώρες.
- Το Βέλγιο σχεδιάζει να κατασκευάσει ένα ενεργειακό νησί με στόχο τη ανάπτυξη 5,8 GW υπεράκτιας ισχύος έως το 2030.
- Οι Κάτω Χώρες και η Δανία θα διερευνήσουν σχέδια για τη σύνδεση του ενεργειακού νησιού της Δανίας με έναν ολλανδικό ενεργειακό κόμβο.

- Η Γερμανία και η Δανία σχεδιάζουν να επεκτείνουν το ενεργειακό νησί Bornholm στη Βαλτική Θάλασσα από 2 GW σε 3 GW.
- Η Νορβηγία θα κατασκευάσει δύο ενεργειακά νησιά, το ένα κοντά στο νησί Utsira και το άλλο κοντά στις ακτές του Nordland, με ισχύ 4,5 GW. Στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν τα νησιά για τη δοκιμή καινοτόμων τεχνολογιών και την αύξηση του μεριδίου των υπεράκτιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Τέλος, τα έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη Βόρεια Θάλασσα αναγνωρίζονται για τη σημασία τους στην προώθηση της οικονομικής ανάπτυξης, καθώς ανοίγουν νέες αγορές για την ενέργεια και τις βιομηχανίες. Αυτό θα ενισχύσει την ενεργειακή ασφάλεια των χωρών της Βόρειας Θάλασσας και θα προωθήσει ανθεκτικά ενεργειακά δίκτυα. Το πιο σημαντικό είναι ότι επιτρέπει στη Βόρεια Θάλασσα να γίνει η περιοχή με τις περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον κόσμο. Έτσι, καθώς η παραγωγή πράσινης ενέργειας κατευθύνεται προς τον Βορρά, αντίστοιχα θα μετατοπιστεί και το γεωοικονομικό κέντρο βάρους της Ευρώπης.

4.2. Συνεργασίες στην Νορβηγία για το Υδρογόνο

Το υδρογόνο είναι ένας ενεργειακός φορέας που μπορεί να παραχθεί από όλες τις πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου του φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τις οποίες η Νορβηγία διαθέτει σε αφθονία. Λόγω της ταχείας αύξησης του μεριδίου των διαλειπουσών πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, στο ενεργειακό σύστημα, έχει αυξηθεί σημαντικά το ενδιαφέρον για το υδρογόνο, τόσο για την απαλλαγή από τον άνθρακα όσο και για την ενίσχυση της ευελιξίας του ενεργειακού συστήματος. Για να διευκολύνει την απαιτούμενη ανάπτυξη, η νορβηγική κυβέρνηση πρέπει να αναλάβει ενεργό ρόλο. Φιλοδοξία του Νορβηγικού φόρουμ για το υδρογόνο είναι να αποτελέσει εποικοδομητικό εταίρο για τις δημόσιες αρχές στο πλαίσιο αυτό.

Η πρώτη εθνική στρατηγική για το υδρογόνο δρομολογήθηκε το 2005 από τα Υπουργεία Πετρελαίου και Ενέργειας και Μεταφορών και Επικοινωνιών. Τον Ιούνιο του 2020, η κυβέρνηση παρουσίασε μια νέα νορβηγική στρατηγική για το υδρογόνο και τον Ιούνιο του 2021 ακολούθησε ένας οδικός χάρτης. Ο οδικός χάρτης αποτελούσε μέρος της Λευκής Βίβλου "Δημιουργία αξίας από τα νορβηγικά ενεργειακά αποθέματα". Η Λευκή Βίβλος αναφέρει ότι η θέση της Νορβηγίας ως ενεργειακού έθνους θα αναπτυχθεί περαιτέρω μέσω νέων πρωτοβουλιών, όπως το υδρογόνο, η υπεράκτια αιολική ενέργεια, η ενίσχυση του δικτύου και ο τομέας πετρελαίου και φυσικού αερίου χαμηλών εκπομπών.

Η σημερινή κυβέρνηση έχει δηλώσει ότι θα συμβάλει στην ανάπτυξη μιας συνεκτικής αλυσίδας αξίας για το υδρογόνο που παράγεται με χαμηλές ή καθόλου εκπομπές, όπου η παραγωγή, η διανομή και η χρήση θα αναπτύσσονται παράλληλα. Η κυβέρνηση έχει κληθεί από το κοινοβούλιο να παρουσιάσει σχέδιο για την εισαγωγή των Συμβάσεων επί της Διαφοράς το 2023. Αυτό αναμένεται να αποτελέσει σημαντικό κίνητρο για τη μείωση του κινδύνου και την επιτάχυνση των επενδύσεων στην παραγωγή και χρήση υδρογόνου στη Νορβηγία.

Η Νορβηγία και η ΕΕ έχουν επικυρώσει τη διεθνή συμφωνία του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή και, όπως και η ΕΕ, η Νορβηγία έχει δεσμευτεί να επιτύχει στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990.

Η χρήση υδρογόνου και αμμωνίας είναι σημαντική για την επίτευξη των στόχων. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το Νορβηγικό φόρουμ για το υδρογόνο εργάζεται σκληρά για να διευκολύνει την ανάπτυξη της νορβηγικής βιομηχανίας υδρογόνου και αμμωνίας, μαζί με τα μέλη και τους διεθνείς εταίρους του.

4.2.1 Δίκτυο Περιφερειών

Το Δίκτυο Περιφερειών (County Network) είναι μια συνεργασία μεταξύ Περιφερειών και Δήμων στη Νορβηγία. Κύριος στόχος είναι η ανάπτυξη εύρυθμων αλυσίδων αξίας για το υδρογόνο σε ολόκληρη τη χώρα. Το Νορβηγικό φόρουμ για το υδρογόνο είναι η γραμματεία του δικτύου.

Οι περιφερειακές αρχές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο έργο της σταδιακής κατάργησης των ορυκτών καυσίμων και της διευκόλυνσης της ανάπτυξης λύσεων χαμηλών και μηδενικών εκπομπών. Το υδρογόνο έχει λάβει τα τελευταία χρόνια σημαντικά αυξημένη προσοχή από τις αρχές και τη βιομηχανία και έχουν δρομολογηθεί διάφορα έργα και πρωτοβουλίες σε όλη τη Νορβηγία. Αυτό αποτελεί πρόκληση αλλά και ευκαιρία για τις Περιφέρειες και τους Δήμους, τόσο σε πολιτικό όσο και σε διοικητικό επίπεδο. Οι Περιφέρειες και οι Δήμοι είναι σημαντικό να διευκολύνουν την ανάπτυξη με τέτοιο τρόπο ώστε να αξιοποιούνται οι ενεργειακοί πόροι, να δημιουργούνται πράσινες θέσεις εργασίας και να μειώνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Το Δίκτυο Περιφερειών έχει ως στόχο:

1. Να αυξήσει την επάρκεια σχετικά με το υδρογόνο στις Περιφέρειες και τους Δήμους.
2. Να παρέχει συμβολή σε περιφερειακά και τοπικά σχέδια και στρατηγικές δράσης.
3. Να ενεργεί ως εταίρος συζήτησης στην προετοιμασία του Νορβηγικού φόρουμ για το υδρογόνο για τις δημόσιες διαβουλεύσεις.
4. Να εργάζεται για τη βελτίωση των συνθηκών που επικρατούν σε εθνικό επίπεδο που έχουν ιδιαίτερη σημασία για τους Δήμους και τις Περιφέρειες.
5. Να αυξήσει την συνεργασία μεταξύ των συμμετεχόντων με την ανταλλαγή εμπειριών και το συντονισμό δραστηριοτήτων.

Σχήμα 6: Συμμετέχοντες στο Δίκτυο Περιφερειών



Η Herøya στην περιοχή Vestfold og Telemark είναι μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές περιοχές της Νορβηγίας και έχει δημιουργήσει ένα τοπικό δίκτυο υδρογόνου

Εικόνα 1: Τοπικό δίκτυο υδρογόνου στην Herøya στην περιοχή Vestfold og Telemark της Νορβηγίας



Η πόλη του Trondheim στοχεύει να διαδραματίσει ζωτικό ρόλο στην αλυσίδα αξίας του υδρογόνου και να ενισχύσει τη δημιουργία μιας ισχυρής περιφερειακής υποδομής για ανανεώσιμα και μη ορυκτά καύσιμα, συμπεριλαμβανομένου του υδρογόνου. Τα πρώτα φορτηγά υδρογόνου της Ευρώπης λειτουργούν από την ASKO MidtNorge, που βρίσκεται στο Trondheim.

Εικόνα 2: Φορτηγό υδρογόνου από την ASKO MidtNorge, στην πόλη Trondheim



Η περιοχή Troms og Finnmark έχει υιοθετήσει μια στρατηγική για το υδρογόνο και σκοπεύει να αξιοποιήσει τα φυσικά πλεονεκτήματα στην παραγωγή υδρογόνου, τόσο από φυσικό αέριο όσο και από αιολική ενέργεια. Το έργο Haeoulus της ΕΕ λειτουργεί έναν ηλεκτρολύτη νέας γενιάς ενσωματωμένο σε ένα υπερσύγχρονο αιολικό πάρκο σε μια απομακρυσμένη περιοχή με πρόσβαση σε ένα αδύναμο ηλεκτρικό δίκτυο, που βρίσκεται στο Raggovidda στο Finnmark.

Εικόνα 3: Έργο Haeoulus για παραγωγή υδρογόνου από αιολική ενέργεια



Η Vestfjorden Ferries που εκτελεί το δρομολόγιο μεταξύ του Bodø και των νησιών Lofoten θα χρησιμοποιεί υδρογόνο από το 2025. Η πόλη Bodø είναι η περιφερειακή πρωτεύουσα της κομητείας Nordland και κέντρο εφοδιαστικής και μεταφορών. Στόχος είναι η υλοποίηση συστημάτων μεταφορών με μηδενικές εκπομπές ρύπων μέσα στις επόμενες δεκαετίες. Το υδρογόνο αναμένεται να διαδραματίσει βασικό ρόλο σε αυτή τη φιλοδοξία.

Εικόνα 4: **Vestfjorden Ferries που εκτελεί δρομολόγιο μεταξύ του Bodø και των νησιών Lofoten**



4.2.2 Σκανδιναβική Συνεργασία για το Υδρογόνο

Η Σκανδιναβική Συνεργασία για το Υδρογόνο (Nordic Hydrogen Partnership -NHP) είναι μια συνεργασία μεταξύ των σκανδιναβικών ενώσεων για το υδρογόνο. Οι εταίροι είναι: το Norsk Hydrogen forum στη Νορβηγία, το Vätgass Sverige στη Σουηδία, το Brintbranchen στη Δανία, το VTT Technical Research Center της Φινλανδίας και το Icelandic New Energy στην Ισλανδία. Εκτός από πλατφόρμα επικοινωνίας μεταξύ των σκανδιναβικών χωρών, η Σκανδιναβική Συνεργασία για το Υδρογόνο χρησιμοποιεί την τεχνογνωσία τους για να ενισχύσει τη διατομεακή εφαρμογή των τεχνολογιών υδρογόνου και κυψελών καυσίμου στις Σκανδιναβικές χώρες, σε στενή συνεργασία με διάφορους εκπροσώπους της βιομηχανίας.

Η Σκανδιναβική Συνεργασία για το Υδρογόνο ιδρύθηκε το 2006, όταν οι διάφορες σκανδιναβικές ενώσεις για το υδρογόνου ένωσαν τις δυνάμεις τους για να συντονίσουν την εισαγωγή αυτοκινήτων υδρογόνου και των σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου στη σκανδιναβική αγορά. Η Σκανδιναβική Συνεργασία για το Υδρογόνο είχε αρχικά την ονομασία Σκανδιναβική Συνεργασία Αυτοκινητόδρομων Υδρογόνου (Scandinavian Hydrogen Highway Partnership -SHHP), αλλά η ονομασία αυτή άλλαξε μέχρι το τέλος του 2020 για να προσαρμοστεί στο διευρυμένο πεδίο εφαρμογής του οργανισμού.

Το Next Wave (2019 -) είναι μια πρωτοβουλία που δημιουργήθηκε μέσω της Σκανδιναβικής Συνεργασίας για το Υδρογόνο. Στόχος του έργου είναι να δώσει κίνητρα στις παγκοσμίως κορυφαίες εταιρείες τεχνολογίας υδρογόνου στη σκανδιναβική περιοχή για να δημιουργήσουν την πρώτη παγκοσμίως επέκταση της υποδομής υδρογόνου για μεγάλα οχήματα και να επιταχύνουν τη μεγαλύτερη εξάπλωση των φορτηγών και λεωφορείων υδρογόνου. Οι άλλοι εταίροι του έργου, μαζί με την Σκανδιναβική Συνεργασία για το Υδρογόνο, είναι το Kunnskapsbyen Center of Innovation και η Everfuel. Το έργο χρηματοδοτείται από το Nordic Innovation.

Εικόνα 5: Εταίροι της Σκανδιναβικής Συνεργασίας για το Υδρογόνο

VÄTGAS
SVERIGE

Brintbranchen
Hydrogen Denmark

VTT

ÍSLENSK
NÝORKA ehf
ICELANDIC NEW ENERGY Ltd.

KUNNSKAPSBYEN
LILLESTRØM

Norwegian
Hydrogen Forum

Ενότητα 5: Οικονομικές Προοπτικές του Υδρογόνου στην περιοχή Μέσης Ανατολής και Βόρειας Αφρικής

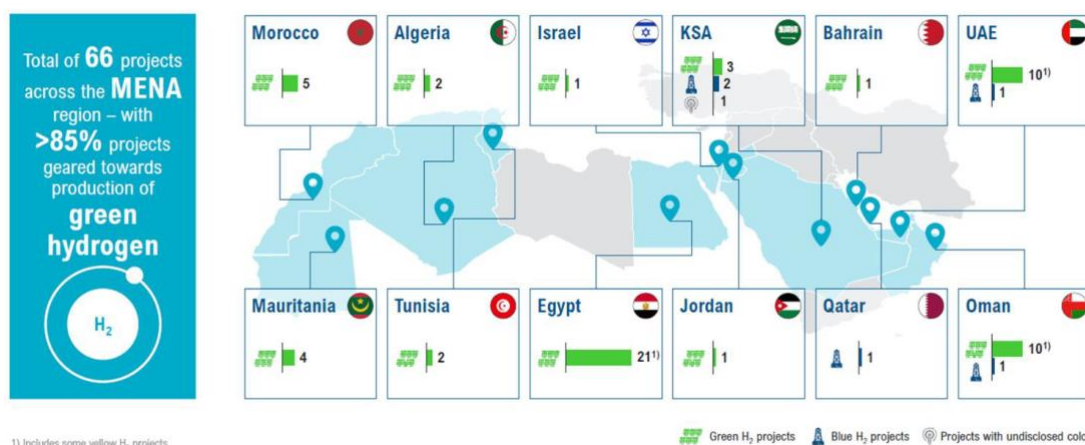
5.1 Κατάσταση του Υδρογόνου στην περιοχή Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής

Οι πρώτες ανακοινώσεις έργων υδρογόνου στην περιοχή Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής χρονολογούνται από το 2020, σηματοδοτώντας ένα σημείο σταθμό για το ενεργειακό τοπίο. Ο ρυθμός των ανακοινώσεων συνέχισε να αυξάνεται με 66 (!) ανακοινωθέντα έργα μέχρι τον Απρίλιο του 2023. Πάνω από το 85% αυτών των έργων αφορούν την παραγωγή πράσινου υδρογόνου, δηλαδή τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως πηγή. Λιγότερο από το 15% είναι "μπλε", δηλαδή με βάση τα ορυκτά, συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας δέσμευσης, αξιοποίησης και αποθήκευσης άνθρακα (CCUS).

Η Αίγυπτος είναι σήμερα η πρώτη χώρα όσον αφορά τα ανακοινωθέντα έργα (21), μετά από μια σειρά μνημονίων συνεργασίας που υπογράφηκαν με την ευκαιρία της Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή που φιλοξενήθηκε το 2022 στο Σαρμ Ελ Σέικ. Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της ισχυρής ώθησης των έργων υδρογόνου, η συνολική εικόνα που παρέχεται σήμερα είναι βέβαιο ότι θα εξελιχθεί γρήγορα με νέα έργα που θα ανακοινωθούν και περισσότερες πληροφορίες για τα υφιστάμενα έργα που θα δοθούν τους επόμενους μήνες.

Εικόνα 6: Ανακοινωθέντα έργα υδρογόνου στην περιοχή Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής

Hydrogen project announcements in MENA



Μεταξύ των έργων παγκόσμιας σημασίας που βρίσκονται σε πιο προχωρημένα στάδια, το NEOM στη Σαουδική Αραβία έφτασε στο οικονομικό κλείσιμο στα τέλη Δεκεμβρίου 2022² και βρίσκεται επί του παρόντος υπό κατασκευή. Τα 4 GW ειδικής ανανεώσιμης ενέργειας (ηλιακή και αιολική) θα τροφοδοτούν τη μεγαλύτερη μονάδα υδρογόνου στον κόσμο, η οποία θα παράγει 1,25 εκατ. τόνους ετησίως πράσινου υδρογόνου. Στο Ομάν, η πρώτη δημοπρασία πράσινου υδρογόνου που προωθήθηκε από την Hydrom είχε ως αποτέλεσμα την υπογραφή έξι συμφωνιών τον Μάρτιο του 2023. Επί του παρόντος, στην περιοχή Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής λειτουργούν μόνο λίγα πιλοτικά έργα και αναμένονται περισσότερες εξελίξεις τα επόμενα χρόνια.

Πίνακας 6: Έργα υδρογόνου στην περιοχή Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής

² <https://www.thenationalnews.com/business/energy/2022/12/18/saudi-arabias-neom-signs-agreements-with-banks-to-finance-green-hydrogen-project/>

	Αριθμός έργων	Ισχύς ηλεκτρολυτών (MW)	Δυναμικότητα παραγωγής H ₂ (mtpa)	Παραγωγική ικανότητα αμμωνίας (mtpa)	Κατάσταση
Αλγερία	2 Πράσινο	N/A	N/A		Μνημόνιο Συνεργασίας
Μπαχρέιν	1 Πράσινο	4	N/A	N/A	Ανακοινώθηκε
Αίγυπτος	20 Πράσινο 1 Κίτρινο	100-4800	0,015-2,2	0,09-3	1 Λειτουργικό (Φάση 1) 3 Ανάπτυξη 9 Συμφωνία-πλαίσιο 1 Μελέτη σκοπιμότητας 7 Μνημόνια Συνεργασίας
Ισραήλ	1 Πράσινο	0,4 (πιλοτικό) - 30 (φάση 2)	N/A	N/A	Ανάπτυξη
Ιορδανία	1 Πράσινο	N/A	N/A	N/A	Μελέτη σκοπιμότητας
Μαυριτανία	4 Πράσινο	Έως 10000	Έως 8	Έως 10	1 Ανάπτυξη 1 Μελέτη σκοπιμότητας 2 Μνημόνια Συνεργασίας
Μαρόκο	6 Πράσινο	20-100	Έως 0,031	Έως 0,183	4 Ανάπτυξη 2 Μνημόνιο Συνεργασίας
Ομάν	9 Πράσινο 1 Μπλε 1 Κίτρινο	35-14000	0,0003-1,8	0,1-10	6 Υπογεγραμμένα δελτία όρων 3 Ανάπτυξη 2 Μελέτες σκοπιμότητας
Κατάρ	1 Μπλε	N/A	N/A	1,2	Μνημόνιο Συνεργασίας
Σαουδική Αραβία	3 Πράσινο 2 Μπλε 1 N/A	Έως 2000	Έως 1,2	Έως 1,2	1 Λειτουργικό 1 Κατασκευή 2 Μνημόνια Συνεργασίας 2 N/A
Τυνησία	2 Πράσινο	N/A	N/A	N/A	Ανακοινώθηκε
ΗΑΕ	9 Πράσινο 1 Μπλε 1 Κίτρινο	Έως 200	0,04-6,57	0,035-1	1 Λειτουργικό 6 Ανάπτυξη 2 Μελέτες σκοπιμότητας 2 Μνημόνια Συνεργασίας

5.2 Σχεδιαζόμενη ισχύς

Η αγορά υδρογόνου στη Μ. Ανατολή και Β. Αφρική βρίσκεται, επομένως, σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης. Τα δεδομένα του έργου (π.χ. χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ηλεκτρολύτες, ετήσια παραγωγή) δεν είναι πάντα διαθέσιμα στο κοινό ή αξιόπιστα ακόμη. Εξετάζοντας, για παράδειγμα, τις ανακοινωθείσες δυναμικότητες ηλεκτρολυτών, το εύρος καλύπτει ένα ευρύ φάσμα από μερικές εκατοντάδες MW έως 14 GW (!) για τα μεγαλύτερα έργα που ανακοινώθηκαν στο Ομάν.

Σχήμα 7: Τα μεγαλύτερα γνωστά έργα πράσινου H₂ με χωρητικότητα ηλεκτρολύτη (GW)

Largest known green H₂ projects by electrolyzer capacity [GW]

16 projects are powered by a combined ~61 GW of electrolyzer capacity

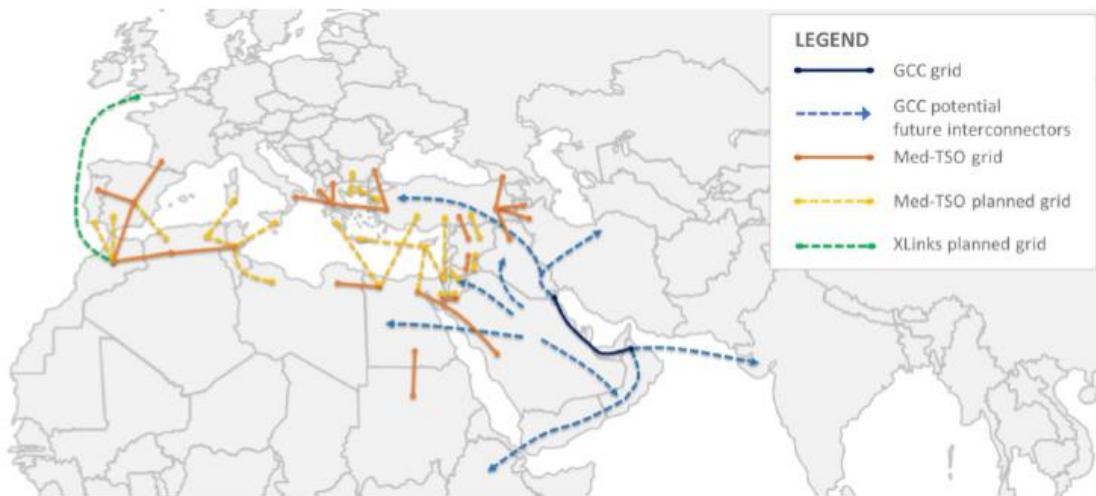


5.3 Διασυνδέσεις και ο ρόλος τους στις εξαγωγές προς την ΕΕ

Η ρωσική εισβολή στην Ουκρανία οδήγησε σε άμεσες αλλαγές στις παγκόσμιες εμπορικές ροές φυσικού αερίου (κυρίως υγροποιημένου φυσικού αερίου) και πετρελαίου. Μακροπρόθεσμα, προέκυψε μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση για χαμηλό κόστος, χωρίς εκπομπές ρύπων και υψηλή ασφάλεια εφοδιασμού από ανανεώσιμες πηγές (και ενδεχομένως πυρηνικές). Φαίνεται ότι οι περιοχές που εισάγουν ενέργεια, όπως η ΕΕ και η Ιαπωνία, ανακάλυψαν τελικά τις τεράστιες δυνατότητες της Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής ως παγκόσμιου προμηθευτή ενέργειας χωρίς εκπομπές ρύπων με την υψηλότερη ασφάλεια εφοδιασμού. Αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη συνεργασίας για την επιτάχυνση της μετάβασης στην καθαρή ενέργεια. Στο πλαίσιο αυτό, η περιοχή Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής θα διεκδικήσει εξέχοντα ρόλο, αξιοποιώντας την αφθονία αιολικών και ηλιακών πηγών καθώς και την ισχυρή δυναμική της σε έργα ενέργειας, υδρογόνου και υποδομών. Οι διακρατικές και διαηπειρωτικές διασυνδέσεις, π.χ. με την ευρωπαϊκή εσωτερική αγορά, θα έχουν καθοριστική σημασία για τη σύνδεση των δύο ηπείρων και τη δυνατότητα μακροχρόνιου εφοδιασμού της ΕΕ από τις χώρες της Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής. Μια επισκόπηση των σημερινών διασυνδέσεων δικτύου και των πιθανών εξαγωγικών οδών παρέχεται παρακάτω.

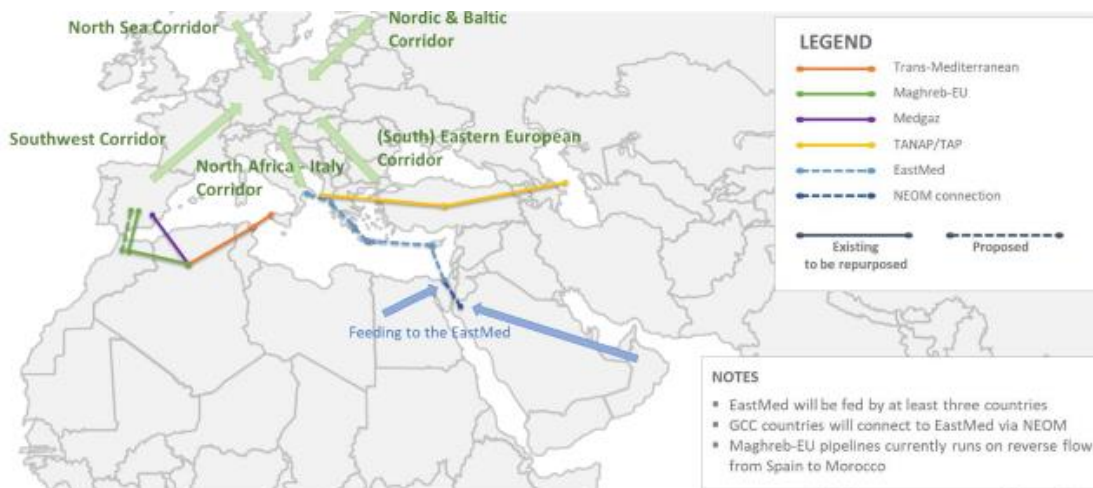
Ενώ οι χώρες της Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής είναι αρκετά καλά διασυνδεδεμένες ηλεκτρικά, οι ηλεκτρικές συνδέσεις με την Ευρώπη εξακολουθούν να περιορίζονται μεταξύ Μαρόκου - Ισπανίας και Τουρκίας - Βουλγαρίας/Ελλάδας. Προτείνονται αρκετές νέες διασυνδέσεις μεταξύ Βόρειας Αφρικής και Ευρώπης (ιδίως μια σύνδεση μεταξύ Μαρόκου και Ηνωμένου Βασιλείου, XLinks, Τυνησίας - Ιταλίας και Αιγύπτου - Κύπρου - Ελλάδας). Οι υποδομές φυσικού αερίου στο Μαγκρέμπ συνδέονται επίσης με την ΕΕ. Οι υποδομές φυσικού αερίου φαίνεται ότι δεν έχουν ακόμη επεκταθεί, αλλά μπορεί κανείς να αναμένει ότι οι επενδύσεις θα κατευθυνθούν σε νέες συνδέσεις υδρογόνου ή στη μετατροπή των υφιστάμενων υποδομών φυσικού αερίου σε υδρογόνο στο Μαγκρέμπ, την Ανατολική Μεσόγειο έτσι ώστε τα κράτη του Κόλπου να συνδεθούν τελικά με την Ευρώπη.

Σχήμα 8: Παρούσες και μελλοντικές διασυνδέσεις του δικτύου ενέργειας της Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής



Στο πλαίσιο του επιταχυντή υδρογόνου της ΕΕ, η Μ. Ανατολή και Β. Αφρική θα συμβάλει στην τροφοδοσία της υπό ανάπτυξη οδού εισαγωγής της Ανατολικής Μεσογείου.

Σχήμα 9: Διαδρομές εισαγωγής Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής για τον επιταχυντή υδρογόνου της ΕΕ



5.4 Κοινωνικοοικονομικός αντίκτυπος των έργων υδρογόνου στην περιοχή Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής

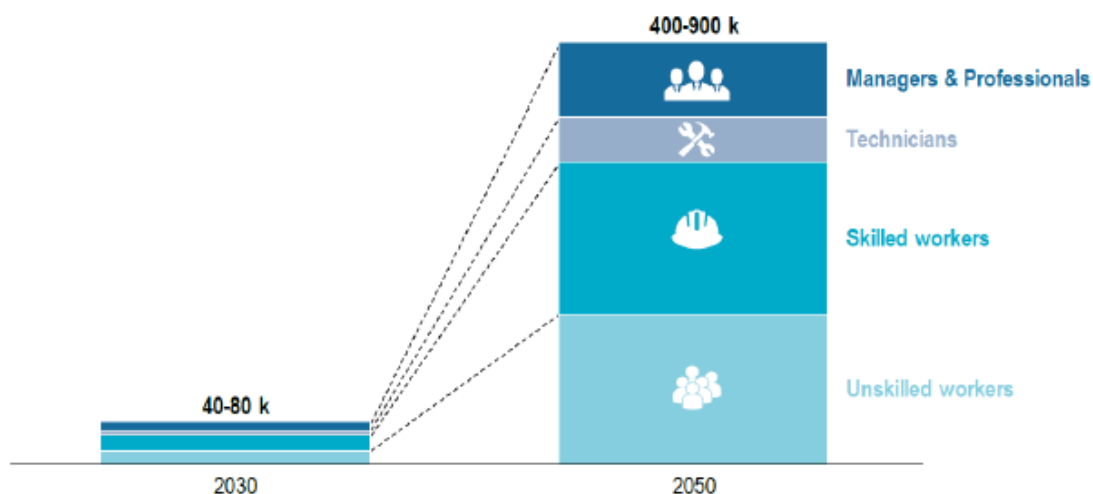
Ο δυνητικός κοινωνικοοικονομικός αντίκτυπος των έργων υδρογόνου στην περιοχή Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής θα μπορούσε να είναι σημαντικός. Το υδρογόνο έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει μια καθαρή, βιώσιμη πηγή ενέργειας που θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση ευνοϊκών συνθηκών διαβίωσης στο μέλλον.

Η ανάπτυξη της οικονομίας του υδρογόνου στις χώρες του Συμβουλίου Συνεργασίας του Κόλπου έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει σημαντικό αριθμό άμεσων και έμμεσων θέσεων εργασίας έως το 2050 σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, συμβάλλοντας έτσι στην αντιμετώπιση της ανεργίας και της φτώχειας. Ο εκτιμώμενος αριθμός των θέσεων εργασίας που θα δημιουργηθούν θα εξαρτηθεί από το επίπεδο των τοπικών δραστηριοτήτων κατασκευής στην περιοχή και τα έσοδα που θα

προκύπτουν από την παραγωγή πράσινου υδρογόνου και θα κυμανθεί από 450 χιλ. έως 900 χιλ. Η μεγαλύτερη δημιουργία θέσεων εργασίας αναμένεται στον τομέα της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (200 χιλ. έως 450 χιλ. θέσεις εργασίας έως το 2050) και ακολουθούν η βιομηχανία ηλεκτρόλυσης (100 χιλ. έως 220 χιλ.), η αποθήκευση υδρογόνου (65 χιλ. έως 150 χιλ.) και η διανομή (45 χιλ. έως 90 χιλ.). Ένα μεγάλο μέρος των θέσεων εργασίας που θα δημιουργηθούν θα αφορά δραστηριότητες κατασκευής, με σημαντική ζήτηση για ειδικευμένους και ανειδίκευτους εργάτες. Οι αναδυόμενες θέσεις εργασίας στην οικονομία του υδρογόνου στις χώρες του του Συμβουλίου Συνεργασίας του Κόλπου θα δημιουργήσουν σημαντική ζήτηση για νέους πτυχιούχους και έμπειρους επαγγελματίες, με δυνατότητα μετάβασης του υφιστάμενου εργατικού δυναμικού υψηλής εξειδίκευσης στον τομέα του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, μειώνοντας τις απολύσεις στο εργατικό δυναμικό λόγω της απεξάρτησης της οικονομίας από τον άνθρακα.

Σχήμα 10: Δημιουργία θέσεων εργασίας ανά επίπεδο δεξιοτήτων (2030-2050)

Illustration 21: Job creation by skill level [2030-2050]



Source: Roland Berger

Επιπλέον, η παραγωγή υδρογόνου θα μπορούσε να δημιουργήσει νέες πηγές εσόδων για τις χώρες της Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής, οι οποίες είναι συχνά πλούσιες σε φυσικούς πόρους, όπως το φυσικό αέριο και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια. Αξιοποιώντας τους φυσικούς τους πόρους για την παραγωγή υδρογόνου, οι χώρες αυτές θα μπορούσαν να γίνουν σημαντικοί παίκτες στην παγκόσμια αγορά υδρογόνου και ενδεχομένως να διαφοροποιήσουν τις οικονομίες τους. Ωστόσο, υπάρχουν επίσης δυνητικές προκλήσεις που σχετίζονται με τον κοινωνικοοικονομικό αντίκτυπο των έργων υδρογόνου στην περιοχή Μ. Ανατολής και Β. Αφρικής, καθώς οι πολιτικοί και θεσμικοί παράγοντες αποτελούν τους κύριους παράγοντες ανάπτυξης και επέκτασης της παραγωγής υδρογόνου. Για παράδειγμα, το υψηλό κόστος κεφαλαίου για την κατασκευή υποδομών υδρογόνου θα μπορούσε να περιορίσει τη δυνατότητα των μικρότερων και λιγότερο ανεπτυγμένων χωρών να συμμετάσχουν στην αγορά. Επιπλέον, η κατανομή του πλούτου και των οφελών από τα έργα υδρογόνου ενδέχεται να μην είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη, επιδεινώνοντας ενδεχομένως τις υφιστάμενες οικονομικές ανισότητες.

Οι οικολογικές επιπτώσεις θα πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάλυση του κοινωνικού αντίκτυπου των έργων πράσινου υδρογόνου. Μια από τις κύριες ανησυχίες είναι η διαθεσιμότητα και η προμήθεια νερού, καθώς η ηλεκτρόλυση απαιτεί σημαντική ποσότητα καθαρού

νερού ανά μονάδα παραγωγής. Άλλες οικολογικές εκτιμήσεις περιλαμβάνουν τις πιθανές επιπτώσεις στη χρήση γης, την ανάγκη για νέες υποδομές, όπως αγωγοί, και την επικίνδυνη φύση των πράσινων μορίων, όπως η αμμωνία ή η μεθανόλη. Επιπλέον, πρέπει να αξιολογηθούν προσεκτικά οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της υπόγειας αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων CO₂ στο πλαίσιο των έργων τεχνολογίας CCUS.

Ενότητα 6: Το καύσιμο του μέλλοντος: Σχέδιο για μια Μεσογειακή Αγορά Καθαρού Υδρογόνου

6.1 Εισαγωγή

Η απανθρακοποίηση της παγκόσμιας οικονομίας αποτελεί θεμελιώδη πρόκληση του 21ου αιώνα. Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι κρίσιμη για τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη και των επιδράσεων της στις ανθρώπινες κοινωνίες και τα οικοσυστήματα, όπως αναγνωρίζεται και από τη Συμφωνία του Παρισιού (COP21) που υπογράφηκε το 2015.

Οι τεχνολογίες υδρογόνου προσφέρουν μια ώριμη και ανταγωνιστική λύση μηδενικών εκπομπών για ένα αυξανόμενο πλήθος εφαρμογών, παραγόμενες με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Με την παροχή μέσων αποθήκευσης, το υδρογόνο μπορεί να προσφέρει μια προστασία (buffer) για το ενεργειακό σύστημα, καθώς και να οδηγήσει στην απανθρακοποίηση των βαρέων μεταφορών (χερσαίων, θαλάσσιων ή εναέριων) ή των ενεργοβόρων βιομηχανιών, όπως είναι αυτές του χάλυβα, των διυλιστηρίων ή του τσιμέντου, για παράδειγμα.

Τα τελευταία χρόνια, η ΕΕ υιοθέτησε μεταξύ άλλων την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, την ευρωπαϊκή στρατηγική για το υδρογόνο και το πακέτο Fit for 55. Σε αυτές τις πολιτικές, το υδρογόνο αναγνωρίζεται ως βασική τεχνολογία για την επίτευξη της απανθρακοποίησης, αλλά και τη διασφάλιση της ευρωπαϊκής ενεργειακής ασφάλειας, στο πλαίσιο του σχεδίου RePowerEU1.

Παράλληλα, πολλές χώρες στην Αφρική έχουν αναγνωρίσει τον ρόλο του υδρογόνου για την απανθρακοποίηση της παγκόσμιας οικονομίας, υιοθετώντας διάφορες πολιτικές και πρωτοβουλίες σχετικές με το υδρογόνο, οδικούς χάρτες Έρευνας & Ανάπτυξης, καθώς και στρατηγικές ανάπτυξης αγοράς. Πρωτίστως, το υδρογόνο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την απανθρακοποίηση της ίδιας της ηπείρου, αλλά η Αφρική θα μπορούσε επίσης να γίνει παγκόσμιο κέντρο παραγωγής υδρογόνου, εξυπηρετώντας πελάτες σε όλη την υφήλιο με τη βοήθεια αγωγών ή πλοίων.

Λόγω της γεωγραφικής εγγύτητας, των ιστορικών δεσμών και της ταύτισης των συμφερόντων, η Αφρική και η ΕΕ μπορούν να γίνουν ισχυροί σύμμαχοι στο εμπόριο υδρογόνου. Πράγματι, η Αφρική και η ΕΕ θα πρέπει να συνεργαστούν για να υποστηρίξουν τη χρήση οικιακών τεχνολογιών υδρογόνου, καθώς και για να αναπτύξουν αξιόπιστες εμπορικές οδούς για το υδρογόνο και τα παράγωγά του. Κατ' αυτόν τον τρόπο, θα συνεισφέρουν αμοιβαία στις παγκόσμιες προσπάθειες απανθρακοποίησης και παράλληλα θα δημιουργούν θέσεις εργασίας και συνθήκες ανάπτυξης και στις δύο ηπείρους για πολλά χρόνια ακόμα.

Η διαμόρφωση και χρήση του οικοσυστήματος του υδρογόνου στις δύο ηπείρους δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί χωρίς ισχυρές δεσμεύσεις από ιδιωτικούς φορείς στην Αφρική και την Ευρώπη. Ως εκ τούτου, αυτή η αφρικανική-ευρωπαϊκή συμφωνία για το υδρογόνο επιχειρεί να προσδιορίσει συγκεκριμένες δεσμεύσεις που αναλαμβάνουν ενδιαφερόμενα μέρη από την Αφρική και την Ευρώπη ως προς την ανάπτυξη οικιακών αλλά και διασυνοριακών έργων υδρογόνου.

Η Μεσογειακή Σύμπραξη για το Πράσινο Υδρογόνο (ΜΣΠΥ) μπορεί να αποτελέσει ενδιάμεσο σκαλοπάτι για τη μελλοντική δομή και διακυβέρνηση της παγκόσμιας αγοράς του υδρογόνου. Επομένως, η ΜΣΠΥ θα πρέπει να σχεδιαστεί κατά τρόπο που αφενός να αρμόζει στις χώρες που βρίσκονται και στις δύο πλευρές της Μεσογείου και αφετέρου να μπορεί να λειτουργήσει ως βάση για μια επέκταση σε πολύ μεγαλύτερη γεωγραφική κλίμακα. Πάνω από όλα, η ΜΣΠΥ θα πρέπει στη βάση της να είναι υπερεθνική, όσον αφορά τη δομή, τη λήψη αποφάσεων αλλά και την εφαρμογή των πολιτικών. Η εργασία αυτή υποστηρίζει την άποψη ότι μια ΜΣΠΥ που λειτουργεί υπερεθνικά, όχι

μόνο θα είναι σε θέση να οργανώσει με επιτυχία το διηπειρωτικό εμπόριο υδρογόνου, αλλά θα αποτελέσει και το έμβρυο για έναν βιώσιμο, παγκόσμιο οργανισμό υδρογόνου. Οι υφιστάμενοι εθνικοί οργανισμοί που ασχολούνται με τα ενεργειακά θέματα μπορούν να αποτελέσουν πηγή έμπνευσης για μια παγκόσμια δομή που θα διαχειρίζεται την προώθηση, την παραγωγή και τη διανομή καθαρού υδρογόνου.

6.2 Η προετοιμασία της παγκόσμιας κοινότητας υδρογόνου

Το υδρογόνο θα αποτελέσει το καύσιμο του μέλλοντος. Αυτό θα συμβεί σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς οι βιομηχανικές διαδικασίες οδηγούνται προς τη συστηματική χρήση καθαρών μορίων, ενώ οι μεταφορές ανακαλύπτουν τα οφέλη της χρήσης του νερού έναντι των ορυκτών καυσίμων. Η παγκόσμια ζήτηση για υδρογόνο θα εκτιναχθεί στα ύψη στις επόμενες δεκαετίες, καθώς θα καρποφορούν οι εθνικές και υπερεθνικές στρατηγικές για την επακόλουθη μείωση των εκπομπών CO₂. Μια παγκόσμια αγορά αναδύεται για το υδρογόνο των μηδενικών εκπομπών, και μαζί αναδεικνύεται η ανάγκη για τη δόμηση και διακυβέρνησή της.

Πολλές χώρες στην Ευρώπη, την Αφρική, την Ασία και την Αμερική εξετάζουν το ενδεχόμενο να προωθήσουν πιο ενεργά την παραγωγή του υδρογόνου. Από τη Ναμίμπια ως την Αίγυπτο, από τη Μαυριτανία ως τη Σαουδική Αραβία, από το Ομάν ως την Αλγερία, τη Χιλή, την Αργεντινή, τη Βραζιλία, τη Νότια Αφρική και την Αυστραλία, καθώς επίσης και την Κίνα και την Ινδία, το υδρογόνο θεωρείται όχι μόνο το καύσιμο του μέλλοντος, αλλά και ο ακρογωνιαίος λίθος για τη βιώσιμη βιομηχανική και οικονομική ανάπτυξη των ίδιων των παραγωγών χωρών. Στην Ευρώπη, οι μελλοντικοί παραγωγοί και καταναλωτές συσχετίζονται στις στρατηγικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το υδρογόνο, καθώς η ΕΕ βασίζει τα σχέδιά της σε σημαντική ίδια παραγωγή, καθώς και σε εισαγωγές μεγάλης κλίμακας.

Το υδρογόνο μπορεί να εξελιχθεί στην κύρια πηγή ενέργειας του πλανήτη. Έχει τη δυνατότητα να σταθεροποιήσει τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να αποθηκεύει την ενέργεια που δεν μπορεί να αποθηκεύσει το δίκτυο, και μπορεί να τροφοδοτήσει την παραγωγή χάλυβα, καθώς και χημικές επεξεργασίες, πλοία, αεροπλάνα, τρένα και φορτηγά. Με δεδομένη αυτήν την τεράστια στρατηγική δυναμική καθώς και την ανάγκη να διασφαλιστεί μια λειτουργική αγορά υδρογόνου προς όφελος όλων, η διαχείριση των υποδομών, του εμπορίου και της ανάπτυξης του υδρογόνου θα πρέπει να μιμηθεί τη διαχείριση του άνθρακα και του χάλυβα στην Ευρώπη μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο. Θα πρέπει να δημιουργηθεί μια παγκόσμια ένωση χωρών παραγωγής και κατανάλωσης υδρογόνου, της οποίας η διακυβέρνηση θα πραγματοποιείται βάσει του υπερεθνικού μοντέλου της Ευρωπαϊκής Κοινότητας Άνθρακα και Χάλυβα.

Η λογική ενός οργανισμού παγκόσμιας διακυβέρνησης του καθαρού υδρογόνου αντλεί την έμπνευσή της από την ανάγκη να διασφαλιστούν οι βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης, καθώς και η ισότιμη εξάπλωση της χρήσης των τεχνολογιών υδρογόνου σε όλο τον κόσμο. Βασίζεται στα διδάγματα που πήραμε από τις διμερείς ή πολυμερείς εξαρτήσεις και έχει ως στόχο την υπέρβασή τους. Στηρίζεται στην παραδοχή ότι ένας παγκόσμιος πόρος πρέπει να παράγεται ελεύθερα και να χορηγείται από κοινού, και ότι αυτή η μορφή διακυβέρνησης χρήζει δικών της κριτηρίων, υποδομών και μηχανισμών, οι οποίοι είναι εκτελεστοί και δεν υπόκεινται σε εντολές ή πιέσεις που πηγάζουν από μεμονωμένους κρατικούς ή μη παράγοντες. Οι αδυναμίες οργανισμών όπως ο Οργανισμός Εξαγωγών Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών (OPEC) πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως και οι συγκρουσιακές συμπεριφορές που οδήγησαν στο παρελθόν σε ενεργειακές κρίσεις. Ο πρωταρχικός στόχος της παγκόσμιας διακυβέρνησης του υδρογόνου είναι η μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητά του υπό βέλτιστες συνθήκες για τη διαμόρφωση της τιμής και τη διανομή του σε όλο τον κόσμο.

Το πετρέλαιο ήταν το καύσιμο του παρελθόντος. Μόλυνε την ατμόσφαιρα και δηλητηρίασε τις διεθνείς σχέσεις. Αποτέλεσε πηγή συγκρούσεων και πολέμων. Το υδρογόνο δεν θα αποτελεί πηγή μόλυνσης, ενώ θα θερμάνει τις διεθνείς σχέσεις και την κατανόηση. Ο πόρος του μέλλοντος πρέπει να είναι ένας ειρηνικός πόρος.

6.3 Η Οικονομία του υδρογόνου απαιτεί παγκόσμια διακυβέρνηση

Η διακυβέρνηση του υδρογόνου που οραματίζεται η παρούσα εργασία είναι σχεδιασμένη για να διασφαλίσει διαθεσιμότητα σε μόνιμη βάση, ιχνηλασιμότητα, διαφάνεια τιμών και απόδοση των υποδομών. Επίσης έχει ως στόχο να επιτρέψει στους παραγωγούς και χρήστες του υδρογόνου σε όλο τον κόσμο να προγραμματίζουν τις δραστηριότητές τους σε πιο μακροχρόνια βάση και να επωφελούνται από ασφάλεια τιμών και παραδόσεων. Οι ενίοτε σπασμωδικές εξελίξεις που έχουν παρουσιαστεί στο παρελθόν στις αγορές πετρελαίου και αερίου δεν πρέπει να επαναληφθούν με το υδρογόνο. Τυχόν απώλεια της εμπιστοσύνης στο υδρογόνο και ανασφάλεια των παραγωγών και των καταναλωτών θα έχουν καταστροφικές συνέπειες για το παγκόσμιο «λανσάρισμα» του υδρογόνου και τη συνακόλουθη τεράστια μείωση των εκπομπών CO₂.

Η διακυβέρνηση του υδρογόνου πρέπει να καλύπτει όλες τις πτυχές της παραγωγής, του εμπορίου και της παράδοσης του αερίου. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται η πιστοποίηση, η οργάνωση της αγοράς, η ανάπτυξη και η συντήρηση των υποδομών, καθώς και η διαμόρφωση των τιμών, και, στη μεταβατική περίοδο κατά την οποία η ζήτηση για καθαρό υδρογόνο θα συνεχίσει να υπερβαίνει την προσφορά, η διαχείριση ενός συστήματος συμβάσεων επί διαφοράς (Contracts for Difference, CfDs) που θα διασφαλίζουν ισότητα και ισότιμη μεταχείριση όλων των παραγόντων της αγοράς.

Ο παγκόσμιος οργανισμός που θα αναλάβει τη διακυβέρνηση της προμήθειας του υδρογόνου στον κόσμο θα πρέπει να ασχοληθεί με όλες τις πλευρές του υδρογόνου και της παραγωγής του. Σαφώς, δεδομένου ότι το μόριο του υδρογόνου αποτελεί βασική συνιστώσα της μετάβασης σε μια μορφή ενέργειας απαλλαγμένης από εκπομπές ρύπων, η αγορά που πρόκειται να οργανωθεί θα είναι μια αγορά για υδρογόνο μηδενικών και χαμηλών εκπομπών. Ωστόσο, οι μορφές υδρογόνου που είναι γνωστές ως γκρι και μπλε υδρογόνο θα πρέπει να συμπεριληφθούν στις αρμοδιότητες του οργανισμού, με τη μορφή ενός τμήματος το οποίο θα πρέπει υποχρεωτικά να διαλυθεί εντός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου. Ως εκ τούτου, είναι αναγκαίο να υπάρξει μια επίσημη συμφωνία σχετικά με τη σταδιακή απόσυρση του υδρογόνου υψηλών εκπομπών, καθώς και σχετικά με τις συνθήκες της απόσυρσης και το προαναφερόμενο χρονικό πλαίσιο.

6.4 Ευρώπη και Βόρεια Αφρική ως πρωτοπόροι της παγκόσμιας διακυβέρνησης

Εάν οι γεωγραφικές βλέψεις της κοινής διακυβέρνησης του υδρογόνου οφείλουν να είναι παγκόσμιες, το εφελτήριο της μπορεί να είναι μια τοπική ένωση κρατών, που θα δοκιμάσουν στην πράξη την υπερεθνική διακυβέρνηση του υδρογόνου. Τον ρόλο αυτό θα μπορούσε να αναλάβει η Μεσογειακή Σύμπραξη για το Πράσινο Υδρογόνο, που θα καλύπτει την Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλα ευρωπαϊκά κράτη, τα αφρικανικά κράτη-εταίρους στην άλλη όχθη της Μεσογείου, καθώς και τα κράτη του χερσαίου χώρου ανατολικά της Μεσογείου που θα εκφράσουν ενδιαφέρον και θέληση να συμμετάσχουν στη σύμπραξη με υπερεθνική προοπτική.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, η Βόρεια Αφρική και άλλες γειτονικές χώρες έχουν μια μοναδική ευκαιρία να δημιουργήσουν ένα σύστημα πράσινου υδρογόνου. Η Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένης της Ουκρανίας, διαθέτει καλές βάσεις και δυναμικό σε σχέση με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ η Βόρεια Αφρική διαθέτει εξαιρετικές και άφθονες πηγές για καθαρή ηλεκτρική ενέργεια. Η Ευρώπη

μπορεί να αξιοποιήσει τις υφιστάμενες υποδομές αερίου σε διασύνδεση με τη Βόρεια Αφρική και άλλες χώρες, για σκοπούς μεταφοράς και αποθήκευσης υδρογόνου. Επίσης, η ευρωπαϊκή βιομηχανία παραγωγής καθαρού υδρογόνου κατέχει ηγετική θέση σε παγκόσμιο επίπεδο, ιδίως όσον αφορά την κατασκευή ηλεκτρολυτών.

Εάν η Ευρωπαϊκή Ένωση, σε στενή συνεργασία με τις γειτονικές χώρες, επιθυμεί να αξιοποιήσει τα μοναδικά αυτά εφόδια που διαθέτει και να δημιουργήσει την κορυφαία παγκοσμίως βιομηχανία παραγωγής υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τώρα είναι η στιγμή που θα πρέπει να δράσει. Έτσι, εξειδικευμένοι και ενοποιημένοι σταθμοί παραγωγής πράσινου υδρογόνου ισχύος πολλών GW θα ξεκλειδώσουν το τεράστιο δυναμικό της ανανεώσιμης ενέργειας. Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση νέων, μοναδικών και μακροχρόνιων μηχανισμών αμοιβαίας συνεργασίας μεταξύ της ΕΕ και της Βόρειας Αφρικής, σε πολιτικό, κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο, είναι κρίσιμης σημασίας.

Η μοναδική αυτή ευκαιρία για την ΕΕ και τη Βόρεια Αφρική να αναπτύξει μια οικονομία πράσινου υδρογόνου θα συμβάλει στην οικονομική ανάπτυξη, τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και την εδραίωση ενός βιώσιμου, οικονομικού και δίκαιου ενεργειακού συστήματος. Σε αυτήν τη βάση, η Ευρώπη και οι γείτονες χώρες μπορούν να αποκτήσουν ηγετική θέση στην αγορά των τεχνολογιών παραγωγής πράσινου υδρογόνου.

6.5 Η ισχύς της ερήμου

Η έρημος Σαχάρα είναι η περιοχή του κόσμου με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Πρόκειται για μια μεγάλη περιοχή (με εμβαδόν 9,4 εκατομμυρίων τετραγωνικών χιλιομέτρων είναι διπλάσια σε έκταση από την περιοχή της Ευρωπαϊκής Ένωσης), που απολαμβάνει κατά μέσο όρο 3.600 ώρες ηλιοφάνειας ανά έτος, ενώ σε ορισμένα σημεία η ηλιοφάνεια φτάνει τις 4.000 ώρες (Varadi, Wouters, & Hoffmann, 2018). Αυτό μεταφράζεται σε επίπεδα ηλιασμού (ή ακτινοβολίας ηλιακής ενέργειας) της τάξεως των 2.500-3.000 kWh ανά τετραγωνικό μέτρο ανά έτος. Ένα μικρό μέρος (8-10%) της περιοχής της ερήμου Σαχάρα θα μπορούσε να παράγει ενέργεια επαρκή για να καλύψει ολόκληρη την παγκόσμια ζήτηση (van Wijk, van der Roest, & Boere, Solar Power to the People, 2017).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η έρημος Σαχάρα αποτελεί επίσης μία από τις περιοχές με το υψηλότερο αιολικό δυναμικό στον πλανήτη, ιδίως στις δυτικές ακτές της. Κατά μέσο όρο, στη διάρκεια του έτους, οι ταχύτητες του ανέμου στην επιφάνεια του εδάφους υπερβαίνουν τα 5 m/s στο μεγαλύτερο τμήμα της ερήμου, ενώ φτάνουν τα 8-9 m/s σε ορισμένες περιοχές στις δυτικές ακτές. Οι ταχύτητες του ανέμου αυξάνουν σε μεγαλύτερο υψόμετρο, ενώ οι άνεμοι στη Σαχάρα είναι αρκετά σταθεροί στη διάρκεια του έτους. Επίσης, η περιοχή Zaafarana της Αιγύπτου είναι συγκρίσιμη με τις ακτές του Μαρόκου στον Ατλαντικό Ωκεανό, με υψηλές και σταθερές ταχύτητες ανέμου (van Wijk A. , Wouters, Rachidi, & Ikken, 2019). Στο Μαρόκο, την Αλγερία, την Τунησία, τη Λιβύη και την Αίγυπτο ορισμένες χερσαίες εκτάσεις έχουν ταχύτητες ανέμου που συγκρίνονται με συνθήκες που επικρατούν σε υπεράκτιες περιοχές της Μεσογείου, της Βαλτικής Θάλασσας και σε ορισμένα τμήματα της Βόρειας Θάλασσας.

Αξιόλογη και άφθονη ηλιοφάνεια και καλό αιολικό δυναμικό δεν έχει μόνο η Βόρεια Αφρική αλλά και η Μέση Ανατολή. Η Τουρκία, το Ομάν, η Σαουδική Αραβία, η Ιορδανία, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα και άλλες χώρες της περιοχής θα μπορούσαν δυνητικά να γίνουν σημαντικές χώρες εξαγωγής πράσινου υδρογόνου. Για τον λόγο αυτό, ως επόμενο βήμα κρίνεται σκόπιμο να συμπεριληφθούν σε οποιαδήποτε μορφή υπερεθνικής σύμπραξης. Υπέρ της άμεσης δράσης συνηγορεί επίσης η εξαιρετική υφιστάμενη σύνδεση της Βόρειας Αφρικής με την Ευρώπη, μέσω των

εγκατεστημένων αγωγών αερίου, π.χ., μεταξύ Μαρόκου και Ισπανίας, Αλγερίας και Ισπανίας, Αλγερίας και Ιταλίας, Τυνησίας και Ιταλίας, καθώς και μεταξύ Αιγύπτου/Λιβύης και Ιταλίας. Παράλληλα, υπό ανάπτυξη βρίσκεται και η σύνδεση Αιγύπτου/Ισραήλ και Ελλάδας/Κύπρου, γνωστή και ως EastMed.

6.6 Παραγωγή καθαρού υδρογόνου με τη Μεσογειακή Σύμπραξη για το Πράσινο Υδρογόνο (ΜΣΠΥ)

Η διαδικασία παραγωγής του καθαρού υδρογόνου αποτελεί την πρώτη παγκόσμια νομοθετική πρόκληση. Όπως βλέπουμε τώρα, οι προσεγγίσεις σχετικά με την παραγωγή του καθαρού υδρογόνου διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των ηπείρων. Είναι χαώδης η διαφορά μεταξύ της λογικής της αρχικής ώθησης από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, που σκόπευε να περιορίσει το υδρογόνο στην ύπαρξή του ως παραπροϊόν της καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας, και της λογικής των αντίθετων κινήτρων που πηγάζουν από τη νομοθετική πράξη μείωσης του πληθωρισμού (Inflation Reduction Act) στις ΗΠΑ. Στις αποκλίνουσες αυτές νομοθετικές φιλοδοξίες προστίθεται και η στάση που υιοθετείται στην Ινδία και την Κίνα, την Αυστραλία και τη Χιλή, τη Σαουδική Αραβία και τη Ναμίμπια: για κάθε νομοθέτη, το καθαρό υδρογόνο είναι οτιδήποτε επιθυμεί αυτός ο νομοθέτης να είναι. Αυτό προφανώς είναι καταστροφικό για την ανάδυση μιας ρευστής, παγκόσμιας αγοράς καθαρού υδρογόνου, και αναπόφευκτα θα οδηγήσει σε στρεβλώσεις όσον αφορά την πρόσβαση στην αγορά και τους κανόνες του ανταγωνισμού. Αν θέλουμε το υδρογόνο να γίνει ένα αγαθό διαπραγματεύσιμο σε παγκόσμιο επίπεδο και ικανό να μετασχηματίσει βιομηχανίες και κοινωνίες, τέτοιου είδους στρεβλώσεις θα πρέπει να αποφευχθούν. Ο δέων τρόπος για να διασφαλιστεί ότι δεν θα εμφανιστούν στρεβλώσεις αυτής της μορφής είναι να θεσπιστούν παγκόσμιοι κανόνες για την παραγωγή και την πιστοποίηση του καθαρού υδρογόνου. Οι κανόνες αυτοί θα πρέπει, φυσικά, να έχουν εφαρμογή σε όλες τις διαδικασίες που στοχεύουν στην παραγωγή ενός καθαρού αερίου. Είναι δυνατό να προέρχονται από τη ΜΣΠΥ, σε συνεργασία με άλλους μεγάλους παραγωγούς υδρογόνου, δεδομένου ότι το συνδυασμένο δυναμικό του Ατλαντικού και της Ερυθράς Θάλασσας, όπως προκύπτει από τη Μεσογειακή Σύμπραξη για το Πράσινο Υδρογόνο, θα δώσει ηγετικό ρόλο στην περιοχή.

Η ΜΣΠΥ μπορεί να θεσπίσει μια κοινή ονοματολογία για τις διαδικασίες παραγωγής υδρογόνου, η οποία ονοματολογία θα υποβάλλεται σε αναθεώρηση σε τακτά χρονικά διαστήματα, προκειμένου να ενσωματώνονται όλες οι νέες τεχνολογικές εξελίξεις. Ενδεικτικά, στο ξεκίνημά της, θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- Την ηλεκτρόλυση με ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από αιολική και ηλιακή ενέργεια.
- Την ηλεκτρόλυση με ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από πυρηνική ενέργεια.
- Την πυρόλυση.
- Τις διαδικασίες που περιλαμβάνουν ραδιόλυση, τις τεχνικές διάσπασης του νερού καθώς και άλλες εναλλακτικές διαδικασίες παραγωγής.

Θα είναι αναγκαίο να διασφαλιστεί ότι θα διατίθεται ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από ανανεώσιμες πηγές ειδικά για την παραγωγή υδρογόνου, χωρίς κανέναν περιορισμό που να σχετίζεται με την εναλλακτική χρήση αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ποσότητες υδρογόνου που θα απαιτηθούν σε παγκόσμιο επίπεδο είναι τέτοιες που η παραγωγή του υδρογόνου θα πρέπει να αναδειχθεί σε κύρια κατεύθυνση για την παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ύπαρξη εξειδικευμένων εγκαταστάσεων θα πρέπει να ενθαρρύνεται αντί να δυσχεραίνεται ή να παρεμποδίζεται.

Για τους σκοπούς της οργάνωσης της κατανομής και διάθεσης της καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας, θα πρέπει να οριστεί και να εφαρμοστεί σε όλη την Μεσογειακή Σύμπραξη για το Πράσινο Υδρογόνο ένας δυναμικός ελάχιστος όγκος που θα κατευθύνεται αποκλειστικά στην παραγωγή υδρογόνου. Ο ελάχιστος αυτός όγκος θα πρέπει να διαφυλάσσεται σε μόνιμη βάση και να μην είναι δυνατό να διατεθεί για κατανομή μέσω του ηλεκτρικού δικτύου. Είναι επιτακτικό η βιομηχανία του υδρογόνου να είναι σε θέση να σχεδιάσει την αύξηση στην παραγωγή της και την περαιτέρω ανάπτυξή της στη βάση καθορισμένων ποσοτώσεων ως προς την ηλεκτρική ενέργεια, οι οποίες να μην αμφισβητούνται.

Μολονότι υδρογόνο μπορεί να παραχθεί οπουδήποτε, η διαρκής παροχή σημαντικών ποσοτήτων υδρογόνου απαιτεί την ύπαρξη του αντίστοιχου αριθμού εγκαταστάσεων παραγωγής μεγάλης κλίμακας. Οι εγκαταστάσεις αυτές δεν πρέπει να συγκεντρώνονται σε μία μόνο γεωγραφική περιοχή, όποια κι αν είναι αυτή, ούτε και πρέπει να λειτουργούν ανταγωνιστικά μεταξύ τους. Μια σημαντική νομοθετική πρόκληση αφορά τον σχεδιασμό ενός παγκόσμιου δικτύου παραγωγής και διανομής υδρογόνου, που θα επιτρέπει ανά πάσα στιγμή την ύπαρξη εφεδρειών και τη δυνατότητα αντικατάστασης της δυναμικότητας.

Η Μεσογειακή Σύμπραξη για το Πράσινο Υδρογόνο πρόκειται να εγκαινιαστεί επισήμως στην 28η διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (COP28) στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, στο τέλος του 2023. Αναφέρθηκε πρώτη φορά σε σχέση με τη στρατηγική της ΕΕ να μειώσει την εξάρτηση από το ρωσικό αέριο, την επονομαζόμενη RePowerEU, η οποία δημοσιεύτηκε τον Μάρτιο 2022.

6.7 Εμπορία υδρογόνου στη Μεσογειακή Σύμπραξη για το Πράσινο Υδρογόνο

Η αγορά για το καθαρό υδρογόνο αναπτύσσεται αυτήν τη στιγμή από το μηδέν. Η πραγματικότητα αυτή αφήνει σημαντικό βαθμό ελευθερίας σχεδιασμού και δυναμικής, και επιτρέπει τη διασύνδεση των παραγωγικών ικανοτήτων προτού οι εθνικές περιχαράκώσεις καταστήσουν δύσκολη τη συνδεσιμότητα.

Επί του παρόντος, το εμπόριο του καθαρού υδρογόνου αφορά μικροποσότητες. Στους επόμενους μήνες και τα επόμενα χρόνια θα δούμε την πραγματική εκκίνηση της αγοράς και παράλληλα θα δούμε τις ποσότητες παραγωγής να αυξάνονται, τις μεταφορικές δυνατότητες να διαφοροποιούνται και τη βιομηχανική ζήτηση να ενισχύεται σημαντικά. Η εκκίνηση της παγκόσμιας αγοράς καθαρού υδρογόνου είναι η πιο κατάλληλη στιγμή για την ανάπτυξη ενός παγκόσμιου οργανισμού επιφορτισμένου με τον καθορισμό των μηχανισμών της αγοράς, τη διαμόρφωση και τον έλεγχο των τιμών, τον προσδιορισμό σημείων και πλατφορμών διαπραγμάτευσης, καθώς και τη θέσπιση μηχανισμών υποστήριξης, με τη βοήθεια και τη χρηματοδότηση δημόσιων φορέων. Το πιο σημαντικό στοιχείο σχετικά με την εκκίνηση της αγοράς είναι η εξέλιξη της τιμής του καθαρού υδρογόνου, η οποία σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να είναι επιδοτούμενη σε μεγάλο βαθμό και στη συνέχεια να διαμορφώνεται ελεύθερα σε προσιτά επίπεδα, εντός ενός πλαισίου που μένει να προσδιοριστεί.

Η διαπραγμάτευση της τιμής του υδρογόνου να πρέπει να γίνεται ελεύθερα, όταν αυτό φτάνει στην αγορά. Θα χρειαστούν κέντρα διαπραγμάτευσης – πιθανώς σε αρκετά μεγάλο πλήθος – ώστε να καθορίζεται η προμήθεια και η ζήτηση, να ορίζονται τιμές και να καθίσταται εφικτός ο βιομηχανικός προγραμματισμός. Στόχος των παραγωγικών ικανοτήτων θα πρέπει να είναι να παρέχεται επαρκής προσφορά, και θα πρέπει να είναι αναμενόμενο ότι θα διασφαλίζεται σε μόνιμη βάση επαρκής αντιστοίχιση της προσφοράς και της ζήτησης. Ο στόχος της δομής και της λειτουργίας της αγοράς δεν θα είναι να διαφυλάσσει την σπανιότητα του πόρου ώστε να διατηρεί υψηλή την τιμή του. Ο στόχος

θα είναι να κάνει τον πόρο άφθονα διαθέσιμο, σε τιμή η οποία εξισορροπεί το συμφέρον των καταναλωτών, το κόστος της βιομηχανικής παραγωγής και την απόδοση της επένδυσης στις υποδομές. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο προγραμματισμός της παραγωγής θα είναι διασφαλισμένος, οι επενδύσεις θα δρομολογούνται και οι υποδομές να κατασκευάζονται και θα συντηρούνται.

Η εκκίνηση της αγοράς θα χαρακτηρίζεται σε μεγάλο βαθμό από τιμολογιακές παρεμβάσεις, υπό τη μορφή συμβάσεων επί διαφοράς. Οι συμβάσεις αυτές θα πρέπει να υπακούουν σε ένα ομοιόμορφο σκεπτικό, ενώ το αντικείμενο και το αποτέλεσμα τους θα πρέπει να είναι εναρμονισμένο, στη βάση των βέλτιστων πρακτικών που θα έχουν διαμορφωθεί κατά τη στιγμή της έναρξης της Μεσογειακής Σύμπραξης για το Πράσινο Υδρογόνο. Οι συμβάσεις επί διαφοράς θα παίξουν τον ρόλο τους έως ότου η προσφορά του καθαρού υδρογόνου να φτάσει να καλύψει για πρώτη φορά τη ζήτηση. Έτσι, η ανάπτυξη και των δύο θα μπορεί να γίνει αντικείμενο σχεδιασμού, καθώς η ζήτηση του υδρογόνου από τη βιομηχανία και την κοινωνία εν γένει θα αυξάνουν την παραγωγή του υδρογόνου και οι υποδομές θα επεκτείνονται.

6.8 Μεταφορά και παράδοση καθαρού υδρογόνου

Η μεταφορά του καθαρού υδρογόνου θα συνδέεται με την ύπαρξη μιας υποδομής διανομής, κατ' αντιστοιχία με το υφιστάμενο δίκτυο αερίου. Οι αγωγοί θα αποτελούν τον κορμό των υποδομών αυτών, τόσο για μεγαλύτερες αποστάσεις – όπως μεταξύ ηπείρων – όσο και για την τροφοδοσία περιφερειακών και τοπικών σημείων διανομής. Οι αγωγοί αυτοί θα πρέπει να κατασκευαστούν και η κατασκευή τους θα πρέπει να χρηματοδοτηθεί, πράγμα που θα αποτελέσει βασικό αντικείμενο της ΜΣΠΥ.

Πράγματι, η δημιουργία ενός δικτύου σημείων παραγωγής, αγωγών, εγκαταστάσεων λιμένα και υποδομών μετασχηματισμού θα πρέπει να πραγματοποιηθεί βάσει συγκεκριμένης ατζέντας για το παγκόσμιο λανσάρισμα του υδρογόνου και θα απαιτήσει σημαντικά ποσά χρηματοδότησης. Εκ των πραγμάτων, η συμμετοχή ιδιωτών επενδυτών στη δημιουργία των παγκόσμιων υποδομών υδρογόνου φαίνεται αναγκαία. Επομένως, η διασφάλιση κατάλληλων αποδόσεων για τις ιδιωτικές επενδύσεις θα αποτελέσει ένα από τα πρώτα ζητήματα που θα διαχειριστεί η ΜΣΠΥ.

Η χρηματοδότηση των υποδομών θα είναι ένας από τους πλέον ορατούς τομείς στους οποίους θα παρέμβει η ΜΣΠΥ. Ο οργανισμός όχι μόνο θα παρέχει ένα μέρος της χρηματοδότησης, αλλά θα πρέπει να ασχοληθεί και με τη δημιουργία κοινοπραξιών, που θα σχεδιαστούν με στόχο την κατασκευή μεγάλων εγκαταστάσεων παραγωγής, αποθήκευσης και μεταφοράς. Μέσω ενός συστήματος εγγυήσεων επενδύσεων και αποδόσεων, η ΜΣΠΥ θα είναι σε θέση να μοχλεύσει τα αναγκαία κεφάλαια για τη δημιουργία του παγκόσμιου συστήματος παροχής υδρογόνου, και να ρυθμίσει τη σύνδεση μεταξύ των εγκαταστάσεων και τη συντονισμένη λειτουργία τους. Η «Τράπεζα Υδρογόνου» που ανακοινώθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή θα αποτελέσει τον ακρογωνιαίο λίθο για τη μελλοντική χρηματοδοτική δομή.

6.9 Θεσμοί διακυβέρνησης εντός της Μεσογειακής Σύμπραξης για το Πράσινο Υδρογόνο

Η Μεσογειακή Σύμπραξη για το Πράσινο Υδρογόνο δεν θα αποτελεί αντίγραφο καμίας άλλης υφιστάμενης οργάνωσης. Κατ' ουσίαν σχετίζεται με την υπερεθνική λήψη αποφάσεων για το κοινό καλό. Επομένως, έχει ανάγκη από λειτουργικούς, αποτελεσματικούς και ταυτόχρονα δημοκρατικούς

και συμμετοχικούς θεσμούς, όπου τόσο οι παραγωγοί όσο και οι καταναλωτές του υδρογόνου θα αντιμετωπίζουν από κοινού τις προκλήσεις της ανάπτυξης της αγοράς του υδρογόνου.

Στη βάση οποιουδήποτε υπερεθνικού θεσμού, υπάρχει η συνέλευση των μελών του. Η Μεσογειακή Σύμπραξη για το Πράσινο Υδρογόνο είναι ανοιχτή σε κάθε μεσογειακή χώρα και η συμμετοχή είναι ελεύθερη. Ωστόσο, τα μέλη της θα πρέπει να ομαδοποιηθούν σε κατηγορίες, ανάλογα με τη θέση του καθενός στην οικονομία του υδρογόνου. Είναι σαφές ότι χώρες που έχουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην παραγωγή και κατανάλωση υδρογόνου θα πρέπει αντίστοιχα να απολαμβάνουν σημαντική εκπροσώπηση και καθοριστική παρουσία στον οργανισμό.

Σε ένα πρώτο βήμα, οι χώρες που έχουν ήδη υπογράψει διμερείς συμφωνίες για το πράσινο υδρογόνο με την ΕΕ ή με κράτη-μέλη της ΕΕ πρέπει να εξετάζονται ως υπερεθνικοί εταίροι της ΕΕ· πιο συγκεκριμένα η Αίγυπτος, η Αλγερία, το Μαρόκο και η Τυνησία (με αλφαβητική σειρά). Η Τουρκία, η οποία υπέγραψε συμφωνία σύνδεσης με την ΕΕ το 1963, θα πρέπει επίσης να αποτελέσει συνεργαζόμενο εταίρο σε αυτήν την προσέγγιση. Πέραν αυτών, σίγουρα στον οργανισμό υπάρχει θέση για τη Λιβύη, όταν η χώρα είναι πρόθυμη και έτοιμη να την καταλάβει, καθώς και για χώρες που γειτνιάζουν άμεσα με τη Μεσόγειο και συνδέονται οργανικά με αυτή, όπως είναι η Μαυριτανία και η Σαουδική Αραβία.

Με βάση το μοντέλο της Ευρωπαϊκής Κοινότητας Άνθρακα και Χάλυβα (ΕΚΑΧ), μια Ανώτερη Αρχή – το ακριβές όνομα της οποίας παραμένει επί του παρόντος ανοιχτό – θα αναλάβει την καθημερινή διαχείριση της ΜΣΠΥ, φροντίζοντας την αλληλεπίδρασή της με την παγκόσμια κοινότητα, τα κράτη, τη βιομηχανία και την κοινωνία γενικότερα. Η Αρχή αυτή θα πρέπει να αποτελείται από εκπροσώπους από όλα τα επίσημα κράτη-μέλη της Μεσογειακής Σύμπραξης για το Πράσινο Υδρογόνο. Οι συνεργαζόμενοι εταίροι θα έχουν την ιδιότητα του παρατηρητή.

Κατ' αντιστοιχία με την πρώτη υπερεθνική προσέγγιση που εφαρμόστηκε από την ΕΚΑΧ, οι θεσμοί της ΜΣΠΥ θα μπορούσαν να σχεδιαστούν ως εξής:

- Οι θεσμοί της Μεσογειακής Σύμπραξης για το Πράσινο Υδρογόνο θα είναι η Ανώτερη Αρχή, η Κοινή Συνέλευση, το Συμβούλιο των Υπουργών και το Δικαστήριο. Μια Συμβουλευτική Επιτροπή θα μπορούσε επίσης να θεσπιστεί ως πέμπτος θεσμός που να εκπροσωπεί παραγωγούς, εργαζόμενους, καταναλωτές και εμπόρους.
- Η Ανώτερη Αρχή θα μπορούσε να αποτελείται από μια επιτροπή με μέλη πενταετούς θητείας, που θα διορίζονται από τις κυβερνήσεις των κρατών-μελών. Ο Πρόεδρος της Ανώτερης Αρχής μπορεί να ορίζεται ανάμεσα από τα μέλη της επιτροπής, κυκλικά, ανάμεσα στους εκπροσώπους από την ΕΕ και από τη Βόρεια Αφρική ή άλλα κράτη-μέλη της ΜΣΠΥ, αντίστοιχα, σε δεύτερο χρόνο. Οι αρμοδιότητες της Ανώτερης Αρχής θα πρέπει να διασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία της κοινής αγοράς του καθαρού υδρογόνου μεταξύ των κρατών-μελών της ΜΣΠΥ.
- Η Κοινή Συνέλευση θα πρέπει να απαρτίζεται από Βουλευτές από τα κράτη-μέλη της ΜΣΠΥ (συμπεριλαμβανομένων και μελών του Ευρωκοινοβουλίου).
- Ένα Συμβούλιο των Υπουργών, που θα αποτελείται από εκπροσώπους των εθνικών κυβερνήσεων, θα πρέπει να συνέρχεται κάθε τρεις μήνες προκειμένου να διασφαλίζεται η εναρμόνιση των δραστηριοτήτων της Ανώτερης Αρχής με αυτές των εθνικών κυβερνήσεων.
- Ένα Δικαστήριο θα διασφαλίζει την τήρηση των νόμων της ΜΣΠΥ βάσει της Συνθήκης της ΜΣΠΥ. Το Δικαστήριο θα πρέπει να απαρτίζεται από 10 δικαστές, που θα διορίζονται με κοινή σύμφωνη γνώμη των εθνικών κυβερνήσεων για θητεία έξι ετών, καθώς και από δύο Γενικούς Εισαγγελείς.

- Η Συμβουλευτική Επιτροπή μπορεί να απαρτίζεται εξίσου από παραγωγούς, εργαζόμενους, καταναλωτές και εμπόρους από τον τομέα του υδρογόνου, χωρίς εθνικές ποσοστώσεις, αλλά με τρόπο που διασφαλίζει κάποια ισορροπία μεταξύ των κρατών-μελών της ΜΣΠΥ.

6.10 Συμπέρασμα

Η Ευρώπη προετοιμάζεται ώστε να γίνει η πρώτη ήπειρος που επιτυγχάνει την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050. Το εργαλείο για την επίτευξη του πρωταρχικού αυτού στόχου είναι η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, που στηρίζεται στο νομοθετικό πλαίσιο Fit for 55 σε συνδυασμό με την οδηγία για τα Ανανεώσιμα Αέρια και το Υδρογόνο. Η ρωσική εισβολή στην Ουκρανία οδήγησε στην επιτάχυνση της εφαρμογής της ευρωπαϊκής στρατηγικής για την ενεργειακή ανθεκτικότητα και την αντικατάσταση των ορυκτών φορέων ενέργειας. Ένα σημαντικό σκέλος αυτής της στρατηγικής είναι η Μεσογειακή Σύμπραξη για το Πράσινο Υδρογόνο (ΜΣΠΥ). Καθώς οι Ευρωπαίοι και Βορειοαφρικανοί εταίροι συνδέονται οικονομο-κοινωνικά, και καθώς οι δύο πλευρές έχουν συμφωνήσει ως προς τις στρατηγικές για το υδρογόνο, η ΜΣΠΥ προσφέρει ένα εξαιρετικό πλαίσιο για να καταστεί πρόδρομος σε παγκόσμιο επίπεδο της συνεργασίας για το πράσινο υδρογόνο και της καθιέρωσης μιας βάσης για τη μελλοντική παγκόσμια διακυβέρνηση του υδρογόνου. Μια υπερεθνική προσέγγιση θα έδινε μεγαλύτερο βάθος στη συνεργασία μεταξύ ΕΕ, Βόρειας Αφρικής και γειτονικών περιοχών. Το χρονικό πλαίσιο μεταξύ της COP27 στην Αίγυπτο και της COP28 στο Ντουμπάι κρίνεται επαρκές για την επίσημη έναρξή της.