



ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΑΞΙΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΙΑΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Σεπτέμβριος 2022

Αριθμός Έκθεσης 18/2022

ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΑΞΙΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΙΑΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Αριθμός Έκθεσης 18/2022

Σεπτέμβριος 2022

Οποιαδήποτε αλληλογραφία για το παρόν έγγραφο να αποστέλλεται στη
Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ακρωνύμια	8
Εκτενής Περίληψη	10
1. Εισαγωγή.....	20
2. Πλαίσιο Πολιτικής της Ευρωπαϊκής ένωσης & Βέλτιστες Πρακτικές	23
2.1 Το Ευρωπαϊκό πλαίσιο στρατηγικής για τη μείωση των εκπομπών CO ₂	23
2.2 Διείδυση του υδρογόνου στο ενεργειακό μείγμα	29
2.3 Παρουσίαση ρυθμιστικού πλαισίου για την εισαγωγή του υδρογόνου στο μείγμα καυσίμων	36
2.4 Το υδρογόνο στις πολιτικές των Κρατών Μελών	43
i. Ολλανδία	46
ii. Γερμανία	49
iii. Πορτογαλία	51
iv. Γαλλία	52
2.5 Το υδρογόνο στην πολιτική χωρών εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	55
i. Ηνωμένο Βασίλειο	55
ii. Ιαπωνία	58
iii. Μαρόκο	59
iv. Αυστραλία	60
v. Νότια Αφρική	60
vi. Χιλή	62
vii. Σαουδική Αραβία	63
2.6 Συνοπτική παρουσίαση του Εθνικού Σχεδίου Ενέργειας και Κλίματος της Κύπρου	64
3. Το Υδρογόνο ως Φορέας Ενέργειας: Οφέλη Από τη Χρήση του Υδρογόνου	67
3.1 Σύντομη παρουσίαση της χρήσης υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή.....	67
3.2 Σύντομη παρουσίαση της χρήσης υδρογόνου στους βιομηχανικούς τομείς EU ETS.....	70
3.3 Σύντομη παρουσίαση της χρήσης υδρογόνου στους τομείς εκτός EU ETS ..	71

3.4 Εκτίμηση της διείσδυσης του υδρογόνου στο ενεργειακό μείγμα ανά τομέα .	73
4. Τεχνολογίες Παραγωγής Υδρογόνου.....	81
4.1 Εισαγωγή στην παραγωγή υδρογόνου.....	81
4.2 Παραγωγή Μπλε Υδρογόνου	84
4.3 Παραγωγή Πράσινου Υδρογόνου	89
4.4 Δυνατότητες παραγωγής υδρογόνου στην Κύπρο.....	99
5. Μεταφορά και Αποθήκευση Υδρογόνου	102
5.1 Ανασκόπηση των διαθέσιμων μεθόδων για αποθήκευση υδρογόνου.....	102
5.2 Ανασκόπηση των διαθέσιμων μεθόδων για μεταφορά υδρογόνου	104
6. Υποστήριξη Αναπτυξης της Αλυσίδας Αξίας του Υδρογόνου	108
6.1 Σύντομη παρουσίαση των παραγόντων που καθορίζουν την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου.....	108
6.2 Μοντέλα υποστήριξης κατά τα πρώτα βήματα σχηματισμού της αλυσίδας αξίας υδρογόνου	113
7. Νομικό και Ρυθμιστικό Πλαίσιο	121
7.1 Ρυθμιστικά θέματα δικτύου ΦΑ για χρήση υδρογόνου.....	121
7.1.1 Αναγκαιότητα δημιουργίας στοχευμένου ρυθμιστικού πλαισίου	121
7.1.2 Πρόταση της ΕΕ για το Υδρογόνο – Το Πακέτο της Αποανθρακοποιημένης Αγοράς Φυσικού Αερίου.....	122
7.1.3 Δημόσια έγγραφα ACER/CEER.....	126
7.2 Βασικά Στοιχεία Νομοθετικής Ρύθμισης	132
8. Κατευθυντήριες Γραμμές	135
8.1 Συνιστώμενες κατευθυντήριες γραμμές.....	135
8.1.1 Αναγνώριση του υδρογόνου ως βασικού συστατικού του ενεργειακού μείγματος για το 2030 και μέχρι το 2050.....	135
8.1.2. Δημιουργία μακροχρόνιας εθνικής ενεργειακής στρατηγικής λαμβάνοντας υπόψη το υδρογόνο	137
8.1.3. Δημιουργία πλαισίου που θα επιτρέψει την εισαγωγή συμμετεχόντων σε μια αγορά υδρογόνου.....	137
8.1.4. Εναρμόνιση εθνικού ρυθμιστικού πλαισίου με τις σχετικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες.....	139

8.1.5. Υιοθέτηση στοχευμένων μέτρων για την επίλυση προβλημάτων στα επιμέρους τμήματα της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου.....	140
8.2 Χρονική διάσταση των κατευθυντήριων γραμμών	145
Παραρτήματα	147
Παράρτημα 1: Κωδικοποίηση χρωμάτων υδρογόνου	148
Παράρτημα 2: Χαρακτηριστικά καυσίμων	150

Πίνακες

Πίνακας 0-1 Ενδεικτικός χρονοσμός των συνιστώμενων δράσεων για την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου στην Κυπριακή Δημοκρατία.....	19
Πίνακας 2-1 Υφιστάμενο νομικό πλαίσιο της ΕΕ σχετικά με την έγχυση υδρογόνου σε δίκτυα φυσικού αερίου.....	40
Πίνακας 2-2 Τομείς χρήσης υδρογόνου που αναφέρονται στα εθνικά σχέδια πολιτικής των κρατών μελών της Ε.Ε	45
Πίνακας 2-3 Βασικοί στόχοι του Ολλανδικού σχεδίου για το υδρογόνο	49
Πίνακας 2-4 Βασικοί στόχοι του γερμανικού σχεδίου για το υδρογόνο.....	51
Πίνακας 2-5 Βασικοί στόχοι του Πορτογαλικού σχεδίου για το υδρογόνο.....	52
Πίνακας 2-6 Βασικοί στόχοι του Γαλλικού σχεδίου για το υδρογόνο	55
Πίνακας 4-1 Συνθήκες λειτουργίας και χαρακτηριστικά για τους τέσσερις τύπους ηλεκτρόλυσης.....	91
Πίνακας 4-2 Σύνοψη των δεδομένων κόστους και απόδοσης των επιλεγμένων ηλεκτρολυτών.....	95
Πίνακας 8-1 Ενδεικτικός χρονοσμός των συνιστώμενων δράσεων για την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου στη Κύπρο.....	146

Σχήματα

Σχήμα 2-1 Η πορεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς διαρκή οικονομική ευημερία και κλιματική ουδετερότητα, 1990-2050	25
Σχήμα 2-2 Μείγμα καυσίμου στο ενεργειακό μείγμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ικανοποίηση της τελικής ενεργειακής ζήτησης, 2015-2050	32
Σχήμα 2-3 Κατανάλωση αερίων καυσίμων ανά τύπο αερίου, 2015-2050.....	33
Σχήμα 2-4 Κατανάλωση αερίων καυσίμων ανά τομέα, 2015-2050.....	34
Σχήμα 2-5 Ημερομηνίες δημοσίευσης των εθνικών στρατηγικών υδρογόνου σε όλο τον κόσμο ανά χώρα	46
Σχήμα 2-6 Οδικός χάρτης για το υδρογόνο - Ηνωμένο Βασίλειο.....	56
Σχήμα 3-1 Τεχνολογία και εφαρμογές Power-to-Gas-to-Power	69
Σχήμα 3-2 Κατανάλωση τελικής ενέργειας στη Κύπρο, ανά τομέα, 2015-2050.....	74
Σχήμα 3-3 Κατανάλωση τελικής ενέργειας στη Κύπρο, ανά καύσιμο, 2015-2050	75
Σχήμα 4-1 Χρωματική κατηγοριοποίηση υδρογόνου	83
Σχήμα 4-2 Επίδραση του κόστους του φυσικού αερίου, του CAPEX και του OPEX στην τελική τιμή του υδρογόνου για διάφορες περιοχές το 2018	89
Σχήμα 4-3 Εκτιμώμενο κόστος παραγωγής υδρογόνου από διαφορετικές τεχνολογίες .97	
Σχήμα 4-4 Εκτιμήσεις της έντασης εκπομπών διοξειδίου των διαφόρων μεθόδων παραγωγής υδρογόνου	98
Σχήμα 5-1 Κόστος μεταφοράς υδρογόνου για μια απλή (από σημείο σε σημείο) διαδρομή, για 1 Mt H ₂ και χαμηλού κόστους ηλεκτρική ενέργεια (10 EURO /MW)	106
Σχήμα 5-2 Κατανομή του κόστους μεταφοράς υδρογόνου μέσω δικτύου αγωγών 20 ΙΝΤΣΩΝ	107
Σχήμα 6-1 Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας Συμβολαίων επί της Διαφοράς Άνθρακα	118
Σχήμα Π-0-1 Εκπομπές ισοδύναμου CO ₂ για διάφορες οδούς παραγωγής υδρογόνου το 2030 και το 2050	149

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΑτΘ	Αέρια του θερμοκηπίου
ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΕΣΕΚ	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΚΜ	Κράτος Μέλος
ΣΕΔΕ	Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών
ΣΠΜ	Σενάριο Πρόσθετων Μέτρων
ΣΥΜ	Σενάριο με τα Υφιστάμενα Μέτρα
ΥΦΑ	Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο
ΦΑ	Φυσικό Αέριο
ACER	Agency for the Cooperation of Energy Regulators
ACM	Dutch Authority for Consumers and Markets
AEM	Anion Exchange Membrane
ALK	Alkaline
ANR	Agence nationale de la recherche
ATR	Autothermal Reforming
BAT	Best Available Techniques
CAPEX	Capital Expenditure
CBA	Cost Benefit Analysis
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism
CCUS	Carbon Capture, Utilization and Storage
CEER	Council of European Energy Regulators
CEP	Clean Energy Package
CIS	Country Investment Strategy
CNG	Compressed Natural Gas
CRE	French Energy Regulatory Commission
DRI	Direct Reduced Iron

ENNOH	European Network of Network Operators for Hydrogen
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
ENTSO-G	European Network of Transmission System Operators for Gas
ETD	Energy Taxation Directive
ETS	European Union Emissions Trading System
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil
IPCEI	Important Projects of European Common Interest
LNG	Liquified Natural Gas
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier
LPG	Liquified Petroleum Gas
NGCC	Natural Gas Combined Cycle
OPEX	Operational Expenditure
PEM	Proton Exchange Membrane
RAB	Regulated Asset Bases
SAF	Sustainable Aviation Fuels
SMR	Steam Methane Reforming
SOEC	Solid Oxide Electrolyser Cell
TPA	Third Party Access
TSO	Transmission System Operator
WGS	Water Gas Shift

ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας έκθεση είναι η θέσπιση κατευθυντήριων γραμμών σχετικά με την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας υδρογόνου στην Κυπριακή Δημοκρατία.

Η έκθεση αναπτύσσεται σε οκτώ (8) κεφαλαία. Αρχικά, πραγματοποιείται μια ανασκόπηση των Ευρωπαϊκών και εθνικών στρατηγικών για τη χρήση του υδρογόνου ως φορέα ενέργειας, καθώς και μια συνοπτική παρουσίαση της υφιστάμενης δομής του ενεργειακού τομέα της Κύπρου και της εξέλιξης του με βάση τις προγραμματισμένες πολιτικές και μέτρα. Στη συνέχεια εξετάζεται η προοπτική της χρήσης του υδρογόνου ως φορέα ενέργειας και πραγματοποιείται η τεχνολογική, οικονομική και περιβαλλοντική αξιολόγηση των τμημάτων της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου. Ακολουθεί η ανάλυση του νομικού και κανονιστικού πλαισίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και της Κύπρου για το υδρογόνο, ώστε να αναπτυχθούν οι κατευθυντήριες γραμμές για την αλυσίδα αξίας του υδρογόνου στην Κυπριακή Δημοκρατία.

Η παρούσα έκθεση ετοιμάστηκε στη βάση του Παραδοτέου που υποβλήθηκε στο πλαίσιο του υπ' αριθμόν 13/2021 Διαγωνισμού της ΡΑΕΚ με θέμα «Κατευθυντήριες Γραμμές Ανάπτυξης Αλυσίδας Αξίας Υδρογόνου στην Κυπριακή Δημοκρατία» από τον Ανάδοχο Σύμβουλο, EXERGIA Energy & Environment Consultants S.A. (EXERGIA A.E.).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικότερα σημεία για κάθε ενότητα της έκθεσης:

Ανασκόπηση Ευρωπαϊκών και εθνικών στρατηγικών

Τον Ιούλιο του 2021, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε τη δέσμη μέτρων Fit-for-55 που ουσιαστικά αποτελεί μια σειρά προτάσεων και πρωτοβουλιών με στόχο την αναθεώρηση και την επικαιροποίηση της νομοθεσίας της ΕΕ για την εναρμόνιση με τον στόχο για κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050, συμπεριλαμβανομένου του ενδιάμεσου στόχου για καθαρή μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030. Τον Μάιο του 2022, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε ακόμα ένα σχέδιο, το REPowerEU, το οποίο στοχεύει στην απεξάρτηση της ΕΕ από τα Ρωσικά ορυκτά καύσιμα πριν το 2030, βασιζόμενο στην πλήρη εφαρμογή της δέσμης μέτρων «Fit-for-55», προβλέποντας όμως πρόσθετες παρεμβάσεις όσον αφορά το φυσικό αέριο, την αύξηση της συμμετοχής ανανεώσιμων αερίων καυσίμων, συμπεριλαμβανομένου του υδρογόνου, την επίσπευση της εξοικονόμησης ενέργειας και τον εξηλεκτρισμό μεγαλύτερου μέρους της τελικής κατανάλωσης.

Οι τρέχουσες προβλέψεις δείχνουν ότι με πλήρη εφαρμογή των τρεχουσών πολιτικών, οι εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑτΘ) έως το 2030 θα είναι περίπου 45% χαμηλότερες σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Επομένως, γίνεται κατανοητό ότι χρειάζονται παραπάνω δράσεις στα πλαίσια των προαναφερθέντων Ευρωπαϊκών πρωτοβουλιών.

Το υδρογόνο, το οποίο κατά τη χρήση του στην τελική κατανάλωση δεν εκπέμπει ΑτΘ και προκαλεί σχεδόν μηδενική ατμοσφαιρική ρύπανση, βρίσκει συνεπώς σημαντικές προοπτικές εφαρμογής στους τομείς της βιομηχανίας, των μεταφορών, της ενέργειας και των κτηρίων και καθίσταται αναγκαίο συστατικό του ενεργειακού μίγματος για τη στήριξη της δέσμευσης της ΕΕ να επιτύχει ουδέτερο ανθρακικό αποτύπωμα έως το 2050. Τον Σεπτέμβριο του 2020 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε το Σχέδιο κλιματικών στόχων για το 2030 ("Climate Target Plan 2030"). Στη βάση μιας συνολικής εκτίμησης επιπτώσεων (impact assessment), το υδρογόνο, εμφανίζεται πλέον ως βασικό καύσιμο στο ενεργειακό μείγμα που εξασφαλίζει τη μείωση των εκπομπών. Ενώ το φυσικό αέριο διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο μεταξύ των αερίων καυσίμων έως το 2030, η χρήση του καθίσταται ασύμβατη με τον στόχο της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050.

Τον Ιούλιο του 2020, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε τη στρατηγική της για το υδρογόνο ("A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe"), στόχος της οποίας είναι να καταστεί δυνατή η ευρεία χρήση υδρογόνου έως το 2050. Ειδικότερα, η ανάπτυξη του ανανεώσιμου υδρογόνου, το οποίο αποτελεί την πλέον συμβατή επιλογή σύμφωνα με τον στόχο της ΕΕ για κλιματική ουδετερότητα, αποτελεί προτεραιότητα για την ΕΕ.

Σύμφωνα με την σχετική Ευρωπαϊκή στρατηγική, στρατηγικός στόχος είναι η εγκατάσταση ηλεκτρολυτικών κυψελών παραγωγής ανανεώσιμου υδρογόνου με ισχύ τουλάχιστον 6 GW εντός της ΕΕ και η παραγωγή έως και 1 εκατομμυρίου τόνων ανανεώσιμου υδρογόνου έως το 2024, ενώ σε δεύτερη φάση, από το 2025 έως το 2030, η εγκατάσταση ηλεκτρολυτικών κυψελών ανανεώσιμου υδρογόνου ισχύος τουλάχιστον 40 GW και η παραγωγή έως και 10 εκατομμυρίων τόνων ανανεώσιμου υδρογόνου στην ΕΕ. Σε μια τρίτη φάση, από το 2030 και έως το 2050, οι τεχνολογίες υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές θα πρέπει να έχουν αναπτυχθεί σε ευρεία κλίμακα για να φτάσουν σε όλους τους δύσκολα αποανθρακοποιήσιμους τομείς.

Η χρήση υδρογόνου σε δίκτυα φυσικού αερίου, τα οποία καλύπτουν διάφορες γεωγραφικές περιοχές και κλίμακες, μπορεί να διευκολύνει τη μετάβαση στην απαλλαγή από τις εκπομπές ΑτΘ. Παρ' όλο που το νομοθετικό πλαίσιο της ΕΕ είναι καλά εδραιωμένο όσον αφορά στο φυσικό αέριο και στις υποδομές του,

υπάρχουν θεμελιώδη νομικά και διαχειριστικά εμπόδια που θα μπορούσαν να εμποδίσουν την έγχυση υδρογόνου στο δίκτυο φυσικού αερίου, με κύριο εμπόδιο την έλλειψη πλαισίου για τις απαιτήσεις έγχυσης δικτύου. Μεταξύ κάποιων νέων και αναθεωρημένων πολιτικών, το πακέτο Fit-for-55 περιλαμβάνει διάφορες σημαντικές διατάξεις για το υδρογόνο, και κυρίως για το πράσινο υδρογόνο που είναι αυτό που μπορεί να συμβάλει καθοριστικότερα στον στόχο για κλιματική ουδετερότητα.

Σχετικά με τα Κράτη Μέλη της ΕΕ, σχεδόν όλες οι χώρες αναφέρουν το πράσινο υδρογόνο στα Εθνικά τους Σχέδια για την Ενέργεια και το Κλίμα για το 2030. Τα σχέδια που έχουν παρουσιαστεί διαφέρουν ως προς τη φιλοδοξία, το πεδίο εφαρμογής και το βάθος εφαρμογής. Ακόμη, δεν καθορίζουν όλες οι χώρες ρητά τους τομείς για τους οποίους η τεχνολογία του πράσινου υδρογόνου είναι πιθανό να καταστεί κατάλληλη. Μεταξύ αυτών που το κάνουν, όλοι βλέπουν δυνατότητες στον τομέα των εμπορικών μεταφορών όπου η ηλεκτροκίνηση είναι δύσκολο να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα. Οι περισσότερες χώρες σκοπεύουν επίσης να προωθήσουν τη χρήση υδρογόνου που παράγεται από ΑΠΕ στη βιομηχανική παραγωγή – εν μέρει ως υποκατάστατο του παραγόμενου από ορυκτά καύσιμα υδρογόνου στις υπάρχουσες εφαρμογές και εν μέρει ως υποκατάστατο του φυσικού αερίου ως φορέα ενέργειας. Τέλος, η χρήση υδρογόνου ή προϊόντων υδρογόνου για θέρμανση σε κτήρια είναι επίσης διαδεδομένη, αλλά από μια μειοψηφία χωρών. Περισσότερες χώρες εκδηλώνουν ενδιαφέρον σχετικά με την ενσωμάτωση των προϊόντων αυτών στις υπάρχουσες υποδομές φυσικού αερίου, ανακοινώνοντας την αναθεώρηση των σχετικών κανόνων.

Το ΕΣΕΚ της Κύπρου όπως αυτό καταρτίστηκε τον Ιανουάριο του 2020, δεν περιλαμβάνει πολιτικές που να στοχεύουν στην ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου στην χώρα για την περίοδο 2021-2030. Το σημαντικότερο μέτρο πολιτικής στον τομέα της ενέργειας αφορά την εισαγωγή και τη χρήση του φυσικού αερίου, αρχικά στην ηλεκτροπαραγωγή. Η προοπτική της ανάπτυξης του τομέα του Φυσικού Αερίου στην Κύπρο, προσφέρει και προοπτική για την ανάπτυξη του τομέα του μπλε υδρογόνου¹ ως προπομπού για την μετάβαση στην οικονομία του πράσινου υδρογόνου. Παρόλα αυτά, όντας η Κύπρος πλεονασματική σε ηλεκτρισμό από ΑΠΕ, σύμφωνα με το ΕΣΕΚ, ο πιο βιώσιμος δρόμος για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου θα ήταν η αξιοποίηση του ηλιακού δυναμικού του νησιού, το οποίο είναι αρκετά μεγάλο..

Προοπτική χρήσης υδρογόνου ως φορέα ενέργειας

¹ Μπλε υδρογόνο: υδρογόνο παραγόμενο από ορυκτά καύσιμα με χρήση τεχνολογιών δέσμευσης του CO₂ (CCUS).

Το υδρογόνο χαμηλών εκπομπών, και ειδικότερα το πράσινο υδρογόνο, μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην κάλυψη των μελλοντικών αναγκών του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Οι δύο βασικοί ρόλοι που μπορεί να διαδραματίσει το υδρογόνο στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η παροχή ευελιξίας στο σύστημα, αξιοποιώντας την πλεονάζουσα ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια παράγοντας υδρογόνο και η ευέλικτη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλοντας στην κάλυψη βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων κορυφώσεων της ζήτησης.

Σε πιο μακροπρόθεσμο ορίζοντα πέραν του 2030, αναμένεται ότι το υδρογόνο χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και ενδεχομένως η αμμωνία (ως φορέας υδρογόνου), θα διαδραματίσουν ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στην παροχή ισχύος και στη διασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού.

Επιπλέον, η χρήση του υδρογόνου στην βιομηχανία μπορεί να αντικαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα στις ενεργοβόρες βιομηχανίες (όπως χαλυβουργία, τσιμέντο, κεραμικά, κτλ.) καθώς επίσης να μειώσει τη χρήση ή και να αντικαταστήσει το υδρογόνο υψηλής έντασης άνθρακα (δλδ. υδρογόνο παραγόμενο από ορυκτά καύσιμα). Το υδρογόνο χαμηλής έντασης άνθρακα ή/και το πράσινο υδρογόνο μπορούν ακόμα να προσφέρουν μια εναλλακτική λύση απέναντι στο φυσικό αέριο και σε άλλα καύσιμα υψηλότερης έντασης άνθρακα που χρησιμοποιούνται για βιομηχανική θέρμανση.

Εκτός του τομέα της βιομηχανίας και της ηλεκτρικής παραγωγής, το υδρογόνο αποτελεί επίσης μια πολλά υποσχόμενη επιλογή για τον τομέα των μεταφορών, ειδικά στις περιπτώσεις στις οποίες η ηλεκτροκίνηση είναι δυσκολότερο να εφαρμοστεί, όπως για παράδειγμα στις οδικές μεταφορές μεγάλων αποστάσεων και βαρέων οχημάτων. Μπορεί ακόμα να αποτελέσει λύση για την αποανθρακοποίηση του τομέα των αερομεταφορών και της ναυτιλίας, μέσω της παραγωγής υγρής συνθετικής κηροζίνης ή άλλων κατάλληλων συνθετικών καυσίμων, όπως συνθετική αμμωνία και μεθανόλη.

Με βάση τις προβλέψεις για την εξέλιξη του ενεργειακού μείγματος στην Κύπρο από το Ευρωπαϊκό Σενάριο Αναφοράς 2020, και θεωρώντας τις προβλέψεις του τελευταίου Πακέτου του Υδρογόνου και της αποανθρακοποιημένης Αγοράς Φυσικού Αερίου, η εισαγωγή υδρογόνου στο δίκτυο μπορεί να υποκαταστήσει 1.9 ktoe Φυσικού Αερίου το 2030 και 6.7 ktoe το 2050. Αυτές οι ποσότητες αντιστοιχούν σε αποφευγόμενες εκπομπές ΑτΘ ίσες με περίπου 4,472 tonnes CO₂eq το 2030 και 15,768 tonnes CO₂eq το 2050. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω ποσότητες ΑτΘ αντιστοιχούν σε αξία δικαιωμάτων ρύπων που δυνητικά δεν θα πρέπει πλέον να αγοραστούν. Με βάση τις θεωρήσεις του

Ευρωπαϊκού Σεναρίου Αναφοράς 2020 και σύμφωνα με την μεθοδολογία της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων για αξιολόγηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ενεργειακών έργων², η αξία θα είναι περίπου 135,000 Ευρώ το 2030 και 2,37 εκατομμύρια Ευρώ το 2050.

Καθώς η βιομηχανία στην Κύπρο καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της σχεδόν εξ' ολοκλήρου με χρήση ορυκτών καυσίμων και ειδικότερα με προϊόντα πετρελαίου, εφόσον αυτή συνδεθεί με το δίκτυο φυσικού αερίου, θα μπορέσει να μειώσει τις εκπομπές ΑτΘ που αναλογούν στο ποσοστό συμμετοχής του υδρογόνου στο μείγμα. Παρόλα αυτά, η επίτευξη των στόχων κατά της κλιματικής αλλαγής επιβάλλουν την αποανθρακοποίηση της βιομηχανίας σε μεγαλύτερο βαθμό. Επιπλέον, η απευθείας χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο προσφέρει επιπλέον δυνατότητες απαλλαγής από τα ορυκτά καύσιμα.

Στον τομέα των χερσαίων μεταφορών και συγκεκριμένα στα επιβατικά οχήματα, πιο ελκυστική λύση για την περίπτωση της Κύπρου αποτελεί ο εξηλεκτρισμός του στόλου, καθώς οι μετακινήσεις στο νησί είναι περιορισμένης απόστασης. Παρ' όλα αυτά, η ναυτιλία και οι αεροπορικές μεταφορές θα μπορούσαν να επωφεληθούν από την εισαγωγή υδρογόνου.

Αξιολόγηση των τμημάτων της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου

Το 95% της παραγωγής υδρογόνου στην Ευρωπαϊκή Ένωση προέρχεται σήμερα από την διεργασία Αναμόρφωσης Μεθανίου με Ατμό (Steam Methane Reforming – SMR), και σε μικρότερο βαθμό από την διεργασία Αυτόθερμης Αναμόρφωσης (Autothermal Reforming – ATR), γκρι υδρογόνο. Άλλες τεχνολογίες παραγωγής υδρογόνου περιλαμβάνουν την αεριοποίηση άνθρακα ή βιομάζας και την ηλεκτρόλυση του νερού με χρήση ανανεώσιμης ενέργειας.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της παραγωγής γκρι υδρογόνου είναι ότι οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια και ότι το κόστος της παραγωγής υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα στην σημερινή εποχή είναι σημαντικά χαμηλότερο από την παραγωγή υδρογόνου από ΑΠΕ. Το κόστος παραγωγής υδρογόνου μέσω των διεργασιών SMR και ATR, σε παγκόσμιο επίπεδο, επηρεάζεται από τις τιμές του φυσικού αερίου. Ο συνδυασμός των τεχνολογιών αυτών με τεχνολογίες δέσμευσης, αξιοποίησης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (CCUS) είναι απαραίτητος σε ένα πλαίσιο όπου η αποανθρακοποίηση είναι βασικό ζητούμενο, αυξάνοντας περαιτέρω το κόστος (μπλε υδρογόνο). Το κόστος παραγωγής ανανεώσιμου υδρογόνου (πράσινο υδρογόνο) σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία επηρεάζεται από τον τύπο των διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

² Αναφορά:

https://www.eib.org/attachments/publications/eib_project_carbon_footprint_methodologies_2022_en.pdf

Σήμερα, ούτε το ανανεώσιμο υδρογόνο ούτε το υδρογόνο ορυκτών καυσίμων με CCUS είναι ανταγωνιστικά από άποψη κόστους έναντι του υδρογόνου ορυκτών καυσίμων.

Η Κύπρος διαθέτει σημαντικό δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυρίως ηλιακής, το οποίο θα μπορεί να αξιοποιηθεί καλύτερα εάν οι μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές συνδυάζονταν με ηλεκτρολύτες προς την παραγωγή ανανεώσιμου υδρογόνου. Η επένδυση στην παραγωγή και αποθήκευση υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές αποτελεί μια σημαντική ευκαιρία για την Κύπρο, η οποία διαθέτει ένα απομονωμένο ενεργειακό δίκτυο, χωρίς διασυνδέσεις για αντιμετώπιση πιθανών ελλείψεων ή πλεονασμάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, στην περίπτωση που η Κύπρος εξορύξει τα δικά της αποθέματα φυσικού αερίου, θα ήταν δυνατό να αναπτυχθεί μια ενεργειακή στρατηγική που θα βασίζεται στην αναμόρφωση του φυσικού αερίου με ταυτόχρονη δέσμευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτουν από την διεργασία, δηλαδή στην παραγωγή μπλε υδρογόνου. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να υπάρχει τοπική ζήτηση ή οικονομικός τρόπος μεταφοράς ή δυνατότητα αποθήκευσης για μικρά ή μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Η δημιουργία ευνοϊκών μέτρων στήριξης για την ανάπτυξη της αγοράς υδρογόνου, στοχεύει την υπέρβαση ρυθμιστικών και οικονομικών εμποδίων για την παραγωγή υδρογόνου καθώς επίσης και τη γεφύρωση του χάσματος στο κόστος παραγωγής και χρήσης υδρογόνου.

Νομικό και ρυθμιστικό πλαίσιο

Για την ενίσχυση του υδρογόνου, απαιτείται το κατάλληλο νομοθετικό και ρυθμιστικό πλαίσιο που θα συμβάλει στη διάδοση καθαρών τεχνολογιών στον τομέα της ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, η Ευρωπαϊκή Στρατηγική για το Υδρογόνο, τονίζει τον κρίσιμο ρόλο του πράσινου υδρογόνου, το οποίο παράγεται από ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Το προτεινόμενο πλαίσιο θα πρέπει να είναι σε συνοχή με το ευρωπαϊκό “Πακέτο του Υδρογόνου και της αποανθρακοποιημένης Αγοράς Φυσικού Αερίου”, το οποίο θα αποτελέσει και την κεντρική παράμετρο βάσει της οποίας θα θεσπιστούν οι εθνικές διατάξεις. Η θέσπιση σαφούς και συγκεκριμένης δέσμης διατάξεων/μέτρων στην Κυπριακή Δημοκρατία θα συμβάλει στη δημιουργία κλίματος βεβαιότητας στους επενδυτές, ιδίως όσον αφορά τις υποδομές.

Οι ελάχιστες ρυθμίσεις, οι οποίες προτείνεται να περιλαμβάνονται στην πρωτογενή νομοθεσία (δηλ. σε επίπεδο νόμου) αφορούν τα εξής:

- › Σαφή κατανομή αρμοδιοτήτων μεταξύ ρυθμιζόμενων (μεταφορά, διανομή) και ανταγωνιστικών (παραγωγή, προμήθεια) δραστηριοτήτων.
- › Διατάξεις διαχωρισμού (Unbundling regime) για τους διαχειριστές μεταφοράς υδρογόνου.
- › Ισότιμη και χωρίς διακρίσεις πρόσβαση στα δίκτυα υδρογόνου.
- › Ολοκληρωμένο σχεδιασμό υποδομών ηλεκτρισμού, αερίου (μεθανίου και υδρογόνου) στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών περιβαλλοντικών στόχων.
- › Τρόπο/μεθοδολογία ανάκτησης κόστους των επενδύσεων στη ρυθμιζόμενη δραστηριότητα μεταφοράς υδρογόνου.
- › Διατάξεις που να αφορούν σε χρεώσεις στον ηλεκτρισμό που χρησιμοποιείται για ηλεκτρόλυση.
- › Δημιουργία αγοράς συμπεριλαμβανομένης της εξισορρόπησης.
- › Αρμοδιότητα του Ρυθμιστή να προβαίνει σε εκτιμήσεις της προόδου της αγοράς υδρογόνου σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Κατόπιν των παρεμβάσεων στην πρωτογενή νομοθεσία, στοχευμένες παρεμβάσεις με δημιουργία της κατάλληλης δευτερογενούς νομοθεσίας και ετοιμασίας του ρυθμιστικού πλαισίου απαιτούνται αντιστοίχως.

Ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών

Η Κύπρος μπορεί να απαλλαγεί σημαντικά από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα και να καταστεί μακροπρόθεσμα ένα «νησί μηδενικών εκπομπών ΑτΘ» που θα μπορεί και να συμβάλει στον ενεργειακό εφοδιασμό και στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας για ολόκληρη την Ευρώπη.

Με βάση το παραπάνω πλαίσιο μπορούν να θεσπιστούν οι κάτωθι κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου στη Κύπρο:

- › Αναγνώριση του υδρογόνου ως βασικού συστατικού του ενεργειακού μείγματος για το 2030 και μέχρι το 2050.
 - Ουσιαστική συμμετοχή σε διαβουλεύσεις και Ευρωπαϊκά fora που αφορούν στην ένταξη του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα της χώρας.
 - Ενημέρωση των ενδιαφερόμενων μερών (stakeholders) για τις επικείμενες εξελίξεις σχετικά με τη διείσδυση του υδρογόνου.
- › Δημιουργία μακροχρόνιας εθνικής ενεργειακής στρατηγικής λαμβάνοντας υπόψη το υδρογόνο.
 - Επικαιροποίηση του ΕΣΕΚ που θα περιλαμβάνει την εισαγωγή του υδρογόνου.

- Δημοσιοποίηση των εκτιμώμενων αναγκαίων ποσοτήτων υδρογόνου μέχρι το 2030 προς τα ενδιαφερόμενα μέρη (stakeholders).
- › Δημιουργία πλαισίου που θα επιτρέψει την εισαγωγή συμμετεχόντων σε μια αγορά υδρογόνου.
 - Δημιουργία μιας εθνικής πλατφόρμας συνεργασίας (Forum) με αντιπροσωπευτική συμμετοχή από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς (κατόχους αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, διαχειριστές συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργεια και φυσικού αερίου, διαχειριστή συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, δυνητικούς παραγωγούς υδρογόνου, δυνητικούς διαχειριστές δικτύων υδρογόνου, δυνητικούς καταναλωτές υδρογόνου), από αναγνωρισμένους εμπειρογνώμονες και με την υποστήριξη των εμπλεκόμενων Υπουργείων και κυβερνητικών τμημάτων (Υπηρεσία Ενέργειας, Τμήμα Περιβάλλοντος, κλπ.) και της ΡΑΕΚ, η οποία θα έχει στόχο την ανταλλαγή απόψεων επί των βέλτιστων δράσεων για προώθηση της ανάπτυξης αγοράς υδρογόνου στην ΚΔ.
 - Οργάνωση υπό την αιγίδα του Forum συμμετοχικών ημερίδων με στόχο την ευαισθητοποίηση και την ενημέρωση πιθανών χρηστών και του τεχνικού δυναμικού.
- › Εναρμόνιση εθνικού ρυθμιστικού πλαισίου με τις σχετικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες.
 - Αναγνώριση των κενών της πρωτογενούς Κυπριακής νομοθεσίας σε σχέση με το Ευρωπαϊκό κεκτημένο για την ένταξη του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα και ανάλογη νομοθέτηση με Νόμο.
 - Θέσπιση όλων των αναγκαίων Κανονισμών (δευτερογενής νομοθεσία) για την εφαρμογή του Νόμου.
 - Τροποποίηση των υπαρχόντων Κανονισμών των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου, υγρών καυσίμων ώστε να διευκολύνεται η διείσδυση και χρήση του υδρογόνου.
- › Υιοθέτηση στοχευμένων μέτρων για την επίλυση προβλημάτων στα επιμέρους τμήματα της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου.
 - Παραγωγή.
 - Εκπόνηση σχεδίου για περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς ΑΠΕ.
 - Δημιουργία πλαισίου για την αποτελεσματική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.
 - Εξασφάλιση κανόνων προσθετικότητας.
 - Μεταφορά και αποθήκευση
 - Υποδομές Φυσικού Αερίου / υπάρχον σχέδιο και ειδικές μελέτες.
 - Χρήση στους τομείς τελικής κατανάλωσης.
 - Παροχή κινήτρων για την ανάπτυξη της ζήτησης υδρογόνου.

Η ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου θα πρέπει αρχικά να στοχεύει το 2030, βάζοντας όμως τις βάσεις για την ανάπτυξη της σχετικής αγοράς μέχρι και το 2050, η οποία είναι χρονιά ορόσημο για την Ευρώπη σε σχέση με την πολιτική Κλιματικής Ουδετερότητας.

Ο παρακάτω Πίνακας 0-1 παρουσιάζει τον ενδεικτικό χρονισμό, με διάκριση στις δύο φάσεις, των συνιστώμενων δράσεων για την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου στην Κυπριακή Δημοκρατία.

Πίνακας 0-1 Ενδεικτικός χρονοσκόπος των συνιστώμενων δράσεων για την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου στην Κυπριακή Δημοκρατία

A/A	Δράσεις	Χρόνος
Φάση 1		
1	Ουσιαστική συμμετοχή σε διαβουλεύσεις και Ευρωπαϊκά και περιφερειακά fora που αφορούν στην ένταξη του υδρογόνου στο Κυπριακό ενεργειακό σύστημα	2022-2024
2	Ενημέρωση των ενδιαφερόμενων μερών (stakeholders) για τις επικείμενες εξελίξεις σχετικά με τη διείσδυση του υδρογόνου	2022-2023
3	Επικαιροποίηση του ΕΣΕΚ που θα περιλαμβάνει την εισαγωγή του υδρογόνου	2022
4	Δημοσιοποίηση των εκτιμώμενων αναγκών ποσοτήτων υδρογόνου μέχρι το 2030 προς τα ενδιαφερόμενα μέρη (stakeholders) και την ευρύτερη ενεργειακή κοινότητα της Κύπρου	2023
5	Δημιουργία εθνικού Forum Υδρογόνου με αντιπροσωπευτική συμμετοχή από όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς και με την υποστήριξη των σχετικών κρατικών οργανισμών (ΠΑΕΚ, ΥΕΕΒ, κλπ.)	2022
6	Οργάνωση υπό την αιγίδα του Forum συμμετοχικών ημερίδων με στόχο την ευαισθητοποίηση και την ενημέρωση πιθανών χρηστών και του τεχνικού δυναμικού	2023-2030
7	Αναγνώριση των κενών της πρωτογενούς Κυπριακής νομοθεσίας σε σχέση με το Ευρωπαϊκό κεκτημένο για την ένταξη του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα και ανάλογη νομοθέτηση με Νόμο	2022-2023
9	Τροποποίηση των υπαρχόντων Κανονισμών των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου, υγρών καυσίμων ώστε να διευκολύνεται η διείσδυση και χρήση του υδρογόνου	2024-2025
10	Συμμετοχή των ερευνητικών ιδρυμάτων σε πιλοτικά και επιδεικτικά έργα με ευρύτερη Ευρωπαϊκή και περιφερειακή διάσταση	2022-2025
11	Εκτέλεση τεχνικών μελετών που να αξιολογούν την οικονομική βιωσιμότητα και την εφαρμοσιμότητα των τεχνολογιών παραγωγής υδρογόνου στην Κύπρο καθώς και την αβεβαιότητα λόγω των τιμών των ορυκτών καυσίμων	2023-2025
Φάση 2		
12	Θέσπιση όλων των αναγκαίων Κανονισμών (δευτερογενής νομοθεσία) για την εφαρμογή του Νόμου	2024-2028
13	Εκτέλεση τεχνικών μελετών που θα αξιολογήσουν το βέλτιστο σύστημα εσωτερικής μεταφοράς/αποθήκευσης καθώς και την ανάπτυξη υποδομών για εισαγωγές/εξαγωγές υδρογόνου	2024-2027
14	Μελέτη των αναγκαίων μέτρων για την ανάπτυξη της ζήτησης υδρογόνου σε στοχευμένους τομείς της τελικής κατανάλωσης	2024-2028
15	Μελέτη σκοπιμότητας ανάπτυξης πιλοτικών «Κοιλάδων Υδρογόνου»	2024-2027

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα τέλη του 2019, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal), περιγράφοντας τις κύριες πρωτοβουλίες πολιτικής για την επίτευξη μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ΑτΘ) μέχρι το 2050. Η Πράσινη Συμφωνία προσδιορίζει το πράσινο (παραγωγή από ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια) υδρογόνο ως αναγκαίο και τομέα προτεραιότητας για την επίτευξη της ουδετερότητας των εκπομπών ΑτΘ.

Εν συνεχεία, τον Ιούλιο του 2020, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε τη στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) για το υδρογόνο, εξηγώντας γιατί το υδρογόνο αποτελεί βασική προτεραιότητα για την επίτευξη της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας και της μετάβασης της Ευρώπης στην καθαρή ενέργεια. Η στρατηγική της ΕΕ για το υδρογόνο περιλαμβάνει οδικό χάρτη για την οικοδόμηση μιας οικονομίας υδρογόνου στην Ευρώπη κατά τις επόμενες δεκαετίες έως το 2050. Ο οδικός χάρτης προβλέπει σταδιακή μετάβαση με προσέγγιση βήμα-προς-βήμα για την κλιμάκωση της παραγωγής και της ζήτησης υδρογόνου.

Τον Ιούλιο του 2021, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε τη δέσμη μέτρων «Fit-for-55», προτείνοντας ουσιαστικά την τροποποίηση μιας σειράς νομοθετικών πράξεων (Ευρωπαϊκών Οδηγιών και Κανονισμών) με στόχο τη διευκόλυνση της επίτευξης μιας κλιματικά ουδέτερης Ευρώπης έως το 2050, μειώνοντας τις εκπομπές κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030. Σε συνέχεια των παραπάνω, τον Δεκέμβριο του 2021 παρουσιάστηκε το πακέτο του Υδρογόνου και της Αποανθρακοποιημένης Αγοράς Φυσικού Αερίου (“Hydrogen and Decarbonised Gas Market Package”) με σκοπό να δημιουργήσει συγκεκριμένο νομοθετικό και ρυθμιστικό πλαίσιο για τα αέρια χαμηλών εκπομπών ΑτΘ και τα αποανθρακοποιημένα αέρια, όπως είναι το υδρογόνο.

Ακολουθώντας το γενικό πλαίσιο σε επίπεδο ΕΕ, κάθε Κράτος Μέλος (ΚΜ) θα πρέπει να αναπτύξει ειδική στρατηγική/οδικό χάρτη για την εισαγωγή του υδρογόνου στο ενεργειακό του μείγμα. Προς την επίτευξη του στόχου απαλλαγής από τα ορυκτά καύσιμα και τις εκπομπές ΑτΘ, λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες των τοπικών συνθηκών ζήτησης και προσφοράς, όπως και άλλες παράμετροι, π.χ. η ασφάλεια του εφοδιασμού, το δυναμικό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), η σύνθεση της εγχώριας βιομηχανίας, οι διαθέσιμες υποδομές κ.λπ.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του απομονωμένου ενεργειακού συστήματος της Κύπρου χωρίς δικτυακές διασυνδέσεις, αλλά και η ιδιαίτερη γεωπολιτική θέση της

στην Νοτιοανατολική Μεσόγειο επιφέρουν σημαντική επιρροή σχετικά με τη ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου.

Το Κυπριακό ενεργειακό σύστημα σήμερα είναι απομονωμένο από το ηπειρωτικό Ευρωπαϊκό σύστημα, και εξαρτάται επί του παρόντος σε μεγάλο βαθμό (>90%) από εισαγόμενα προϊόντα πετρελαίου. Ταυτόχρονα, ωστόσο, η Κύπρος έχει μεγάλες δυνατότητες όσον αφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ειδικότερα, η Κύπρος μπορεί εύκολα να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες της ηλιακής κυρίως ενέργειας και να επιτύχει τους σχετικούς στόχους που έχουν τεθεί στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ). Από την άλλη πλευρά, η χώρα διαθέτει δυνητικά αποθέματα φυσικού αερίου και ήδη έχει εκπονήσει συγκεκριμένα σχέδια για την εκμετάλλευσή τους ενώ, περαιτέρω έχει προγραμματίσει την ανάπτυξη της αγοράς Φυσικού Αερίου (ΦΑ) στην χώρα.

Με βάση τα παραπάνω, και με δεδομένο ότι η Κύπρος διαθέτει τους εγχώριους ενεργειακούς πόρους για τη παραγωγή υδρογόνου τόσο από φυσικό αέριο με δέσμευση των σχετιζόμενων εκπομπών ΑτΘ (δηλαδή μπλε υδρογόνου) όσο και με χρήση ηλεκτρισμού από ΑΠΕ (δηλαδή πράσινου υδρογόνου), η παρούσα έκθεση προσφέρει μια ανάλυση σχετικά με την προετοιμασία και τις κατευθυντήριες γραμμές για την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου στη χώρα.

Η δομή του κειμένου είναι η ακόλουθη:

Το **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζει το γενικότερο πλαίσιο πολιτικής της ΕΕ και ακολουθεί την πορεία των εξελίξεων που έθεσαν το υδρογόνο στην κεντρική σκηνή των προσπαθειών για την επίτευξη των στόχων κατά της κλιματικής αλλαγής από τον ενεργειακό τομέα. Ακόμη, παρουσιάζονται βέλτιστες πρακτικές σχετικά με την δημιουργία εθνικών στρατηγικών μέσα από τα παραδείγματα διάφορων χωρών τόσο της ΕΕ (Ολλανδία, Γερμανία, Πορτογαλία, Γαλλία) όσο και εκτός αυτής (Ηνωμένο Βασίλειο, Ιαπωνία, Μαρόκο, Αυστραλία, Νότια Αφρική, Χιλή, Σαουδική Αραβία).

Τα οφέλη που απορρέουν από τη χρήση του υδρογόνου ως φορέα ενέργειας παρουσιάζονται στο **Κεφάλαιο 3**. Επιχειρείται μια σύντομη παρουσίαση της χρήσης υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, στη βιομηχανία και στις μεταφορές, ενώ εκτιμάται και η ενδεχόμενη διείσδυση του υδρογόνου στο ενεργειακό μείγμα της Κύπρου υπό την μεσοπρόθεσμη προοπτική του 2030.

Το **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζει συνοπτικά τις τεχνολογίες παραγωγής υδρογόνου, δίνοντας έμφαση στο μπλε, και στο πράσινο υδρογόνο. Αναφέρονται τα κυριότερα

τεχνολογικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας, ενώ αξιολογείται συνολικά και η εφαρμογή των διάφορων τεχνολογιών στη Κύπρο.

Εν συνεχεία, οι τεχνολογίες που σχετίζονται με τη μεταφορά και την αποθήκευση του υδρογόνου παρουσιάζονται στο **Κεφάλαιο 5**.

Το **Κεφάλαιο 6** παραθέτει μια σύντομη παρουσίαση των παραγόντων που καθορίζουν την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου και εν συνεχεία εξειδικεύει την ανάλυση στα βασικά μοντέλα υποστήριξης κατά τα πρώτα βήματα σχηματισμού της αλυσίδας αξίας υδρογόνου.

Το νομικό και ρυθμιστικό πλαίσιο που σχετίζεται με την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου παρουσιάζεται στο **Κεφάλαιο 7**. Εκεί αναλύονται τα κυριότερα ρυθμιστικά θέματα του δικτύου ΦΑ για χρήση υδρογόνου και σκιαγραφούνται τα βασικά στοιχεία νομοθετικής ρύθμισης που θα επέτρεπαν την περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 8** παρουσιάζονται οι κατευθυντήριες γραμμές ως αποτέλεσμα της ανάλυσης των προηγούμενων Κεφαλαίων.

ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ & ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ

2.1 Το Ευρωπαϊκό πλαίσιο στρατηγικής για τη μείωση των εκπομπών CO₂

Η Ευρωπαϊκή Ένωση ήταν η πρώτη μεγάλη πολιτική οντότητα στον κόσμο που έθεσε, το 2009, φιλόδοξους στόχους για την ενέργεια και το κλίμα για το 2020 (20% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, 20% συμμετοχή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αύξηση 20% της ενεργειακής απόδοσης). Από τότε μέχρι σήμερα, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αποδείξει ότι είναι δυνατόν να μειωθούν οι εκπομπές και να επιτευχθεί ταυτόχρονα αύξηση του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ). Εν τω μεταξύ, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν γίνει πολύ φθηνότερες. Επιπλέον, με τη συμφωνία του Παρισιού του 2015 για το κλίμα (COP21), η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύθηκε να προχωρήσει περαιτέρω και να επιτύχει μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030³.

Προκειμένου να ανταποκριθεί σε αυτήν την πρόκληση και να συνεχίσει να ηγείται της παγκόσμιας ενεργειακής μετάβασης, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε το 2016 μια δέσμη φιλόδοξων νέων μέτρων που ονομάζονται «Πακέτο Καθαρής Ενέργειας για όλους τους Ευρωπαίους⁴» (Clean energy for all Europeans package). Με τη δέσμη αυτή, η Επιτροπή εξέτασε και τις πέντε διαστάσεις της ενεργειακής ασφάλειας της Ενεργειακής Ένωσης ως εξής: 1) την ενεργειακή ασφάλεια, 2) την εσωτερική αγορά ενέργειας, 3) την ενεργειακή απόδοση, 4) την απεξάρτηση της οικονομίας από τον άνθρακα, 5) την έρευνα, καινοτομία και ανταγωνιστικότητα.

Η δέσμη ολοκληρώθηκε με τη δημοσίευση των τελικών κειμένων της στην Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης τον Ιούνιο του 2019, μετά από τον προβλεπόμενο τριμερή διάλογο μεταξύ της Επιτροπής, του Συμβουλίου και του Κοινοβουλίου.

Η δέσμη βασίζεται περαιτέρω στο πλαίσιο ενεργειακής πολιτικής που καθορίζεται από το Τρίτο Πακέτο για την ενέργεια (Third Energy Package) και ανοίγει το δρόμο για μια σταδιακή απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και προς μια ουδέτερη ως προς τον άνθρακα οικονομία. Πιο συγκεκριμένα, το Πακέτο Καθαρής Ενέργειας

³ Πηγή: https://ec.europa.eu/info/news/clean-energy-all-europeans-package-completed-good-consumers-good-growth-and-jobs-and-good-planet-2019-may-22_en

⁴ Αναφορά: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en

(Clean Energy Package - CEP) επικαιροποιεί τους ακόλουθους στόχους της ΕΕ για το 2030:

- › Μείωση κατά 40% των εκπομπών ΑτΘ σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990.
- › Διείσδυση 32% των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της ΕΕ.
- › Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 32,5%, σε σχέση με ένα βασικό σενάριο που καθορίστηκε το 2007.

Στη συνέχεια και στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας (Green Deal), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε την αναθεώρηση του στόχου για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε το καλοκαίρι του 2020 ένα ολοκληρωμένο σχέδιο⁵ για την αύξηση του τρέχοντος στόχου της ΕΕ για το 2030 ως προς την μείωση των εκπομπών ΑτΘ από 40% σε 55%, σε σύγκριση με τα επίπεδα εκπομπών του 1990.

Τον Δεκέμβριο του 2020, οι ηγέτες της ΕΕ ενέκριναν έναν νέο δεσμευτικό στόχο για καθαρή μείωση των εκπομπών ΑτΘ κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990⁶. Τον Ιούλιο του 2021, η Επιτροπή παρουσίασε τη δέσμη μέτρων Fit-for-55 που ουσιαστικά αποτελεί μια σειρά προτάσεων και πρωτοβουλιών με στόχο την αναθεώρηση και την επικαιροποίηση της νομοθεσίας της ΕΕ για την εναρμόνιση της με τον στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050, συμπεριλαμβανομένου του ενδιάμεσου στόχου για καθαρή μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030⁷.

Η δέσμη μέτρων αποσκοπεί στην παροχή ενός συνεκτικού και ισορροπημένου πλαισίου για την επίτευξη των κλιματικών στόχων της ΕΕ, οι οποίοι:

- › εξασφαλίζουν μια δίκαιη μετάβαση (just transition),
- › διατηρούν και ενισχύουν την καινοτομία και την ανταγωνιστικότητα της βιομηχανίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, διασφαλίζοντας παράλληλα ισότιμους όρους ανταγωνισμού έναντι των οικονομικών φορέων τρίτων χωρών,
- › στηρίζουν τη θέση της ΕΕ ως πρωτοπόρου στην παγκόσμια καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Η επίτευξη μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% θα απαιτήσει δράσεις σε όλους τους τομείς, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 0-1,

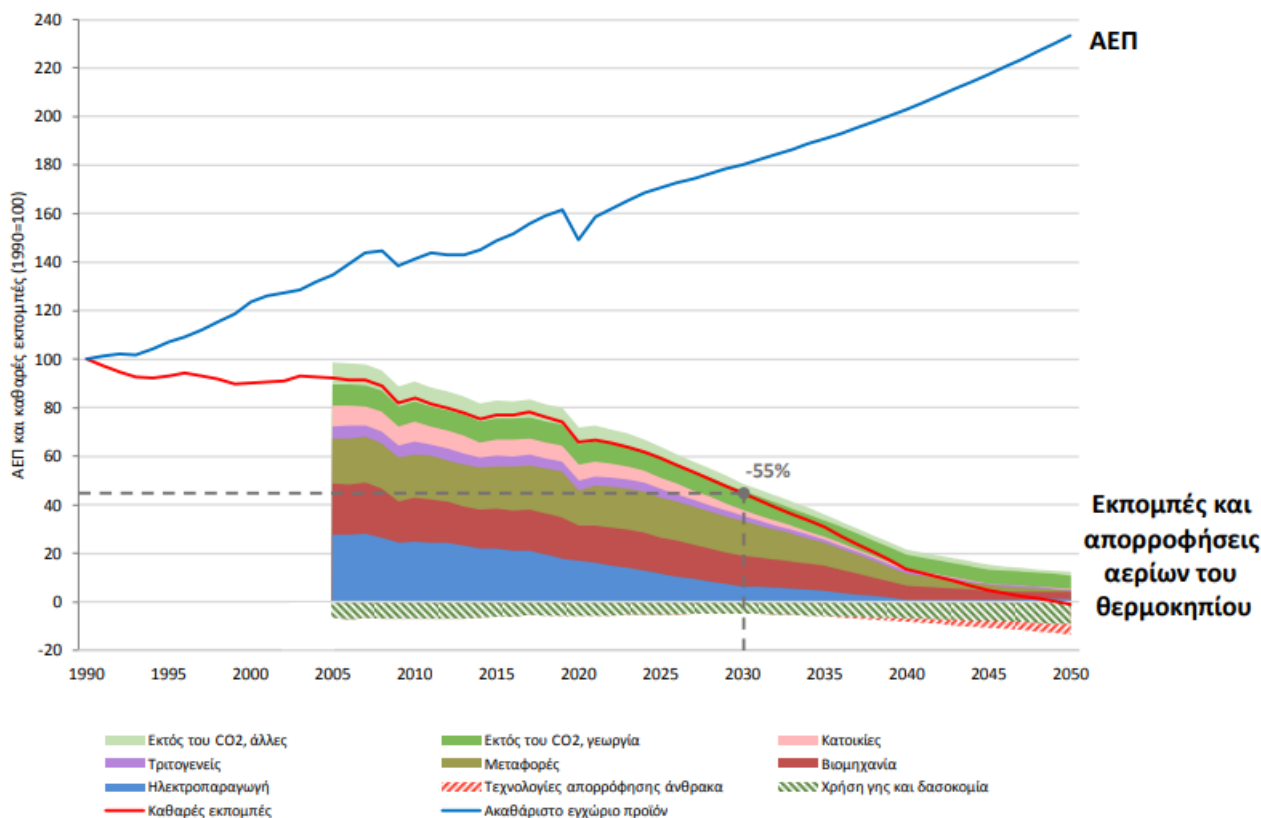
⁵ Αναφορά: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0562&from=EN>

⁶ Πηγή: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2020/12/17/council-agrees-on-full-general-approach-on-european-climate-law-proposal/>

⁷ Πηγή: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541

όπου παρουσιάζονται οι συνεισφορές των βασικών τομέων στις συνολικές εκπομπές CO₂. Προς την κατεύθυνση του στόχου της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55%, τα κτήρια και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να επιτύχουν τις μεγαλύτερες και οικονομικά αποδοτικότερες μειώσεις εκπομπών, της τάξης του 60% ή και περισσότερο σε σύγκριση με το 2015. Για την μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα θα απαιτηθεί η συμβολή όλων των τομέων.

Σχήμα 0-1 Η πορεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς διαρκή οικονομική ευημερία και κλιματική ουδετερότητα, 1990-2050⁸



Η επίτευξη μείωσης των εκπομπών ΑτΘ κατά 55% θα απαιτήσει δράσεις σε όλους τους τομείς, όπως φαίνεται στο παραπάνω γράφημα. Η μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη συμβολή όλων των τομέων.

Οι εκπομπές CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών ΑτΘ στην ΕΕ. Μαζί με τις εκπομπές άλλων αερίων εκτός CO₂

⁸ Πηγή: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0562&from=EN>

από το ενεργειακό σύστημα⁹, ευθύνονται για λίγο περισσότερο από το 75% των εκπομπών ΑτΘ της ΕΕ. Αυτό υπογραμμίζει τον κεντρικό ρόλο του ενεργειακού συστήματος στη μετάβαση σε μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία: δηλαδή θα πρέπει να απαλλαγεί πλήρως από τον άνθρακα, τηρώντας παράλληλα την τεχνολογική ουδετερότητα (συμπεριλαμβάνοντας τη συνεισφορά μιας ευρείας σύνθεσης τεχνολογιών για τη μείωση των εκπομπών και την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα).

Οι υπόλοιπες εκπομπές είναι ως επί το πλείστον εκπομπές CO₂ από διεργασίες στη βιομηχανία και εκπομπές άλλων αερίων εκτός CO₂ από τη γεωργία και τα απόβλητα.

Η απαλλαγή από τα ορυκτά καύσιμα, είναι κομβικής σημασίας για να καταστούν κλιματικά ουδέτεροι οι τελικοί χρήστες ενέργειας, όπως είναι η βιομηχανία, οι μεταφορές και τα κτήρια.

Η ταχεία διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία γίνεται η πλέον αποδοτική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας από οικονομικής άποψης, από τα σημερινά επίπεδα του 32% θα μπορούσε να φθάσει στο 65% ή και περισσότερο, ο εξηλεκτρισμός (electrification) και η ενοποίηση του ενεργειακού συστήματος θα οδηγήσουν τις εξελίξεις. Πέρα από την άμεση χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τον εξηλεκτρισμό, θα απαιτηθεί επίσης ανανεώσιμο υδρογόνο για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων σε ορισμένες βιομηχανικές διεργασίες με έντονο αποτύπωμα άνθρακα και για τις οποίες ο εξηλεκτρισμός δεν είναι εύκολος ή/και οικονομικά αποδοτικός, όπως για παράδειγμα ως πρώτη ύλη για ορισμένες χημικές διεργασίες, και για την παραγωγή θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας.

Ο τομέας των κτηρίων, ο οποίος σήμερα είναι υπεύθυνος για το 40% της τελικής ενέργειας και το 36% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ, έχει μεγάλη δυνατότητα για μείωση των εκπομπών με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Σήμερα, το 75% του κτιριακού αποθέματος της ΕΕ είναι ενεργειακά μη αποδοτικό. Πολλά σπίτια εξακολουθούν να θερμαίνονται με παρωχημένα συστήματα που χρησιμοποιούν ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα όπως ο γαιάνθρακας και το πετρέλαιο. Η πλήρης αξιοποίηση αυτής της δυνατότητας για βελτίωση θα απαιτούσε διπλασιασμό του ρυθμού ανακαίνισης, το οποίο είναι σήμερα περίπου μόλις 1%, μέχρι το 2030. Ειδικότερα, οι ανακαινίσεις που αφορούν στα κελύφη των κτιρίων,

⁹ Αναφορά: Στα πλαίσια των δραστηριοτήτων μοντελοποίησης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, ως ενεργειακό σύστημα νοείται το σύνολο της ηλεκτροπαραγωγής, της βιομηχανίας, των μεταφορών και των κτιρίων (https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/economic-analysis/modelling-tools-eu-analysis_en#:~:text=The%20PRIMES%20model%20is%20an,consistent%20EU%20carbon%20price%20trajectories.)

στις έξυπνες τεχνολογίες και στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ανανεώσιμου υδρογόνου χρειάζεται να αυξηθούν σημαντικά.

Ο τομέας των μεταφορών είχε το χαμηλότερο μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές το 2020, με μόλις 10.2%¹⁰. Μέχρι το 2030, το ποσοστό αυτό πρέπει να αυξηθεί σε περίπου 24% μέσω της περαιτέρω ανάπτυξης και χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων, προηγμένων βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων καυσίμων και καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα στο πλαίσιο μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης. Η ασφαλής πρόσβαση στις μπαταρίες θα είναι ζωτικής σημασίας για την κυκλοφορία των ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ το πράσινο υδρογόνο θα είναι ζωτικής σημασίας για την απαλλαγή των βαρέων επαγγελματικών μεταφορικών οχημάτων από τον άνθρακα και, μέσω των παραγώγων του, στον τομέα των αερομεταφορών και της ναυτιλίας. Η απαλλαγή του μείγματος των καυσίμων κίνησης από εκπομπές άνθρακα το 2050 θα υποστηριχθεί επίσης από την αυξανόμενη χρήση των σιδηροδρομικών και άλλων βιώσιμων τρόπων μεταφοράς, όπως οι εσωτερικές πλωτές μεταφορές (inland waterways) και οι θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων, ιδίως για τις εμπορευματικές μεταφορές.

Ομοίως, η βιομηχανία μπορεί να μειώσει τις εκπομπές έως και κατά 25% μέχρι το 2030 σε σύγκριση με το 2015. Μέσω βέλτιστων πρακτικών, οι εκπομπές ΑΤΘ μπορούν να μειωθούν περαιτέρω, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική απόδοση, αξιοποιώντας την απορριπτόμενη θερμότητα (waste heat) και αυξάνοντας τον εξηλεκτρισμό μέσω συνεχών σταδιακών βελτιώσεων. Ωστόσο, για να μπορέσει η βιομηχανία να απαλλαγεί πραγματικά από τις εκπομπές CO₂ μετά το 2030, λειτουργικές διαδικασίες που συμπεριλαμβάνουν τεχνολογίες πολύ χαμηλών ή ακόμη και μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα θα πρέπει να υιοθετηθούν, όπως για παράδειγμα: αύξηση της πρόσβασης σε πόρους προερχόμενους από εφαρμογές ανακύκλωσης, εξηλεκτρισμός των διεργασιών μέσης και υψηλής θερμοκρασίας, δέσμευση και αποθήκευση CO₂, χρήση υδρογόνου κ.ο.κ.

Η ύπαρξη και διαθεσιμότητα των κατάλληλων υποδομών είναι ζωτικής σημασίας για τη μεγιστοποίηση των οφελών της μετάβασης στην καθαρή ενέργεια και την ανάπτυξη εναλλακτικών καθαρών καυσίμων και πρώτων υλών. Τα δίκτυα θέρμανσης που προέρχεται από ΑΠΕ, οι αγωγοί υδρογόνου και γενικότερα η υποδομή που επιτρέπει την παραγωγή-μεταφορά-αποθήκευση και χρήση του υδρογόνου, οι υποδομές επαναφόρτισης συσσωρευτών είναι κάποια παραδείγματα υποδομών που θα πρέπει να αναπτυχθούν και για τα οποία θα απαιτηθεί προσεκτικός σχεδιασμός.

¹⁰ Πηγή: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/share-of-renewable-energy-9#tab-chart_9

Η προσαρμογή της ενεργειακής νομοθεσίας και των σχετικών πολιτικών συμβάλλει στην επίτευξη των δεσμευτικών στόχων της ΕΕ για το 2030, οι οποίοι σύμφωνα με τη δέσμη μέτρων «Fit-for-55», ορίζουν ότι τουλάχιστον το 40% του ενεργειακού μείγματος της ΕΕ θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές και ότι η ενεργειακή εξοικονόμηση θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 36%¹¹. Η οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED II), η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση και ο κανονισμός σχετικά με τη διακυβέρνηση της ΕΕ και της δράσης για το κλίμα αποτυπώνουν τους στόχους αυτούς στη νομοθεσία, με την υποστήριξη τομεακής νομοθεσίας, όπως η οδηγία για τον οικολογικό σχεδιασμό¹² και η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων¹³. Ένα ολοκληρωμένο σύνολο κυρίως πολιτικών στον τομέα των μεταφορών και άλλων τομεακών πολιτικών συμβάλλει επίσης στην επίτευξη του στόχου.

Οι τρέχουσες προβλέψεις¹⁴ δείχνουν ότι, εάν εφαρμοστούν πλήρως οι τρέχουσες πολιτικές, η μείωση των εκπομπών ΑτΘ έως το 2030 θα είναι περίπου 45% χαμηλότερες σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, εξαιρουμένων των εκπομπών από την χρήση γης και την απορρόφηση, και περίπου 47% συμπεριλαμβάνοντας την χρήση γης. Ωστόσο, είναι σαφές ότι, ενώ οι τρέχοντες ενεργειακοί στόχοι θα πρέπει να μας επιτρέψουν να ξεπεράσουμε τον τρέχοντα στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αυτό δεν θα ήταν αρκετό για την επίτευξη ενός στόχου μείωσης των εκπομπών ΑτΘ κατά 55%. Επομένως, τόσο η νομοθεσία για το κλίμα όσο και οι ενεργειακές πολιτικές πρέπει να επανεξεταστούν σε επίπεδο ΕΕ ώστε να επιτευχθούν αυτοί οι φιλόδοξοι στόχοι.

Τον Μάιο του 2022, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε ακόμα ένα σχέδιο, το REPowerEU, στοχεύοντας στην απεξάρτηση της ΕΕ από τα Ρωσικά ορυκτά καύσιμα πριν το 2030, ξεκινώντας από το φυσικό αέριο. Το σχέδιο αυτό περιλαμβάνει μια σειρά μέτρων για την αντιμετώπιση των αυξανόμενων τιμών της ενέργειας στην Ευρώπη και την αναπλήρωση των αποθεμάτων φυσικού αερίου για τον ερχόμενο χειμώνα (σημ. 2022/2023), μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας, της διαφοροποίησης του ενεργειακού εφοδιασμού, της επιτάχυνσης της μετάβασης σε καθαρές μορφές ενέργειας και του έξυπνου συνδυασμού επενδύσεων και μεταρρυθμίσεων.

Το σχέδιο REPowerEU βασίζεται στην πλήρη εφαρμογή της δέσμης προτάσεων «Fit-for-55», χωρίς να μεταβάλλει την πρωταρχική φιλοδοξία για μείωση των

11 Πηγή: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/06/27/fit-for-55-council-agrees-on-higher-targets-for-renewables-and-energy-efficiency/#:~:text=The%20Commission%20presented%20the%20'Fit,2030%20compared%20to%201990%20levels>.

12 Αναφορά: Οδηγία 2009/125/ΕΚ

13 Αναφορά: Οδηγία 2010/31/ΕΕ και τροποποίηση (ΕΕ) 2018/844

14 Αναφορά: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0562&from=EN>

εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55 % έως το 2030 και την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050, σε σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία. Η πλήρης υλοποίηση των προτάσεων της δέσμης «Fit-for-55» θα μειώσει την κατανάλωση φυσικού αερίου κατά 30%, ποσοστό που αντιστοιχεί σε 100 bcm, έως το 2030. Μαζί με την πρόσθετη διαφοροποίηση όσον αφορά το φυσικό αέριο και με την αύξηση της συμμετοχής ανανεώσιμων αερίων καυσίμων όπως για παράδειγμα το υδρογόνο, η επίσπευση της εξοικονόμησης ενέργειας και ο εξηλεκτρισμός μεγαλύτερου μέρους της τελικής κατανάλωσης, έχουν τη δυνατότητα να αποφέρουν από κοινού ποσότητα τουλάχιστον ισοδύναμη με τα 155 bcm των εισαγωγών ρωσικού φυσικού αερίου.

Η Επιτροπή πρότεινε την ενίσχυση των μακροπρόθεσμων μέτρων, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης του δεσμευτικού στόχου ενεργειακής απόδοσης, ώστε η ενεργειακή κατανάλωση να μειωθεί κατά 13%, από 9% στο πλαίσιο της δέσμης μέτρων «Fit-for55».

Επιπλέον, προκειμένου να επιταχυνθεί η ανάπτυξη των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στη βιομηχανία, στα κτήρια και στις μεταφορές, η Επιτροπή πρότεινε να αυξηθεί ο βασικός στόχος για διείσδυση των ΑΠΕ το 2030, από 40% στο πλαίσιο της δέσμης «Fit-for55», σε 45%. Αυτό θα οδηγήσει σε συνολική δυναμικότητα παραγωγής ενέργειας 1236 GW από ΑΠΕ, σε σύγκριση με τα 1067 GW που προβλέπονται στη δέσμη μέτρων «Fit-for-55» έως το 2030.

2.2 Διείσδυση του υδρογόνου στο ενεργειακό μείγμα

Κατά το παρελθόν, υπήρξαν κορυφώσεις του ενδιαφέροντος για την εισαγωγή του υδρογόνου στο ενεργειακό μείγμα της ΕΕ, αλλά χωρίς κάποια συγκεκριμένη κατάληξη. Σήμερα, χάρη στη ραγδαία μείωση του κόστους της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, τις σχετικές τεχνολογικές εξελίξεις τόσο στην παραγωγή όσο και την χρήση υδρογόνου ως καύσιμο, και την επείγουσα ανάγκη δραστικής μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, το ενδιαφέρον για το υδρογόνο έχει επανέλθει και εντείνεται με ταχείς ρυθμούς, τόσο στην Ευρώπη όσο και σε ολόκληρο τον κόσμο, έχοντας σημαντικές προοπτικές εφαρμογής στους τομείς της βιομηχανίας, των μεταφορών, της ενέργειας και των κτηρίων.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημά του είναι ότι δεν εκπέμπει ΑτΘ και κατά τη χρήση του προκαλεί σχεδόν μηδενική ατμοσφαιρική ρύπανση. Μπορεί συνεπώς να προσφέρει μια λύση για την αποανθρακοποίηση των βιομηχανικών διεργασιών και των οικονομικών τομέων στους οποίους η μείωση των εκπομπών ΑτΘ είναι επείγουσα και δύσκολο να επιτευχθεί με άλλο τρόπο. Όλα τα παραπάνω καθιστούν το υδρογόνο αναγκαίο για τη στήριξη της δέσμευσης της ΕΕ να επιτύχει ουδέτερο ανθρακικό αποτύπωμα έως το 2050 και για την παγκόσμια προσπάθεια

εφαρμογής της συμφωνίας του Παρισιού συντείνοντας παράλληλα στην πορεία προς την επίτευξη μηδενικών εκπομπών ΑτΘ.

Για να παραχθεί υδρογόνο, θα πρέπει να διαχωριστεί από τα άλλα στοιχεία στα μόρια όπου εμφανίζεται, με τη χρήση της αναγκαίας ενέργειας. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές πηγές υδρογόνου και τρόποι για την παραγωγή του. Η χρήση ορυκτών καυσίμων επικρατεί σήμερα στην παγκόσμια παραγωγή υδρογόνου¹⁵. Το ηλεκτρολυτικό υδρογόνο, δηλαδή το υδρογόνο που παράγεται από το νερό με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, συμμετέχει σε πολύ μικρό βαθμό (αν και αποτέλεσε σημαντική πηγή για την παραγωγή βιομηχανικού υδρογόνου κατά τις δεκαετίες 1920 έως 1960, χρησιμοποιώντας αρχικά υδροηλεκτρική ενέργεια, πριν αντικατασταθεί από το φυσικό αέριο). Με το μειωμένο κόστος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ιδίως από τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες), αυξάνεται το ενδιαφέρον για την παραγωγή υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού και για τις δυνατότητες περαιτέρω μετατροπής του εν λόγω υδρογόνου σε καύσιμο ή πρώτη ύλη για καύσιμα, όπως οι συνθετικοί υδρογονάνθρακες και η αμμωνία, τα οποία είναι πιο συμβατά με τις υπάρχουσες υποδομές από το υδρογόνο.

Προτεραιότητα για την ΕΕ είναι η ανάπτυξη του ανανεώσιμου υδρογόνου, που παράγεται με ηλεκτρόλυση του νερού σε κυψέλη που τροφοδοτείται κυρίως από αιολική και ηλιακή ενέργεια. Το ανανεώσιμο υδρογόνο είναι η πλέον συμβατή επιλογή σύμφωνα με τον στόχο της ΕΕ για κλιματική ουδετερότητα και μηδενική ρύπανση μακροπρόθεσμα.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, αναγνωρίζοντας την σημασία του υδρογόνου ως συστατικού του ενεργειακού μείγματος, επιθυμεί να καταστήσει την ΕΕ πρωτοπόρο στη χρήση του υδρογόνου ως φορέα ενέργειας. Το 2020 παρουσίασε τη στρατηγική της για το υδρογόνο ("A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe¹⁶"), στόχος της οποίας είναι να καταστεί δυνατή η ευρεία χρήση υδρογόνου έως το 2050.

Με βάση το στρατηγικό όραμα για μια κλιματικά ουδέτερη ΕΕ που δημοσιεύτηκε τον Νοέμβριο του 2018, το μερίδιο του υδρογόνου στο ενεργειακό μείγμα της Ευρώπης προβλέπεται να αυξηθεί από το τρέχον ποσοστό, που είναι μικρότερο από 2 %, σε 13-14 % έως το 2050¹⁷.

¹⁵ Πηγή: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

¹⁶ Αναφορά: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf

¹⁷ Πηγή: A Clean Planet for All. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, COM(2018) 773

Εν συνεχεία, τον Σεπτέμβριο του 2020 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε το Σχέδιο κλιματικών στόχων για το 2030¹⁸ (“Climate Target Plan 2030”). Στη βάση μιας συνολικής εκτίμησης επιπτώσεων (impact assessment), η Επιτροπή πρότεινε να αυξηθεί ο στόχος της ΕΕ για μείωση των ΑτΘ και να τεθεί αυτή η πιο φιλόδοξη πορεία για την δεκαετία μέχρι το 2030. Η ανάλυση θεώρησε ακόμη το 2030 σαν ενδιάμεσο σημείο ως προς τον τελικό στόχο για κλιματική ουδετερότητα το 2050. Το Σχέδιο δείχνει τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να συμβάλουν όλοι οι τομείς της οικονομίας και της κοινωνίας και καθορίζει τις δράσεις πολιτικής που απαιτούνται για την επίτευξη αυτού του στόχου. Συγκεκριμένα η ανάλυση κατέδειξε ότι ένα Ευρωπαϊκό ενεργειακό σύστημα με μειωμένη εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα, και επομένως εκπομπές CO₂, θα απαιτήσει, πέραν του εξηλεκτρισμού διαφόρων κατηγοριών τελικής κατανάλωσης ενέργειας, περισσότερη τομεακή ολοκλήρωση (sector integration), αλλά και νέα καύσιμα βασισμένα στις ΑΠΕ όπως αέρια καύσιμα χαμηλών εκπομπών και κυρίως υδρογόνο. Το υδρογόνο, εμφανίζεται πλέον ως βασικό καύσιμο στο ενεργειακό μείγμα που εξασφαλίζει τη μείωση των εκπομπών.

Το συνολικό μείγμα καυσίμου για την ικανοποίηση της τελικής ενεργειακής ζήτησης αλλάζει σταδιακά, όπως παρουσιάζεται στο

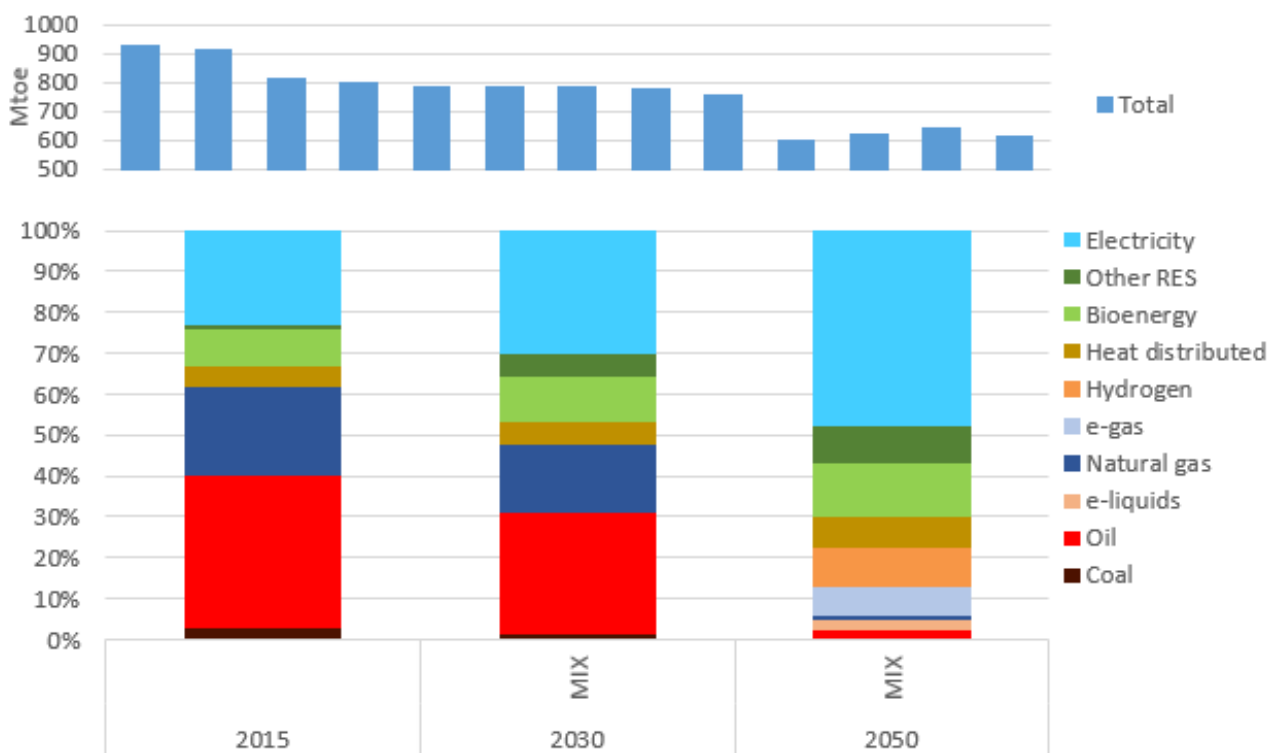
Σχήμα 0-2¹⁹. Κάποιες σχετικές βασικές παρατηρήσεις είναι οι ακόλουθες:

- Ο άνθρακας συμμετέχει οριακά στην τελική ζήτηση ενέργειας το 2030, λόγω της μείωσης της χρήσης του στην βιομηχανία στη βάση των δηλωθέντων πολιτικών σε ορισμένα Κράτη Μέλη για τη μείωση του άνθρακα για χρήσεις θέρμανσης.
- Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο εξακολουθούν να συμβάλλουν σημαντικά στην τελική ζήτηση ενέργειας (φθάνοντας το 29-30% και το 16-17% αντίστοιχα το 2030).
- Καύσιμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και χαμηλών εκπομπών ΑτΘ, κυρίως αέρια μορφής (και σε χαμηλότερο βαθμό υγρής μορφής) υποκαθιστούν το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Μετά το 2030, η υιοθέτηση υδρογόνου, και συνθετικών αερίων και υγρών καυσίμων που βασίζονται σε ηλεκτρισμό από ΑΠΕ (e-gases, e-liquids), αλλάζει σημαντικά την εικόνα.

¹⁸ Αναφορά: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en

¹⁹ Το σχήμα βασίζεται σε επεξεργασία των στοιχείων που παρατίθενται στο 2030 Climate Target Plan. Μόνο το σενάριο “MIX” παρουσιάζεται, καθώς αυτό είναι το σενάριο που επιλέχθηκε ως το βασικό για περαιτέρω επεξεργασία από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (βλ. ανακοινώσεις Fit-for-55)

Σχήμα 0-2 Μείγμα καυσίμου στο ενεργειακό μείγμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ικανοποίηση της τελικής ενεργειακής ζήτησης, 2015-2050²⁰



Οι πολιτικές που αποσκοπούν σε περαιτέρω μειώσεις των αερίων του θερμοκηπίου θα οδηγήσουν στην υποκατάσταση του φυσικού αερίου από άλλες μορφές ενέργειας, ιδίως από ανανεώσιμες πηγές και ηλεκτρισμό στην τελική ζήτηση. Το φυσικό αέριο διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο μεταξύ των αερίων καυσίμων έως το 2030. Ωστόσο, έως το 2050, η χρήση του θα καταστεί ασύμβατη με τον στόχο της κλιματικής ουδετερότητας και, σύμφωνα με την ανάλυση, η χρήση του θα μειωθεί κατά 66-71% σε σύγκριση με το 2015.

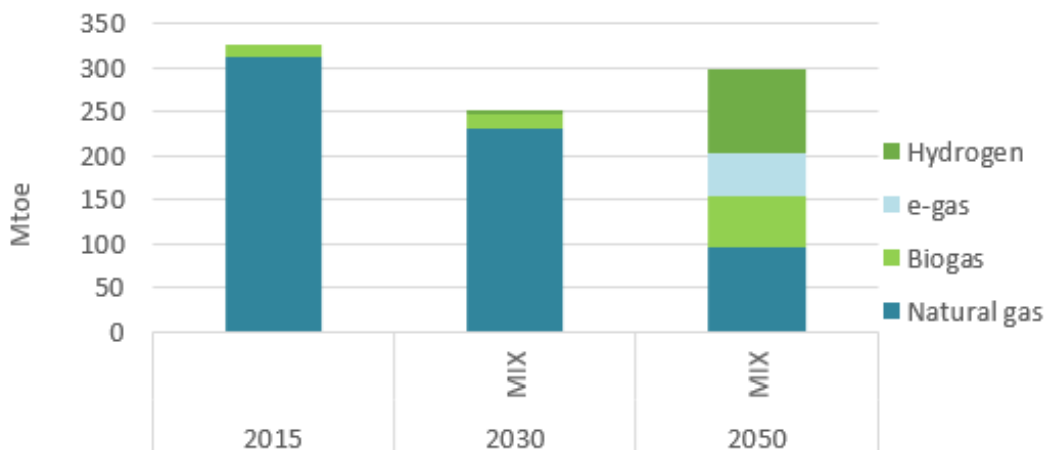
Το Σχήμα 0-3²¹ παρουσιάζει την εκτίμηση της κατανάλωσης αερίων καυσίμων ανά τύπο μέχρι το 2050. Η ζήτηση για ανανεώσιμα αέρια καύσιμα και αέρια καύσιμα χαμηλών εκπομπών CO₂ προβλέπεται να υπερδιπλασιασθεί σε σχέση με τη χρήση φυσικού αερίου. Η δυνατότητα για παραγωγή βιοαερίου είναι περιορισμένη και αναμένεται να αξιοποιηθεί πλήρως έως το 2050. Σε όλα τα σενάρια πολιτικής

²⁰ Άνθρακας: περιλαμβάνει τύρφη, σχιστολιθικό πετρέλαιο. Φυσικό αέριο: περιλαμβάνει τα αέρια προερχόμενα από άνθρακα και πετρέλαιο (manufactured gases). Βιοενέργεια: περιλαμβάνει στερεά βιομάζα, βιοαέριο, υγρά βιοκαύσιμα, απόβλητα.

²¹ Το σχήμα βασίζεται σε επεξεργασία των στοιχείων που παρατίθενται στο 2030 Climate Target Plan. Μόνο το σενάριο "MIX" παρουσιάζεται, καθώς αυτό είναι το σενάριο που επιλέχθηκε ως το βασικό για περαιτέρω επεξεργασία από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (βλ. ανακοινώσεις Fit-for-55)

που εξετάσθηκαν, το υδρογόνο και τα συνθετικά αέρια αντιπροσωπεύουν το 71% του συνόλου των ανανεώσιμων αερίων και των αερίων χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα το 2050. Επιπλέον, ανάμεσα σε αυτά τα αέρια καύσιμα, το υδρογόνο είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο αντιπροσωπεύοντας περίπου το 48% από αυτά.

Σχήμα 0-3 Κατανάλωση αερίων καυσίμων ανά τύπο αερίου, 2015-2050²²

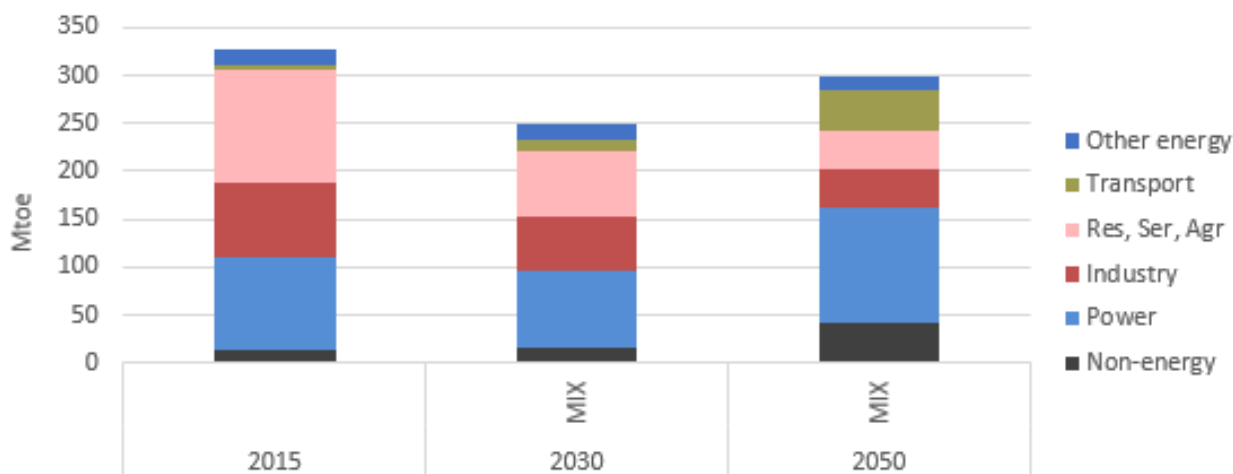


Το Σχήμα 0-4²³ παρουσιάζει την εκτίμηση της κατανάλωσης αερίων καυσίμων ανά τομέα. Το 2030, η κατανάλωση αερίων καυσίμων στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται προς όφελος της αύξησης των ΑΠΕ. Εν συνεχεία, η χρήση των αερίων καυσίμων στον εν λόγω τομέα αυξάνεται, και μάλιστα σημαντικά (περίπου κατά 50%) καθώς υπάρχουν αυξημένες ανάγκες για παραγωγή ηλεκτρισμού εξαιτίας του εξηλεκτρισμού μεγάλου μέρους της τελικής ζήτησης (π.χ. στα κτήρια, τις μεταφορές και τη βιομηχανία). Στους τομείς των κτηρίων, των υπηρεσιών και της γεωργίας, η χρήση αερίων καυσίμων επίσης μειώνεται λόγω του εξηλεκτρισμού που λαμβάνει χώρα στους εν λόγω τομείς. Εν αντιθέσει, τα αέρια καύσιμα διατηρούν το μερίδιό τους στην βιομηχανική κατανάλωση. Στον τομέα των μεταφορών όμως, η χρήση αερίων καυσίμων αυξάνεται σημαντικά το 2030 και συνεχίζει αυξανόμενη έως το 2050.

²² Φυσικό αέριο: περιλαμβάνει τα αέρια προερχόμενα από άνθρακα και πετρέλαιο (manufactured gases). Βιοαέριο: περιλαμβάνει τα απαέρια (waste gases).

²³ Το σχήμα βασίζεται σε επεξεργασία των στοιχείων που παρατίθενται στο 2030 Climate Target Plan. Μόνο το σενάριο "MIX" παρουσιάζεται, καθώς αυτό είναι το σενάριο που επιλέχθηκε ως το βασικό για περαιτέρω επεξεργασία από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (βλ. ανακοινώσεις Fit-for-55).

Σχήμα 0-4 Κατανάλωση αερίων καυσίμων ανά τομέα, 2015-2050²⁴



Η αυξανόμενη ζήτηση για ανανεώσιμα καύσιμα και καύσιμα χαμηλών εκπομπών ΑτΘ, ιδίως για τις μεταφορές, καθώς και για ορισμένες εφαρμογές στη βιομηχανία, σε συνδυασμό με ένα σύστημα ηλεκτροπαραγωγής με αυξανόμενο αριθμό περιπτώσεων όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπερβαίνει την ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να καταναλωθεί άμεσα, αυξάνει την ανάγκη για μακροπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας²⁵ και ουσιαστικά οδηγεί την ανάπτυξη ηλεκτρολυτών για την παραγωγή υδρογόνου.

Σύμφωνα με την σχετική Ευρωπαϊκή στρατηγική, στην πρώτη φάση, από το **2020 έως το 2024**, στρατηγικός στόχος είναι η εγκατάσταση ηλεκτρολυτικών κυψελών παραγωγής ανανεώσιμου υδρογόνου με ισχύ τουλάχιστον 6 GW εντός της ΕΕ και η παραγωγή έως και 1 εκατομμυρίου τόνων ανανεώσιμου υδρογόνου. Η αποανθρακοποίηση της υφιστάμενης παραγωγής υδρογόνου, π.χ. στον τομέα της χημικής βιομηχανίας και της διύλισης, και η διευκόλυνση της υιοθέτησης της κατανάλωσης υδρογόνου σε νέες εφαρμογές τελικής χρήσης, όπως σε άλλες βιομηχανικές διεργασίες και, ενδεχομένως, σε μεταφορές με βαρέα επαγγελματικά οχήματα αποτελούν τις περιοχές εφαρμογής της στρατηγικής αυτής.

Σε μια δεύτερη φάση, από το **2025 έως το 2030**, το υδρογόνο πρέπει να καταστεί αναπόσπαστο μέρος ενός ενοποιημένου ενεργειακού συστήματος με στρατηγικό στόχο την εγκατάσταση έως το 2030 ηλεκτρολυτικών κυψελών ανανεώσιμου

²⁴ Δεν περιλαμβάνονται οι απώλειες διανομής

²⁵ Η μακροπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας αναφέρεται σε χρόνους φόρτισης-εκφόρτισης της τάξεως των εβδομάδων ή μηνών, που ξεπερνούν τις δυνατότητες συμβατικών μπαταριών. Η πλέον διαδεδομένη τεχνολογία μακροπρόθεσμης αποθήκευσης είναι αυτή της αντλιοταμείωσης.

υδρογόνου ισχύος τουλάχιστον 40 GW και την παραγωγή έως και 10 εκατομμυρίων τόνων ανανεώσιμου υδρογόνου στην ΕΕ²⁶.

Σε μια τρίτη φάση, από το **2030 και έως το 2050**, οι τεχνολογίες υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές θα πρέπει να έχουν φθάσει σε ωριμότητα και να έχουν αναπτυχθεί σε ευρεία κλίμακα για να φτάσουν σε όλους τους δύσκολα αποανθρακοποιήσιμους τομείς, δηλαδή όπου άλλες εναλλακτικές λύσεις ενδέχεται να μην είναι εφικτές ή να έχουν υψηλότερο κόστος.

Ήδη από το 2020, σχεδόν όλα τα Κράτη Μέλη έχουν συμπεριλάβει στα εθνικά τους σχέδια για την ενέργεια και το κλίμα σχέδια για το καθαρό υδρογόνο, 26 δε από αυτά έχουν υπογράψει την «Πρωτοβουλία για το υδρογόνο»²⁷ και 14 Κράτη Μέλη έχουν συμπεριλάβει το υδρογόνο στο εθνικό πλαίσιο πολιτικής για τις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων²⁸. Ορισμένα Κράτη Μέλη έχουν ήδη εγκρίνει εθνικές στρατηγικές ή οι εν λόγω στρατηγικές βρίσκονται σε διαδικασία έγκρισης.

Όμως η μετάβαση από την τωρινή οικονομία που βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα σε μια οικονομία που να βασίζεται στο υδρογόνο, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί όσο άμεσα θα χρειαζόταν για να υπάρξει η επιθυμητή ραγδαία μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Ο ενεργειακός τομέας της ΕΕ υφίσταται διαρθρωτικές αλλαγές, οι οποίες εστιάζουν σε τομείς που κυμαίνονται από πηγές πρωτογενούς ενέργειας έως υποδομές μεταφοράς ενέργειας, κανονισμούς και τιμές. Η επιδιωκόμενη ενεργειακή μετάβαση θα αντιμετωπίσει πολλές προκλήσεις, ιδίως όσον αφορά στην αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας και στη μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Οι υπάρχουσες υποδομές φυσικού αερίου έχουν πολλά να προσφέρουν ώστε να ξεπεραστούν αυτές οι προκλήσεις, καθώς^{29,30}:

- ▶ επιτρέπουν τη μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις με χαμηλό κόστος και χαμηλές απώλειες ενέργειας,
- ▶ προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες διασυνοριακής μεταφοράς ενέργειας,
- ▶ προσφέρουν ευελιξία για την κάλυψη του ισοζυγίου προσφοράς-ζήτησης.
- ▶ παρέχουν τη δυνατότητα εποχιακής αποθήκευσης ενέργειας,

²⁶ Οι προβλέψεις της Ευρωπαϊκής στρατηγικής για το υδρογόνο ελήφθησαν υπόψη και στην ανάλυση που παρουσιάστηκε στα πλαίσια του 2030 Climate Target Plan

²⁷ Πηγή: <https://www.eu2018.at/calendar-events/political-events/BMNT-2018-09-17-Infomral-TTE.html>

²⁸ Υποβάλλονται δυνάμει της οδηγίας 2014/94/ΕΕ.

²⁹ Πηγή: Possible regulation of hydrogen networks, Kantor 2021:

https://extranet.acer.europa.eu/en/Gas/Documents/ACER%20H2%20Paper_%20vFinal_clean.pdf

³⁰ Πηγή: Technical and economic conditions for injecting hydrogen into natural gas networks. GRTgaz. June 2019: <https://www.elengy.com/images/Technical-economic-conditions-for-injecting-hydrogen-into-natural-gas-networks-report2019.pdf>

- › εξυπηρετούν μεγάλο μέρος της επικράτειας της ΕΕ, και το γεγονός ότι ως επί το πλείστο δεν είναι ορατές, συμβάλλει στη δημόσια αποδοχής τους.

Διάφορα άλλα ανανεώσιμα αέρια και αέρια χαμηλών εκπομπών ΑτΘ αναμένεται να αντικαταστήσουν σταδιακά το φυσικό αέριο υψηλών εκπομπών ΑτΘ. Μεταξύ αυτών, το υδρογόνο αποτελεί αναγνωρισμένο παράγοντα απαλλαγής από τις εκπομπές ΑτΘ, υπό την προϋπόθεση ότι παράγεται με χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα, είτε ως πράσινο υδρογόνο (από ανανεώσιμες πηγές) είτε ως μπλε υδρογόνο ή υδρογόνο χαμηλών εκπομπών (από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά με χρήση τεχνολογιών αποθήκευσης και χρήσης του CO₂, CCUS). Η χρήση υδρογόνου σε δίκτυα φυσικού αερίου, τα οποία καλύπτουν διάφορες γεωγραφικές περιοχές και κλίμακες, μπορεί να διευκολύνει τη μετάβαση στην απαλλαγή από τις εκπομπές ΑτΘ. Συγκεκριμένα, το υδρογόνο μπορεί να³¹:

- › Εγχέεται ως πρόσμιξη στο δίκτυο φυσικού αερίου (Επί του παρόντος, στην πλειονότητα των κρατών μελών, δεν εγχέεται υδρογόνο στο δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου. Ωστόσο, πολλές από τις Εθνικές Ρυθμιστικές Αρχές ενέργειας αναφέρουν ότι μια στρατηγική για το υδρογόνο βρίσκεται σε εξέλιξη).
- › Χρησιμοποιείται για την παραγωγή συνθετικού μεθανίου για έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου.
- › Εγχέεται απευθείας σε δίκτυο αποκλειστικά για υδρογόνο.

2.3 Παρουσίαση ρυθμιστικού πλαισίου για την εισαγωγή του υδρογόνου στο μείγμα καυσίμων

Το νομοθετικό πλαίσιο της ΕΕ είναι καλά εδραιωμένο όσον αφορά στο φυσικό αέριο και στις υποδομές του. Στο επίκεντρο του πλαισίου της ΕΕ για το φυσικό αέριο βρίσκεται η τρίτη Οδηγία για το φυσικό αέριο και οι σχετικοί κανονισμοί της. Ορισμένες νομικές πράξεις της ΕΕ σχετίζονται επίσης με την ανάπτυξη του υδρογόνου, είτε άμεσα (π.χ. χρήση ανανεώσιμων αερίων συμπεριλαμβανομένου του υδρογόνου) είτε έμμεσα (π.χ. ασφάλεια, περιβάλλον, δίκαιο μεταφορών κ.λπ.). Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν θεμελιώδη νομικά και διαχειριστικά εμπόδια που θα μπορούσαν να εμποδίσουν την έγχυση υδρογόνου στο δίκτυο φυσικού αερίου στην ΕΕ, με κύριο εμπόδιο την έλλειψη πλαισίου για τις απαιτήσεις έγχυσης δικτύου. Ως εκ τούτου, η ισχύουσα νομοθεσία πρέπει να προσαρμοστεί και να αναπτυχθεί περαιτέρω για την αντιμετώπιση της διαχείρισης υδρογόνου και της έγχυσης υδρογόνου στα δίκτυα φυσικού αερίου.

³¹Πηγή: ACER Report on NRAs Survey. Hydrogen, Biomethane and Related Network adaptations. July 10, 2020:

https://documents.acer.europa.eu/Official_documents/Acts_of_the_Agency/Publication/ACER%20Report%20on%20NRAs%20Survey.%20Hydrogen%2C%20Biomethane%2C%20and%20Related%20Network%20Adaptations.docx.pdf

Ο Πίνακας 0-1 παρουσιάζει το βασικό πλαίσιο της ΕΕ σχετικά με το υδρογόνο και τις υποδομές του, ακολουθούμενο από την περίληψη κάθε νομικής πράξης^{32,33}. Συγκεκριμένα:

- **Η Οδηγία RED II (Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001)** για την προώθηση των ΑΠΕ, θέτει νέους δεσμευτικούς στόχους ώστε τουλάχιστον το 32% της τελικής κατανάλωσης της ΕΕ να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές έως το 2030 και εξετάζει ζητήματα που σχετίζονται με την ενσωμάτωση του αερίων καυσίμων χαμηλών εκπομπών ΑτΘ στο σύστημα φυσικού αερίου. Για παράδειγμα, τα Κράτη Μέλη μπορούν να επεκτείνουν την υποδομή του δικτύου φυσικού αερίου για να φιλοξενήσουν και να διοχετεύσουν αέρια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο, δεν παρέχει σαφείς ορισμούς για τα ανανεώσιμα αέρια, συμπεριλαμβανομένου του υδρογόνου. Παράλληλα, η RED II καθιερώνει κοινές αρχές και κανόνες για την άρση εμποδίων, την προώθηση των επενδύσεων και τη μείωση του κόστους στις τεχνολογίες ΑΠΕ αλλά και στον τομέα των αερίων καυσίμων χαμηλών εκπομπών.
- **Η Οδηγία 2009/73/ΕΚ** για την εσωτερική αγορά φυσικού αερίου θεσπίζει γενικούς κανόνες για τη μεταφορά, τη διανομή, την προμήθεια και την αποθήκευση φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας, καθορίζοντας τους κανόνες που αφορούν στην οργάνωση και τη λειτουργία του τομέα του φυσικού αερίου, την πρόσβαση στην αγορά, τα κριτήρια και τις διαδικασίες που εφαρμόζονται στη χορήγηση αδειών μεταφοράς, διανομής, προμήθειας και αποθήκευσης φυσικού αερίου και τη λειτουργία συστημάτων. Το άρθρο 1.2 της οδηγίας ορίζει ότι «οι κανόνες που θεσπίζονται με την παρούσα οδηγία για το φυσικό αέριο, συμπεριλαμβανομένου του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (ΥΦΑ, LNG – Liquefied Natural Gas), εφαρμόζονται επίσης χωρίς διακρίσεις στο βιοαέριο, το αέριο από βιομάζα ή άλλους τύπους αερίων, εφόσον τα αέρια αυτά μπορούν τεχνικά και με ασφάλεια να εγχυθούν και να μεταφερθούν μέσω του συστήματος φυσικού αερίου». Μολονότι η συζήτηση σχετικά με την ασφάλεια και τα τεχνικά πρότυπα για την έγχυση υδρογόνου στο δίκτυο αερίου βρίσκεται επί του παρόντος σε εξέλιξη, δυνάμει του άρθρου 1.2 της οδηγίας, μπορεί να θεωρηθεί ότι η οδηγία εφαρμόζεται στα μείγματα υδρογόνου και μεθανίου στο δίκτυο φυσικού αερίου, εφόσον δεν σημειώνεται υπέρβαση του νομικού προτύπου για τη μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση υδρογόνου.
- **Η Οδηγία 2019/692/ΕΚ** τροποποιεί την οδηγία 2009/73/ΕΚ σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά φυσικού αερίου. Η Οδηγία αυτή,

³² Πηγή: https://www.hylaw.eu/sites/default/files/2019-02/D4.4%20-%20EU%20regulations%20and%20directives%20which%20impact%20the%20deployment%20of%20FCH%20technologies_0.pdf

³³ Πηγή: https://extranet.acer.europa.eu/en/Gas/Documents/ACER%20H2%20Paper_%20vFinal_clean.pdf

ωστόσο, αναφέρεται σε μια νέα Κοινοτική προσέγγιση σχετικά με τη ρύθμιση των γραμμών μεταφοράς φυσικού αερίου που συνδέουν τα Κράτη Μέλη με τρίτες χώρες. Μολονότι η Οδηγία είναι σημαντική για την αντιμετώπιση των εμποδίων στην ανάπτυξη της εσωτερικής αγοράς φυσικού αερίου, δεν αντιμετωπίζει την ανάγκη ουσιαστικής αναθεώρησης ώστε να ενσωματώσει τις διατάξεις για το υδρογόνο.

- **Ο Κανονισμός (ΕΚ) 715/2009** θεσπίζει κανόνες που δεν εισάγουν διακρίσεις όσον αφορά στους όρους πρόσβασης σε συστήματα μεταφοράς φυσικού αερίου, σε εγκαταστάσεις LNG και σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των εθνικών και περιφερειακών αγορών.
- **Ο Κανονισμός (ΕΚ) 2015/703** θεσπίζει κώδικα δικτύου ο οποίος καθορίζει κανόνες σχετικά με τη διαλειτουργικότητα και την ανταλλαγή δεδομένων, καθώς και εναρμονισμένους κανόνες για τη λειτουργία συστημάτων μεταφοράς φυσικού αερίου. Ευθυγραμμίζει τις πολύπλοκες τεχνικές διαδικασίες που χρησιμοποιούνται από τους διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς εντός της ΕΕ, και ενδεχομένως τις διαδικασίες διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς εντός της ΕΕ και άλλων γειτονικών της ΕΕ χωρών.
- **Ο Κανονισμός (ΕΕ) 2017/460** θεσπίζει τον κώδικα δικτύου που καθορίζει τους κανόνες για την εναρμονισμένη τιμολόγηση της μεταφοράς φυσικού αερίου, συμπεριλαμβανομένων των κανόνων για την εφαρμογή μεθοδολογίας τιμής αναφοράς, τις σχετικές απαιτήσεις διαβούλευσης και δημοσίευσης, καθώς και τον υπολογισμό των οριακών τιμών για τα προϊόντα τυποποιημένης δυναμικότητας (standard capacity products). Ο Κανονισμός ενισχύει τη οικονομική διαφάνεια και συνοχή (δημοσιευμένα έσοδα των Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς). Ωστόσο, δεν κάνει ειδική μνεία στα ανανεώσιμα αέρια ή στον τιμολογιακό κανονισμό που προτείνεται για αυτά. Ως εκ τούτου, ως έχει, ο κανονισμός δεν προβλέπει τη δυνατότητα εφαρμογής τιμολογιακών μεθοδολογιών σε δίκτυα ειδικά για υδρογόνο και δίκτυα μεικτών αερίων.
- **Ο Κανονισμός (ΕΕ) 2019/942** ιδρύει τον Οργανισμό της ΕΕ για τη Συνεργασία των Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας (ACER), προκειμένου να επικουρεί τις ρυθμιστικές αρχές σε διάφορα ρυθμιστικά καθήκοντα. Το άρθρο 8, ειδικότερα, ορίζει τα «καθήκοντα του Οργανισμού όσον αφορά στους όρους και τις προϋποθέσεις πρόσβασης και επιχειρησιακής ασφάλειας των διασυνοριακών υποδομών», καθιστώντας έτσι τον ACER μέτοχο σε ρυθμιστικά ζητήματα που σχετίζονται με τη μεταφορά και διανομή υδρογόνου.

- > **Ο Κανονισμός (ΕΕ) 559/2014** θεσπίζει το Fuel Cell Hydrogen 2 Joint Undertaking με στόχο την αύξηση της αποτελεσματικότητας της παραγωγής υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την επίδειξη της χρήσης υδρογόνου σε μεγάλη κλίμακα, για την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό σύστημα.
- > **Η Οδηγία ATEX (Equipment for potentially explosive atmospheres) 2014/34/ΕΕ** καθορίζει τις βασικές απαιτήσεις για την υγεία και ασφάλεια και τις διαδικασίες αξιολόγησης της συμμόρφωσης (άρθρο 4) που πρέπει να εφαρμόζονται πριν από τη διάθεσή των προϊόντων στην αγορά της ΕΕ και είναι σημαντική για την κατασκευή μονάδων παραγωγής υδρογόνου. Καλύπτει, μεταξύ άλλων, εξοπλισμό και συστήματα προστασίας που προορίζονται για χρήση σε περιβάλλοντα όπου υπάρχει ο κίνδυνος εκρήξεων.
- > **Η Οδηγία IED (Industrial Emissions Directive) Οδηγία 2010/75/ΕΕ** καθιέρωσε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση όσον αφορά στον έλεγχο και την πρόληψη. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση σημαίνει ότι οι άδειες πρέπει να λαμβάνουν υπόψη το σύνολο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της μονάδας, καλύπτοντας π.χ. εκπομπές στην ατμόσφαιρα, τα ύδατα και την ξηρά, την παραγωγή αποβλήτων, τη χρήση πρώτων υλών, την ενεργειακή απόδοση, το θόρυβο, την πρόληψη ατυχημάτων και την αποκατάσταση του χώρου μετά το κλείσιμο. Οι όροι άδειας, συμπεριλαμβανομένων των οριακών τιμών εκπομπών, πρέπει να βασίζονται στις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (ΒΔΤ; BAT - Best Available Techniques).
- > **Ο Κανονισμός (ΕΕ) 2016/426** βρίσκει εφαρμογή στις συσκευές που καταναλώνουν αέρια καύσιμα που χρησιμοποιούνται για το μαγείρεμα, την ψύξη, τον κλιματισμό, τη θέρμανση χώρων, την παραγωγή ζεστού νερού, τον φωτισμό ή το πλύσιμο, καθώς και τους καυστήρες και τα θερμαντικά σώματα που εξοπλίζονται με τέτοιους καυστήρες και συσκευές ασφαλείας, συσκευές ελέγχου ή ρύθμισης και υποσυστήματα αυτών, σχεδιασμένα να ενσωματώνονται σε συσκευές ή που αποτελούν εξαρτήματα.

Πίνακας 0-1 Υφιστάμενο νομικό πλαίσιο της ΕΕ σχετικά με την έγχυση υδρογόνου σε δίκτυα φυσικού αερίου

A/A	Τίτλος ρυθμιστικού κειμένου	Ημερομηνία
1.	Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001 για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές	Δεκέμβριος 2018
2.	Οδηγία 2009/73/ΕΚ σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά φυσικού αερίου και την κατάργηση της οδηγίας 2003/55/ΕΚ	Ιούλιος 2009
3.	Οδηγία (ΕΕ) 2019/692 για την τροποποίηση της οδηγίας 2009/73/ΕΚ σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά φυσικού αερίου	Απρίλιος 2019
4.	Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 715/2009 σχετικά με τους όρους πρόσβασης στα δίκτυα μεταφοράς φυσικού αερίου και για την κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1775/2005	Ιούλιος 2009
5.	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) 2015/703 για τη θέσπιση κώδικα δικτύου όσον αφορά τους κανόνες για τη διαλειτουργικότητα και την ανταλλαγή δεδομένων	Απρίλιος 2015
6.	Κανονισμός (ΕΕ) 2017/460 για τη θέσπιση κώδικα δικτύου σχετικά με την εναρμονισμένη διάρθρωση των τιμολογίων μεταφοράς αερίου	Μάρτιος 2017
7.	Κανονισμός (ΕΕ) 2019/942 για την ίδρυση Οργανισμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη Συνεργασία των Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας	Ιούλιος 2019
8.	Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 559/2014 για τη σύσταση της κοινής επιχείρησης «Κυψέλες καυσίμου και υδρογόνο 2»	Μάιος 2014
9.	Οδηγία 2014/34/ΕΕ για την εναρμόνιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με τις συσκευές και τα συστήματα προστασίας που προορίζονται για χρήση σε εκρήξιμες ατμόσφαιρες (αναδιτύπωση)	Απρίλιος 2014
10.	Οδηγία 2010/75/ΕΕ περί βιομηχανικών εκπομπών (ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης)	Δεκέμβριος 2010
11.	Κανονισμός (ΕΕ) 2016/426 σχετικά με τις συσκευές με καύση αέριων καυσίμων και την κατάργηση της οδηγίας 2009/142/ΕΚ	Μάρτιος 2016

Πρόσφατα, με τη δημοσίευση του πακέτου μέτρων Fit-for-55, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προτείνει την αναθεώρηση αρκετών νομοθετημάτων της ΕΕ για το κλίμα, καθορίζοντας με πραγματικούς όρους τους τρόπους με τους οποίους η Επιτροπή προτίθεται να επιτύχει τους στόχους της ΕΕ για το κλίμα στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας.

Η κατεύθυνση της αναθεώρησης βασικών οδηγιών και κανονισμών συνάδει με τον δεσμευτικό στόχο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% μέχρι το 2030 και το στόχο της οικονομίας μηδενικών εκπομπών (net zero) μέχρι το 2050.

Μεταξύ κάποιων νέων και αναθεωρημένων πολιτικών, **το πακέτο Fit-for-55 περιλαμβάνει διάφορες σημαντικές διατάξεις για το υδρογόνο**, και κυρίως για το πράσινο υδρογόνο που είναι αυτό που μπορεί να συμβάλει καθοριστικότερα στον στόχο για κλιματική ουδετερότητα. Γενικά λοιπόν, υπάρχουν διατάξεις που θα επιτρέψουν στους παραγωγούς πράσινου υδρογόνου να λάβουν ενίσχυση για το προϊόν τους^{34,35}:

› **Πρόταση αναθεώρησης της RED II**³⁶:

- Τίθενται συγκεκριμένοι υπο-στόχοι στην κατανάλωση τελικής ενέργειας για το ανανεώσιμο υδρογόνο, καθώς και επέκταση της πανευρωπαϊκής πιστοποίησης για τα ανανεώσιμα καύσιμα, ώστε να συμπεριλάβει επίσης το ανανεώσιμο υδρογόνο.
- Το υδρογόνο ως ενδιάμεσο προϊόν³⁷ που θα χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή τελικών καυσίμων μετράει ως προς τον στόχο της RED.

› **Πρόταση νέου κανονισμού για τα αεροπορικά καύσιμα “ReFuelEU Aviation”**³⁸

- Προωθούνται τα βιώσιμα αεροπορικά καύσιμα (Sustainable Aviation Fuels; SAFs), τα οποία μπορούν να λάβουν τη μορφή προηγμένων βιοκαυσίμων ή συνθετικών καυσίμων (για παράδειγμα, Power-to-Liquid με βάση το πράσινο υδρογόνο) στις αεροπορικές μεταφορές.
- Προτείνονται εναρμονισμένοι κανόνες σε επίπεδο ΕΕ για τα SAF τόσο για τους αερομεταφορείς όσο και για τους προμηθευτές καυσίμων γενικότερα.
- Οι προμηθευτές καυσίμων πρέπει να διασφαλίσουν τη συμπερίληψη αυξανόμενων επιπέδων SAFs στα αεροπορικά καύσιμα με ελάχιστα μερίδια συνθετικών αεροπορικών καυσίμων από το 2030 έως το 2050³⁹.

³⁴ Πηγή: <https://fsr.eui.eu/fit-for-55-eu-rolls-out-largest-ever-legislative-package-in-pursuit-of-climate-goals/>

³⁵ Πηγή: <https://ptx-hub.org/the-fit-for-55-package-key-points-for-green-hydrogen-and-ptx/>

³⁶ Αναφορά: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0557>

³⁷ Εδώ το υδρογόνο θεωρείται «Ανανεώσιμο Καύσιμο από πηγές Μη-Βιολογικής Προέλευσης» (RFNBO: Renewable Fuel of Non-Biological Origins)

³⁸ Αναφορά: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0561>

³⁹ 2% SAF για το 2025, 5% SAF (σμπ. 0,7% e-fuels) για το 2030, 32% SAF (σμπ. 8% e-fuels) για το 2040, 63% SAF (σμπ. 28 % e-fuels) για το 2050

› **Πρόταση νέου κανονισμού για τα ναυτιλιακά καύσιμα “FuelEU Maritime”⁴⁰**

- Η πρόταση ενθαρρύνει την υιοθέτηση βιώσιμων ναυτιλιακών καυσίμων και τεχνολογιών μηδενικών εκπομπών, θέτοντας ελάχιστο όρια μείωσης του αποτυπώματος εκπομπών CO₂⁴¹. Για το σκοπό αυτό, η πρόταση περιλαμβάνει όλα τα καύσιμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και χαμηλών εκπομπών ΑτΘ στις θαλάσσιες μεταφορές, όπως: βιοκαύσιμα, συνθετικά υγρά καύσιμα (συμπεριλαμβανομένου του βιο-ΥΦΑ), συνθετικά αέρια καύσιμα, πράσινο υδρογόνο και ανανεώσιμο ηλεκτρισμό.

› **Πρόταση αναθεώρησης της Οδηγίας για τις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων⁴² (Alternative Fuel Infrastructure Directive):**

- Ένας σταθμός ανεφοδιασμού υδρογόνου για κάθε 150 χιλιόμετρα του κεντρικού δικτύου διευρωπαϊκών μεταφορών (Trans European Network for Transport; TEN-T), καθώς και σταθμοί ανεφοδιασμού σε κάθε αστικό κόμβο.

› **Πρόταση αναθεώρησης του κανονισμού των προτύπων για τις εκπομπές CO₂ στα οχήματα⁴³:**

- Το υδρογόνο αναφέρεται ως επιλογή απαλλαγής των εκπομπών CO₂ για βαρέα επαγγελματικά οχήματα.
- Πλέον καλύπτονται όλα τα καύσιμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, συμπεριλαμβανομένου του ανανεώσιμου (πράσινου) υδρογόνου και των συνθετικών καυσίμων.

› **Πρόταση αναθεώρησης της Οδηγίας για το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών⁴⁴ (ΣΕΔΕ, European Union Emissions Trading System – EU ETS)**

- Οι ηλεκτρολύτες θα είναι πλέον επιλέξιμοι για δωρεάν πιστώσεις δικαιωμάτων εκπομπών.

⁴⁰ Πρόταση για τον Κανονισμό του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου για τη χρήση ανανεώσιμων καυσίμων και καυσίμων χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών στις θαλάσσιες μεταφορές και για την τροποποίηση της οδηγίας 2009/16/ΕΚ (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0562>)

⁴¹ Μείωση των εκπομπών σε grCO₂eq./MJ: 2% για το 2025, 6% για το 2030, 26% για το 2040, 75% για το 2050 (η μείωση αναφέρεται συγκριτικά με την τιμή αναφοράς για το 2020 όπως αυτή θα προσδιοριστεί με βάση τον Κανονισμό (ΕΥ) 2015/757)

⁴² Πρόταση για τον Κανονισμό του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων και για την κατάργηση της οδηγίας 2014/94/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52021PC0559>)

⁴³ Πρόταση για τον Κανονισμό του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου για την τροποποίηση του κανονισμού (ΕΕ) 2019/631 όσον αφορά την ενίσχυση των προτύπων επιδόσεων για τις εκπομπές CO₂ από τα καινούργια επιβατικά αυτοκίνητα και από τα καινούργια ελαφρά επαγγελματικά οχήματα, σύμφωνα με την αυξημένη κλιματική φιλοδοξία της Ένωσης (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ga/TXT/?uri=CELEX:52021PC0556>)

⁴⁴ Αναφορά: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revision-eu-ets_with-annex_en_0.pdf

- ▶ **Πρόταση αναθεώρησης της Οδηγίας για τη φορολόγηση της ενέργειας⁴⁵** (Energy Taxation Directive, ETD)
 - Πρόβλεψη για καθορισμό ευνοϊκών φορολογικών συντελεστών για τη χρήση υδρογόνου προερχόμενου από ΑΠΕ καθώς και επίσης υδρογόνου χαμηλών εκπομπών ΑτΘ (π.χ. μπλε υδρογόνο).
- ▶ **Πρόταση για την εισαγωγή μηχανισμού προσαρμογής άνθρακα στα σύνορα⁴⁶** (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)
 - Η πρόταση παρέχει κίνητρα για τη χρήση πράσινου υδρογόνου.

Σημειώνεται ότι οι παραπάνω προτάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής θα πρέπει να περάσουν από την διαδικασία της Τριλογίας με την συμμετοχή του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου και του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου πριν πάρουν την τελική του μορφή και αποτελέσουν μέρος του Κοινοτικού δικαίου⁴⁷.

2.4 Το υδρογόνο στις πολιτικές των Κρατών Μελών

Σχεδόν όλες οι χώρες της ΕΕ αναφέρουν το πράσινο υδρογόνο στα Εθνικά τους Σχέδια για την Ενέργεια και το Κλίμα για το 2030, που είναι το υποχρεωτικό πλαίσιο για να περιγράψουν τα Κράτη Μέλη τις πολιτικές τους για την ενέργεια και το κλίμα έως το 2030. Παρ' όλο που οι μακροπρόθεσμες ευκαιρίες που σχετίζονται με το υδρογόνο αλλά και την τεχνολογία Power-to-Gas αναγνωρίζονται από όλα τα Κράτη Μέλη, τα σχέδια που έχουν παρουσιαστεί διαφέρουν ως προς τη φιλοδοξία, το πεδίο εφαρμογής και το βάθος εφαρμογής.

Με τα ΕΣΕΚ μέχρι το 2021, έντεκα χώρες είχαν θέσει ρητούς στόχους για την ανάπτυξη της ικανότητας παραγωγής υδρογόνου ή των επιπέδων κατανάλωσης, συμπεριλαμβανομένων όλων των μεγάλων οικονομιών της ΕΕ⁴⁸. Οι επιμέρους στόχοι διαφέρουν ως προς τη χρονική κατανομή τους, αλλά μοιράζονται το έτος 2030 ως μεσοπρόθεσμη αναφορά. Η Γαλλία θέτει τον πιο φιλόδοξο απόλυτο στόχο για το 2030 με δυναμικότητα παραγωγής 6,5 GW.

Όσον αφορά στην κατανάλωση υδρογόνου, επτά χώρες είχαν διακηρύξει ρητούς στόχους κατά το 2021. Σε τρεις χώρες (Βουλγαρία, Κροατία, Σλοβενία), οι στόχοι περιορίζονται στον τομέα των μεταφορών. Σχεδόν όλες οι χώρες καθορίζουν τους στόχους τους σε απόλυτες τιμές κατανάλωσης, με εξαίρεση την Πορτογαλία όπου καθορίζει ποσοστά συνολικής κατανάλωσης. Επιπλέον, ορισμένες χώρες έχουν καθορίσει ειδικότερους στόχους που συνδέονται με τον όγκο παραγωγής ή τους

⁴⁵ Αναφορά: https://ec.europa.eu/info/files/revision-energy-tax-directive_en

⁴⁶ Αναφορά: https://ec.europa.eu/info/files/carbon-border-adjustment-mechanism_en

⁴⁷ Αναφορά: <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/package-fit-for-55>

⁴⁸ Πηγή: Europe's Path to Net Zero Emissions, Intereconomics 2021, DOI: 10.1007/s10272-021-1005-6

ρυθμούς ενσωμάτωσης οχημάτων κυσέλων καυσίμου (Βέλγιο, Τσεχία), τα ποσοστά κατανάλωσης καυσίμων (Γερμανία, Ουγγαρία, Ιταλία, Σλοβακία, Σλοβενία), ή τον αριθμό των σταθμών ανεφοδιασμού (Τσεχία, Γαλλία). Σε γενικές γραμμές, δεν είναι εύκολο να συγκριθούν μεταξύ τους οι γενικότεροι στόχοι.

Τα υφιστάμενα εθνικά σχέδια διαφέρουν επίσης ως προς τις τομεακές προτεραιότητές τους. Κατά τον σχεδιασμό μιας μελλοντικής οικονομίας υδρογόνου, δεν διατυπώνονται στον ίδιο βαθμό όλες οι τεχνικά εφικτές χρήσεις. Ο Πίνακας 0-2 απεικονίζει τα πεδία εφαρμογής που επισημαίνονται ρητά από τις χώρες ως δυνητικά κατάλληλα, είτε στα ΕΣΕΚ είτε στις εθνικές στρατηγικές για το υδρογόνο (εάν υπάρχουν). Ο Πίνακας αντικατοπτρίζει σαφώς την έμφαση στον τομέα των μεταφορών κατά την τρέχουσα συζήτηση για το υδρογόνο. Σχεδόν όλες οι χώρες αποδίδουν στο πράσινο υδρογόνο σημαντικό ρόλο για την απεξάρτηση των καυσίμων από τους υδρογονάνθρακες.

Ωστόσο, δεν καθορίζουν όλες οι χώρες ρητά τα τμήματα του τομέα των μεταφορών για τα οποία η τεχνολογία αυτή είναι πιθανό να καταστεί κατάλληλη. Μεταξύ αυτών που το κάνουν, όλοι βλέπουν δυνατότητες στον τομέα των μεταφορών εμπορευμάτων με φορτηγά κυσέλων καυσίμου. Οι περισσότερες χώρες προσδιορίζουν επίσης τον τομέα των επιβατικών μεταφορών ως ευκαιρία, παρόλο που ο ανταγωνισμός με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αναφέρεται συχνά ως εμπόδιο στην ανάπτυξη. Η εφαρμογή υδρογόνου σε άλλους τομείς μεταφοράς (αερομεταφορές, ναυτιλία, τρένα) αναφέρεται λιγότερο συχνά. Γενικά θεωρείται μακροπρόθεσμη προοπτική και τονίζεται η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα.

Όσον αφορά στις δυνατότητες για χρήση σε τομείς εκτός των μεταφορών, η χρήση πράσινου υδρογόνου ως νέα λύση αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας επισημαίνεται από όλες σχεδόν τις χώρες. Υπό το φως των μελλοντικών σχεδίων για επέκταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η λύση αυτή θεωρείται σχεδόν ομόφωνα ως σημαντικός παράγοντας για την σταθεροποίηση των δικτύων. Οι περισσότερες χώρες σκοπεύουν επίσης να προωθήσουν τη χρήση υδρογόνου που παράγεται από ΑΠΕ στη βιομηχανική παραγωγή, εν μέρει ως υποκατάστατο του παραγόμενου από ορυκτά καύσιμα υδρογόνου στις υπάρχουσες εφαρμογές και εν μέρει ως υποκατάστατο του φυσικού αερίου ως φορέα ενέργειας. Τέλος, η χρήση υδρογόνου ή προϊόντων υδρογόνου για θέρμανση σε κτήρια είναι επίσης διαδεδομένη, αλλά από μια μειοψηφία χωρών. Περισσότερες χώρες εκδηλώνουν ενδιαφέρον σχετικά με την ενσωμάτωση των προϊόντων αυτών στις υπάρχουσες υποδομές φυσικού αερίου, ανακοινώνοντας την αναθεώρηση των σχετικών κανόνων.

Πίνακας 0-2 Τομείς χρήσης υδρογόνου που αναφέρονται στα εθνικά σχέδια
πολιτικής των κρατών μελών της Ε.Ε

Τομέας/ Χώρα	Ψύξη/ Θέρμανση	Ενέργεια	Βιομη- χανία	Μεταφορές				
				Γενικά	Επιβατικά οχήματα	Βαρέα οχήματα	Αεροπορικές Μεταφορές	Θαλάσσιες μεταφορές
Αυστρία	x	x	x	x	x	x		
Βέλγιο		x	x	x	x	x		
Βουλγαρία		x		x				
Κροατία		x		x				
Κύπρος								
Τσεχία	x	x		x	x	x		
Δανία		x		x				
Εσθονία	x	x		x				
Φινλανδία			x	x				
Γαλλία		x	x	x	x	x		
Γερμανία	x	x	x	x	x	x	x	x
Ελλάδα		x		x				x
Ουγγαρία	x	x	x	x				
Ιρλανδία		x	x	x				
Ιταλία			x	x	x	x		x
Λετονία				x				
Λιθουανία		x	x	x				
Λουξεμβούργο		x	x	x	x	x		
Μάλτα	x	x		x	x	x		
Ολλανδία	x	x	x	x		x		
Πολωνία	x	x		x	x	x	x	x
Πορτογαλία		x	x	x	x	x	x	x
Ρουμανία		x	x	x				
Σλοβακία			x	x				
Σλοβενία		x		x		x		
Ισπανία		x		x				
Σουηδία			x	x		x		

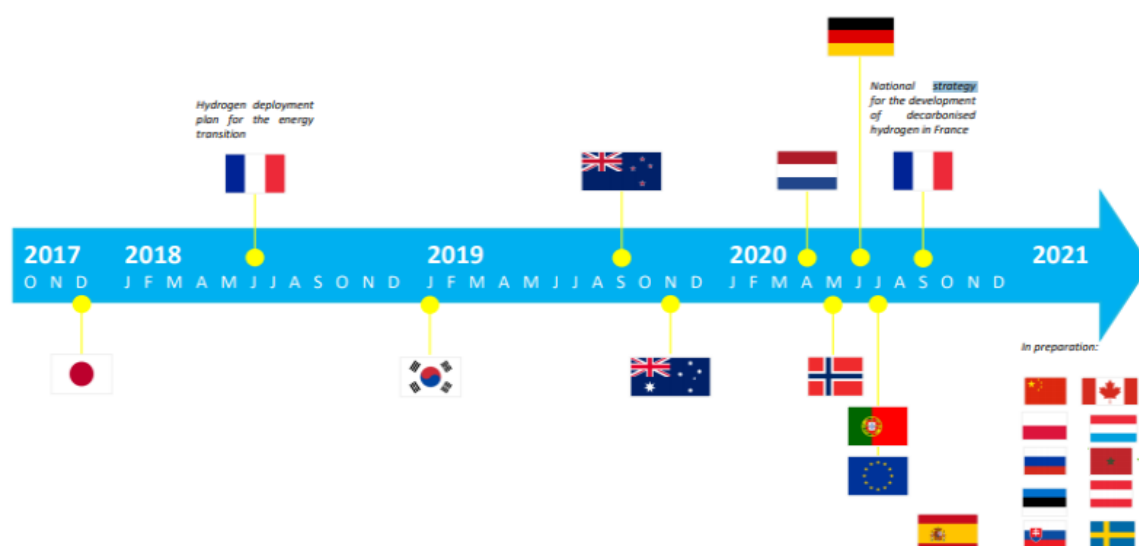
Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δυνατοτήτων χρήσης ανά χώρα και της έμφασης στην εθνική πολιτική. Αυτό ισχύει ειδικά για τον τομέα της βιομηχανίας. Οι χώρες που διαθέτουν υψηλά μερίδια εγχώριας προστιθέμενης αξίας σε χημικά προϊόντα ή/και βασικά μέταλλα είναι πιο πιθανό να δώσουν έμφαση σε αυτό το πεδίο εφαρμογής. Είναι εντυπωσιακό το γεγονός ότι οι χώρες στα εθνικά σχέδια των οποίων δεν αναφέρεται η δυνατότητα χρήσης του υδρογόνου ως μέσου αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάζουν σαφώς χαμηλότερα ποσοστά αιολικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από το μέσο όρο.

Η Ολλανδία και η Γερμανία ήταν από τις πρώτες χώρες της ΕΕ που παρουσίασαν τις εθνικές στρατηγικές τους για το υδρογόνο. Η Πορτογαλία και

πιο πρόσφατα η Γαλλία δημοσίευσε επίσης τις στρατηγικές τους για το υδρογόνο, ενώ η Ισπανία ακολουθεί. (Σχήμα 2 5).

Οι περισσότερες χώρες της ΕΕ αναμένεται να δημοσιεύσουν τις εθνικές στρατηγικές τους. Για τους σκοπούς αυτής της Ενότητας, παρουσιάζεται η Γερμανική στρατηγική, η οποία παρουσιάζει την μεγαλύτερη φιλοδοξία ως προς την τεχνολογία, η Ολλανδική, η οποία παρουσιάζει την μεγαλύτερη φιλοδοξία ως προς τις υποδομές υδρογόνου, η Γαλλική, η οποία παρουσιάζει τη μεγαλύτερη φιλοδοξία ως προς την δυναμικότητα κατά το 2030 και η Πορτογαλική, καθώς ήταν η πρώτη χώρα που έθεσε ως στόχο την κλιματική ουδετερότητα.

Σχήμα 0-5 Ημερομηνίες δημοσίευσης των εθνικών στρατηγικών υδρογόνου σε όλο τον κόσμο ανά χώρα⁴⁹



i. Ολλανδία

Η ολλανδική κυβέρνηση έχει αναγνωρίσει ότι ένα συμπαγές ρυθμιστικό πλαίσιο είναι το κλειδί για την ανάπτυξη της οικονομίας του υδρογόνου. Στο κείμενο «State Vision for the Development of Markets for the Energy Transition», με ημερομηνία 22 Ιουνίου 2020, ο Υπουργός Οικονομικών και Κλιματικής Πολιτικής δήλωσε ότι η μετάβαση της υποδομής φυσικού αερίου στο πράσινο αέριο (βιομεθάνιο και συνθετικό φυσικό αέριο) και το υδρογόνο χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (μπλε και πράσινο) είναι ένα από τα κύρια θέματα πολιτικής.

Η ολλανδική αγορά φυσικού αερίου ρυθμίζεται από την Ολλανδική Αρχή Καταναλωτών και Αγορών (Dutch Authority for Consumers and Markets - ACM) η οποία και ρυθμίζει τα θέματα σχετικά με την προμήθεια και τη μεταφορά

⁴⁹ Πηγή: Possible regulation of hydrogen networks, ACER 2021
https://extranet.acer.europa.eu/en/Gas/Documents/ACER%20H2%20Paper_%20vFinal_clean.pdf

αερίου, τη λειτουργία διασυνδέσεων καθώς επίσης και την πραγματοποίηση έξυπνων μετρήσεων. Ωστόσο, δεν έχει θεσπιστεί ειδική νομοθεσία για το υδρογόνο.

Η έγχυση υδρογόνου επιτρέπεται στο δίκτυο αερίου (μεταφορά και διανομή), εάν το αέριο συμμορφώνεται με τα πρότυπα ποιότητας που αναφέρονται στο διάταγμα για την ποιότητα των αερίων (Gas Quality Decree). Η φυσική ανάμειξη έως και 2% είναι ήδη εφικτή με μικρές προσαρμογές και αναμένεται ότι το ποσοστό αυτό μπορεί να αυξηθεί σε περίπου 10-20%. Αναγνωρίστηκε όμως ότι απαιτούνται λεπτομερέστερες μελέτες, καθώς είναι πιθανό το δίκτυο φυσικού αερίου να μπορεί να διαχειριστεί έως και 100% υδρογόνο. Οι όροι και οι προϋποθέσεις σχετικά με την έγχυση αερίου περιλαμβάνονται σε συμπληρωματικό έγγραφο του Κώδικα Δικτύου (Injection Code Gas TSO). Εκτός από τα θέματα που σχετίζονται με την ποιότητα, όλοι οι άλλοι κανόνες που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση μεταξύ του παραγωγού και του φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου είναι οι ίδιοι με το συμβατικό φυσικό αέριο, ενώ το αέριο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνεται σε ειδικό κείμενο ("Definitions Code Gas").

Στις 30 Μαρτίου 2020, η ολλανδική κυβέρνηση δημοσίευσε την εθνική στρατηγική για το υδρογόνο έως το 2050. Σε αυτό προσδιορίζονται τρεις φάσεις για την ανάπτυξη του υδρογόνου. Η πρώτη φάση (τρέχουσα) περιλαμβάνει την ανάπτυξη εγκαταστάσεων πράσινου υδρογόνου εντός βιομηχανικών συμπλεγμάτων όπου υπάρχει ήδη ζήτηση για υδρογόνο. Σε ένα επόμενο στάδιο είναι πιθανή η ανάπτυξη ενός πιο εκτεταμένου δικτύου. Μακροπρόθεσμα, μπορεί να απαιτηθεί εποχιακή αποθήκευση, ενδεχομένως μεγάλης κλίμακας αποθήκευση σε σπήλαια άλατος ή κενά κοιτάσματα αερίων.

Η κυβέρνηση αναγνωρίζοντας το ρόλο της στην ανάπτυξη της υποδομής υδρογόνου θα επανεξετάσει τις συνθήκες υπό τις οποίες το υπάρχον δίκτυο φυσικού αερίου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά και τη διανομή υδρογόνου και το ρόλο των φορέων διαχείρισης δικτύων στην αλυσίδα υδρογόνου. Οι εθνικοί φορείς διαχείρισης δικτύων και οι εταιρείες δικτύου Gasunie και TenneT, καθώς και οι περιφερειακοί φορείς διαχείρισης δικτύων και οι εταιρείες δικτύου θα συμμετάσχουν στη διαδικασία αυτή. Κατά τη διερεύνηση θα ληφθούν επίσης υπόψη οι συνδέσεις με τη Γερμανία και άλλες γειτονικές χώρες και η απαιτούμενη δυναμικότητα. Οι νόμοι και οι κανονισμοί για την ανάπτυξη του υπάρχοντος δικτύου αερίου αναμένονται βραχυπρόθεσμα.

Αναγνωρίζεται η σημασία των πλαισίων στήριξης που αποσκοπούν σε ερευνητικά και πιλοτικά έργα, καθώς και η διαδικασία ανάπτυξης και εισαγωγής στην αγορά των σχετικών τεχνολογιών (scaling-up and roll-out process):

1. **Εφαρμοσμένη έρευνα και καινοτόμα πιλοτικά έργα:** Το Πρόγραμμα Energy Innovation Demonstration Scheme «DEI+» υποστηρίζει καινοτόμα πιλοτικά έργα στον τομέα του υδρογόνου, τόσο για την παραγωγή του όσο για την χρήση του από τους τελικούς καταναλωτές. Στο αυτό το πλαίσιο, παρέχεται επιδότηση ύψους 25%-45% των επιλέξιμων δαπανών με ανώτατο όριο τα 15 εκατομμύρια ευρώ, ανάλογα το μέγεθος της εταιρίας. Επιπλέον, το πρόγραμμα χρησιμοποιείται για την προώθηση μέσω διαγωνισμών εφαρμοσμένης έρευνας και ανάπτυξης της παραγωγής υδρογόνου.
2. **Ανάπτυξη μέσω προσωρινής στήριξης των λειτουργικών εξόδων**⁵⁰: Η ολλανδική κυβέρνηση έχει ως στόχο να διευκολύνει τη διαδικασία ανάπτυξης, αξιοποιώντας τα υφιστάμενα κονδύλια του προϋπολογισμού για το κλίμα που διατίθενται για προσωρινή στήριξη των λειτουργικών εξόδων από το 2021. Με την αναδιάρθρωση μέρους των υφιστάμενων κονδυλίων για πιλοτικά έργα υδρογόνου στο πλαίσιο της DEI+ σε μια προσπάθεια μείωσης του κόστους για το πράσινο υδρογόνο, αναμένεται να διατεθούν περίπου 35 εκατομμύρια ευρώ ετησίως για επενδύσεις για τη διαδικασία ανάπτυξης. Αυτή η νέα κατανομή των υφιστάμενων κονδυλίων λειτουργεί συμπληρωματικά με τη DEI+, το πρόγραμμα HER+ (επιδότηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) και το SDE++ που περιγράφεται παρακάτω. Εξετάζονται οι δυνατότητες του πλαισίου κρατικών ενισχύσεων (π.χ. IPCEI - Important Projects of European Common Interest).
3. **Ανάπτυξη:** Το πρόγραμμα SDE++⁵¹ στηρίζει την παραγωγή υδρογόνου με ηλεκτρόλυση από τον Νοέμβριο του 2020. Η μέγιστη επιδότηση στο πλαίσιο του SDE++ ανέρχεται σε 300 €/αποφευγόμενο τόνο CO₂. Επιπλέον, επενδύσεις στον τομέα της δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ για την παραγωγή μπλε υδρογόνου είναι επιλέξιμες στην κατηγορία των έργων CCS.

Καθώς αναγνωρίζεται η αξία του υδρογόνου ως προϊόν φορέα ενέργειας, το συγκριτικό πλεονέκτημα της χώρας ως εμπορικού κόμβου με πόρους για την παραγωγή, διανομή και αποθήκευση υδρογόνου τονίζεται στην εθνική στρατηγική για το υδρογόνο, όπου το λιμάνι του Ρότερνταμ θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό ως διεθνής κόμβος εμπορίας ενέργειας. Οι Κάτω Χώρες είναι έντονα εξαρτημένες από τα ορυκτά καύσιμα και η κυβέρνηση τονίζει τη σημασία τόσο της ιεράρχησης για την ανάπτυξη υποδομών και την μεγάλης κλίμακας παραγωγή μπλε υδρογόνου μέχρι το 2030 όσο και της προετοιμασίας για την ανάπτυξη ανανεώσιμου υδρογόνου, τόσο εντός όσο και εκτός της χώρας. Τον Σεπτέμβριο του 2020, η Ολλανδία υπέγραψε συμφωνία συνεργασίας με την Πορτογαλία για την ανάπτυξη μιας στρατηγικής αλυσίδας αξίας εισαγωγών-εξαγωγών για το ανανεώσιμο υδρογόνο, όπου το πρώτο βήμα για τις δύο χώρες είναι να αναπτύξουν κοινή αίτηση στο πλαίσιο του IPCEI (Important Projects of Common European Interest).

⁵⁰ Αναφορά: <https://business.gov.nl/subsidy/renewable-energy-transition/>

⁵¹ Αναφορά: <https://english.rvo.nl/subsidies-programmes/sde>

Στον Πίνακα 0-3 παρουσιάζονται οι βασικοί στόχοι του ολλανδικού σχεδίου για το υδρογόνο.

Πίνακας 0-3 Βασικοί στόχοι του ολλανδικού σχεδίου για το υδρογόνο

Τομέας	Στόχος	2025	2030	2050
Παραγωγή	Ηλεκτρολυτική ισχύς (GW)	0.5	3-4	-
Μεταφορές	Επιβατικά και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα	15,000	300,000	-
	Βαρέα οχήματα	3,000	-	-
	Σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου	50	-	-
	Ανάμειξη βιώσιμων καυσίμων στα αεροπορικά καύσιμα (%)	-	14	100

ii. Γερμανία

Η ομοσπονδιακή κυβέρνηση της Γερμανίας ενέκρινε την «Εθνική Στρατηγική υδρογόνου» στις 10 Ιουνίου 2020. Η στρατηγική αυτή στοχεύει στην ενίσχυση της εγχώριας παραγωγής υδρογόνου και στη χρήση του κυρίως στους τομείς της βιομηχανίας και των μεταφορών, δίνοντας όμως προσοχή και στον τομέα της θέρμανσης.

Η Γερμανία εκτιμά την ανάγκη για περίπου 90-110 TWh ανανεώσιμοι υδρογόνου έως το 2030. Για να καλύψει μέρος αυτών των αναγκών, η Γερμανία σχεδιάζει να εγκαταστήσει μονάδες ηλεκτρόλυσης 5 GW, οι οποίες θα τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από χερσαία και υπεράκτια αιολικά ισοδύναμη με 20 TWh. Το υπόλοιπο και μεγαλύτερο μερίδιο των αναγκών υδρογόνου (περίπου 85%) προβλέπεται να εισαχθεί από παραγωγή σε άλλες χώρες.

Ένα ποσό περίπου 7 δισεκατομμυρίων ευρώ που προορίζεται για την επιτάχυνση της ανάπτυξης της τεχνολογίας πράσινου υδρογόνου στη Γερμανία και επιπλέον άλλα 2 δισεκατομμύρια ευρώ θα αξιοποιηθούν για την προώθηση διεθνών εταιρικών σχέσεων με άλλες χώρες.

Μεταξύ των διαφόρων αναγκών και στόχων που καθορίζονται, περιλαμβάνεται επίσης η έγχυση υδρογόνου στα δίκτυα μεταφοράς αερίου μέσω:

- › της ενίσχυσης των υποδομών μεταφοράς φυσικού αερίου, συμπεριλαμβανομένης της αναθεώρησης και ανάπτυξης του ρυθμιστικού πλαισίου και των τεχνικών απαιτήσεων για την υποδομή φυσικού αερίου, την εξέταση της συμβατότητας των υφιστάμενων υποδομών φυσικού

- αερίου, τις ανάγκες για αναβαθμισμένες υποδομές φυσικού αερίου ή/και την ανάπτυξη νέων ειδικών δικτύων υδρογόνου,
- της ανάπτυξης και διασφάλισης της υποδομής για την διασφάλιση της ποιότητας στην μεταφορά και αποθήκευση υδρογόνου, με την ανάπτυξη επιστημονικά αποδεκτών μεθόδων μέτρησης και κριτηρίων αξιολόγησης, καθώς και διεθνώς αποδεκτών τεχνικών προτύπων και προτύπων ασφάλειας,
 - ανοίγοντας το δρόμο για εισαγωγές και συνεργασία με άλλα Κράτη Μέλη της ΕΕ.

Η γερμανική κυβέρνηση έχει αναπτύξει ένα σχέδιο δράσης που απαριθμεί συνολικά 38 μέτρα που θα πραγματοποιηθούν κατά την πρώτη φάση της στρατηγικής, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης της αγοράς και της εύρυθμης λειτουργίας της εγχώριας αγοράς έως το 2023. Θέματα όπως η έρευνα και η ανάπτυξη και η διεθνής διάσταση καλύπτονται επίσης. Η επόμενη φάση, η οποία πρόκειται να ξεκινήσει το 2024, αφορά τη σταθεροποίηση της νεοεμφανιζόμενης εγχώριας αγοράς λαμβάνοντας υπόψη τις ευρωπαϊκές και διεθνείς διαστάσεις. Σημειώνεται ότι μια ασφαλής και αξιόπιστη παροχή υδρογόνου που βασίζεται στη ζήτηση, καθώς και η διαδικασία μακροπρόθεσμου μετασχηματισμού, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν μέσω της αξιοποίησης των δυνατοτήτων των υφιστάμενων υποδομών και της κατασκευής νέων υποδομών, εάν είναι απαραίτητο, δεδομένου ότι η έρευνα για τα ακόλουθα στοιχεία θα ξεκινήσει άμεσα:

1. τις δυνατότητες χρήσης υφιστάμενων υποδομών (υποδομή αποκλειστικά για υδρογόνο και τμήματα της υποδομής φυσικού αερίου που μπορούν να προσαρμοστούν και να τροποποιηθούν ώστε να καταστεί δυνατή η έγχυση υδρογόνου), καθώς και
2. τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης αγωγών για παροχή υδρογόνου.

Έχουν ήδη τεθεί σε εφαρμογή επενδυτικά σχέδια για τη δημιουργία και λειτουργία δικτύων αποκλειστικά για υδρογόνο στη βορειοδυτική Γερμανία από το 2023 και έπειτα, καθώς και ένα σχέδιο για την ανάπτυξη των πρατηρίων καυσίμων, με στόχο την εγκατάσταση 100 σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου μέχρι το τέλος του 2020. Σήμερα λειτουργούν 94 σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου στη Γερμανία⁵².

Οι προαναφερθείσες δράσεις απαιτούν την προετοιμασία και την ανάπτυξη της απαραίτητης ρυθμιστικής βάσης για την κατασκευή και επέκταση της υποδομής υδρογόνου που αναμένεται να είναι έτοιμη στο εγγύς μέλλον. Επιπλέον, θα καταβληθούν προσπάθειες για την καλύτερη σύνδεση των υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και φυσικού αερίου, λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες της υπάρχουσας υποδομής υδρογόνου και διασφαλίζοντας τη συμβατότητά της στο πλαίσιο της ΕΕ.

⁵² Πηγή: <https://h2.live/en/> (πρόσβαση 25/05/2022 – δεδομένα 2022)

Στον Πίνακα 2-4 παρουσιάζονται οι βασικοί στόχοι του γερμανικού σχεδίου για το υδρογόνο.

Πίνακας 0-4 Βασικοί στόχοι του γερμανικού σχεδίου για το υδρογόνο

Τομέας	Στόχος	2030	2040	2050
Παραγωγή	Ηλεκτρολυτική ισχύς (GW)	5	10	-
	Παραγωγή υδρογόνου (TWh)	14	-	-
	Ζήτηση υδρογόνου (TWh)	90-110	-	-
Βιομηχανία	Ζήτηση υδρογόνου για τον τομέα της χαλυβουργίας (TWh)	-	-	80
	Ζήτηση υδρογόνου για την παραγωγή αμμωνίας (TWh)	-	-	22

iii. Πορτογαλία

Η Πορτογαλία ήταν η πρώτη χώρα στον κόσμο που ανέλαβε τον στόχο να είναι ουδέτερη ως προς τον άνθρακα έως το 2050. Προς την επίτευξη αυτού του στόχου, ο τελευταίος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με στερεά ορυκτά καύσιμα (χωρίς να συμπεριλαμβάνεται το ΦΑ) έκλεισε εντός του 2021⁵³. Το υδρογόνο αναμένεται να διαδραματίσει πολύ σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια για την μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων.

Η εθνική στρατηγική της Πορτογαλίας⁵⁴ για το υδρογόνο εγκρίθηκε επίσημα από το Συμβούλιο Υπουργών στις 14 Αυγούστου 2020, κατόπιν δημόσιας διαβούλευσης. Το σχέδιο αποτελείται από τρεις φάσεις και βασίζεται στη στρατηγική της ΕΕ για το υδρογόνο: 1) Φάση 1 (2020-2023): θέσπιση ρυθμιστικού πλαισίου και πρώτα έργα, 2) Φάση 2 (2024-2030): ανάπτυξη έργων σε εθνικό επίπεδο και 3) Φάση 3 (2030-2050): πλήρης ανάπτυξη της εθνικής αγοράς υδρογόνου.

Η εθνική στρατηγική για το υδρογόνο έχει ως στόχο να κινητοποιήσει επενδύσεις ύψους 7 έως 9 δισεκατομμυρίων ευρώ έως το 2030, εκ των οποίων το 85% θα προέρχεται από τον ιδιωτικό τομέα, για την χρηματοδότηση λύσεων υδρογόνου. Σε αντίθεση με τις στρατηγικές της Γαλλίας και της Γερμανίας, οι οποίες περιγράφουν λεπτομερώς τα ποσά δημόσιας χρηματοδότησης για τη στήριξη του κλάδου, η Πορτογαλία παρέχει μια εκτίμηση των κινητοποιημένων επενδύσεων. Η στρατηγική περιγράφει μια σειρά στόχων για την ανάπτυξη του υδρογόνου μέχρι το 2030.

⁵³ Πηγή: <https://www.apren.pt/en/renewable-energies/production>

⁵⁴ Αναφορά: <https://www.europeanfiles.eu/energy/the-portuguese-hydrogen-strategy-to-decarbonise-its-economy-the-project-to-produce-green-hydrogen-by-electrolysis>

Μέχρι το 2030, το υδρογόνο θα πρέπει να ανέρχεται στο 5% του μείγματος της τελικής κατανάλωσης ενέργειας της χώρας, θα πρέπει να εγκατασταθούν 2 έως 2,5 GW ηλεκτρολυτών (μεταξύ των οποίων ενός έργου 1 GW στη βιομηχανική περιοχή Sines αξίας 1,5 δισεκατομμυρίων ευρώ) και θα πρέπει να επιτευχθεί αναλογία υδρογόνου 10% έως 15% στα δίκτυα φυσικού αερίου (μεταφοράς και διανομής). Στον τομέα των μεταφορών, το υδρογόνο θα πρέπει να αντιπροσωπεύει το 5% της κατανάλωσης καυσίμων στις οδικές μεταφορές και θα πρέπει να κατασκευαστούν 50 έως 100 σταθμοί ανεφοδιασμού. Τέλος, το υδρογόνο θα πρέπει να ανέρχεται στο 5% του μείγματος κατανάλωσης ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα.

Στον Πίνακα 2-5 παρουσιάζονται οι βασικοί στόχοι του πορτογαλικού σχεδίου για το υδρογόνο.

Πίνακας 0-5 Βασικοί στόχοι του πορτογαλικού σχεδίου για το υδρογόνο

Τομέας	Στόχος	2030
Παραγωγή	Ηλεκτρολυτική ισχύς (GW)	2-2.5
	Μερίδιο υδρογόνου στην κατανάλωση τελικής ενέργειας (%)	5
Διανομή	Ανάμειξη υδρογόνου στο δίκτυο φυσικού αερίου (%)	10-15
Μεταφορές	Μερίδιο υδρογόνου στα καύσιμα των οδικών μεταφορών (%)	5
	Μερίδιο υδρογόνου στα καύσιμα των εγχώριων θαλάσσιων μεταφορών (%)	3-5
	Σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου	50-100
Βιομηχανία	Μερίδιο υδρογόνου καθαρών εκπομπών στο ενεργειακό μείγμα (%)	5

iv. Γαλλία

Η Γαλλία ήταν μια από τις πρώτες χώρες που ανέπτυξε σχέδιο υδρογόνου το 2018⁵⁵. Η κρατική στήριξη του τομέα έχει υπάρξει σημαντική μέχρι στιγμής:

- › Το πρόγραμμα «Επενδύσεις για το Μέλλον» (Programme d'Investissements d'avenir - PIA) έχει διαθέσει περισσότερα από 100

⁵⁵ Αναφορά: <https://www.bdi.fr/wp-content/uploads/2020/03/PressKitProvisionalDraft-National-strategy-for-the-development-of-decarbonised-and-renewable-hydrogen-in-France.pdf>, και, <https://www.wfw.com/articles/the-french-hydrogen-strategy/#:~:text=The%20core%20objective%2C%20enacted%20into,and%20renewable%20hydrogen%20by%202030.&text=%22The%20first%20objective%20is%20to,%25%20by%2031%20December%202028.%22>

- εκατομμύρια ευρώ για τη στήριξη της ανάπτυξης πιλοτικών εφαρμογών και την απόκτηση μετοχών σε εταιρείες υψηλού δυναμικού.
- Ο Γαλλικός Εθνικός Οργανισμός Ερευνών (Agence nationale de la recherche - ANR) έχει υποστηρίξει τη δημόσια έρευνα επενδύοντας περισσότερα από 110 εκατομμύρια ευρώ τα τελευταία 10 χρόνια.
 - Η γαλλική τράπεζα δημοσίων επενδύσεων, Bpifrance, έχει υποστηρίξει πολλές νεοφυείς επιχειρήσεις και ΜΜΕ στα έργα τεχνολογικής καινοτομίας και ανάπτυξης.
 - Ο Γαλλικός Οργανισμός οικολογικής μετάβασης (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie - ADEME), υποστήριξε την ανάπτυξη της κινητικότητας με υδρογόνο παρέχοντας 80 εκατομμύρια ευρώ.
 - Το Banque des Territoires έλαβε επίσης θέση υποστηρίζοντας έργα των τοπικών και περιφερειακών αρχών.

Η ανάπτυξη τεχνολογιών υδρογόνου αποτελεί ευκαιρία για την επιτάχυνση της οικολογικής μετάβασης και τη δημιουργία ενός ειδικού βιομηχανικού τομέα, τόσο σε τοπικό/περιφερειακό επίπεδο όσο και σε ευρωπαϊκή κλίμακα.

Ως εκ τούτου, έχουν τεθεί τρεις (3) στόχοι στο πλαίσιο της γαλλικής στρατηγικής:

- Η εγκατάσταση παραγωγής 6,5 GW πράσινου υδρογόνου με τη χρήση ηλεκτρόλυσης, προκειμένου να συμβάλει σημαντικά στην απαλλαγή της οικονομίας από τις εκπομπές άνθρακα.
- Η ανάπτυξη βασικών τεχνολογιών και εξαρτημάτων, ιδίως μέσω πιλοτικών έργων για υδρογονοκίνητα λεωφορεία και πλοία ποταμών, καθώς και μέσω της ανάπτυξης ενός υδρογονοκίνητου αεροσκάφους που θα μπορούσε να τεθεί σε λειτουργία τη δεκαετία του 2030, προκειμένου να αναπτυχθεί καθαρή κινητικότητα. Αυτό θα πραγματοποιηθεί παράλληλα με μια μετάβαση των χερσαίων μεταφορών επιβατών και εμπορευμάτων σε τεχνολογίες υδρογόνου (ελαφρά και βαριά φορτηγά, λεωφορεία, υδρογονοκίνητα τρένα). Ο στόχος είναι να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ το 2030 περισσότερο από 6 mt, το οποίο ισοδυναμεί με τις ετήσιες εκπομπές CO₂ της πόλης του Παρισιού. Θα ενθαρρυνθεί επίσης η ανάπτυξη της χρήσης υδρογόνου σε τοπικό/περιφερειακό επίπεδο.
- Η στήριξη του βιομηχανικού τομέα με τη δημιουργία μεταξύ 50.000 και 150.000 άμεσων και έμμεσων «πράσινων» θέσεων εργασίας που διασφαλίζουν την γνώση της κρίσιμης τεχνολογίας.

Για να στηρίξει την ανάπτυξη υδρογόνου χαμηλών εκπομπών άνθρακα και ανανεώσιμου υδρογόνου, το γαλλικό κράτος θα επενδύσει 7 δισεκατομμύρια ευρώ έως το 2030, με 2 δισεκατομμύρια ευρώ να επενδύονται άμεσα στο πλαίσιο του κυβερνητικού σχεδίου ανάκαμψης για την αντιμετώπιση των οικονομικών επιπτώσεων της πανδημίας Covid-19. Η κυβέρνηση έχει θέσει ως προτεραιότητα τρεις παρεμβάσεις, οι οποίες αντιστοιχούν στις κύριες αγορές

υδρογόνου και επιτρέπουν την βιώσιμη και μακροπρόθεσμη ανάπτυξή τους, έτσι ώστε η στρατηγική αυτή να συμβάλει πλήρως στον στόχο της Γαλλίας απεξάρτησης από τον άνθρακα το 2050:

- Απεξάρτηση της βιομηχανίας από τον άνθρακα με την ανάπτυξη ενός γαλλικού τομέα ηλεκτρόλυσης,
- Ανάπτυξη της χρήσης πράσινου υδρογόνου για κινητικότητα βαρέων οχημάτων,
- Υποστήριξη της έρευνας, της καινοτομίας και της ανάπτυξης δεξιοτήτων για την προώθηση των μελλοντικών χρήσεων.

Σύμφωνα με το Multi-Annual Energy Plan (Programmation pluriannuelle de l'énergie - PPE) της κυβέρνησης, ο πρώτος στόχος είναι η επίτευξη εισαγωγής ποσοστού 10% πράσινου υδρογόνου για βιομηχανική χρήση έως τις 31 Δεκεμβρίου 2023 και στη συνέχεια μεταξύ 20-40% έως τις 31 Δεκεμβρίου 2028. Όσον αφορά τις εγκαταστάσεις power-to-gas, οι στόχοι είναι 1 έως 10 MW έως τις 31 Δεκεμβρίου 2023 και 10 έως 100 MW έως τις 31 Δεκεμβρίου 2028. Για τους σταθμούς φόρτισης και ανεφοδιασμού υδρογόνου, οι στόχοι είναι μάλλον περιορισμένοι: 100 σταθμοί φόρτισης μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 2023 και 400-1.000 μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 2028.

Όσον αφορά την έγχυση υδρογόνου στο δίκτυο δικτύου φυσικού αερίου, το δικαίωμα πρόσβασης των παραγωγών υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές και χαμηλές εκπομπές άνθρακα στο δίκτυο φυσικού αερίου θεσπίστηκε με τον νόμο 2019-1147 για την ενέργεια και το κλίμα της 8^{ης} Νοεμβρίου 2019 (Law no. 2019-1147 on Energy and Climate dated 8 November 2019). Ωστόσο, μέχρι σήμερα, δεν έχουν καθοριστεί οι όροι υπό τους οποίους ένα έργο υδρογόνου μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο. Πριν από τη δημοσίευσή τους, οι όροι αυτοί πρέπει να εγκριθούν από την Επιτροπή Κανονισμού Ενέργειας (CRE).

Σε αυτό το στάδιο, τα μόνα έργα που εισάγουν υδρογόνο στο δίκτυο φυσικού αερίου είναι πειραματικά (για παράδειγμα τα έργα GRHYD⁵⁶ και το έργο Jupiter 1000⁵⁷).

Παράλληλα, σε έκθεση που δημοσιεύθηκε τον Ιούλιο του 2020⁵⁸ αναφέρεται ότι οι Γάλλοι διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς φυσικού αερίου (GRTgaz και Tégéga) και εννέα ακόμα ευρωπαϊοί διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς φυσικού αερίου αποσκοπούν στη δημιουργία ειδικής υποδομής μεταφοράς υδρογόνου, μήκους 23.000 χιλιομέτρων έως το 2040. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της υποδομής, της Ευρωπαϊκής ραχοκοκαλιάς υδρογόνου (Hydrogen Backbone), θα αποτελείται από ανακατασκευασμένους αγωγούς φυσικού αερίου με την προσθήκη λίγων μόνο νέων αγωγών.

⁵⁶ Αναφορά: <https://grhyd.fr/presentation/>

⁵⁷ Αναφορά: <https://www.jupiter1000.eu/>

⁵⁸ Αναφορά: https://gasforclimate2050.eu/sdm_downloads/european-hydrogen-backbone/

Επιπλέον, παρέχονται κίνητρα που ευνοούν την ανάπτυξη υποδομών αποθήκευσης υδρογόνου. Συγκεκριμένα, προβλέπεται ότι οι κάτοχοι άδειας αποθήκευσης καυσίμων ή φυσικού αερίου θα απαλλάσσονται από την υποχρέωση έκδοσης άδειας εξόρυξης για την υπόγεια αποθήκευση υδρογόνου. Αυτό ισχύει υπό την προϋπόθεση ότι οι γεωλογικοί σχηματισμοί στους οποίους σχεδιάζεται η αποθήκευση υδρογόνου περιλαμβάνονται στην περίμετρο που καλύπτεται από τον υπάρχον τίτλο εξόρυξης.

Στον Πίνακα 0-6 παρουσιάζονται οι βασικοί στόχοι του γαλλικού σχεδίου για το υδρογόνο.

Πίνακας 0-6 Βασικοί στόχοι του γαλλικού σχεδίου για το υδρογόνο

Τομέας	Στόχος	2023	2028	2030
Παραγωγή	Ηλεκτρολυτική ισχύς (GW)	-	-	6.5
Μεταφορές	Επιβατικά και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα	5.000	20.000-50.000	-
	Βαρέα οχήματα	200	800-2.000	-
	Σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου	100	400-1.000	-
Βιομηχανία	Μερίδιο υδρογόνου καθαρών εκπομπών στο ενεργειακό μείγμα (%)	10	20-40	-

2.5 Το υδρογόνο στην πολιτική χωρών εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης

i. Ηνωμένο Βασίλειο

Η πρόσφατα (2021) δημοσιευμένη στρατηγική του Ηνωμένου Βασιλείου για το υδρογόνο έχει ως στόχο να σκιαγραφήσει τη φιλοδοξία της για την αύξηση της παραγωγής, αποθήκευσης και χρήσης υδρογόνου χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (μπλε υδρογόνου) αλλά και πράσινου υδρογόνου⁵⁹.

Επιπλέον, η κεντρική κυβέρνηση της χώρας συνεργάζεται με τις αποκεντρωμένες διοικήσεις για να στηρίξει την έρευνα και την ανάπτυξη τεχνολογιών υδρογόνου χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, ενώ υπάρχουν ήδη σε ολόκληρη την Ουαλία, τη Σκωτία και τη Βόρεια Ιρλανδία πρωτοποριακά έργα και εταιρείες παραγωγής υδρογόνου χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών. Οι αποκεντρωμένες διοικήσεις επεξεργάζονται

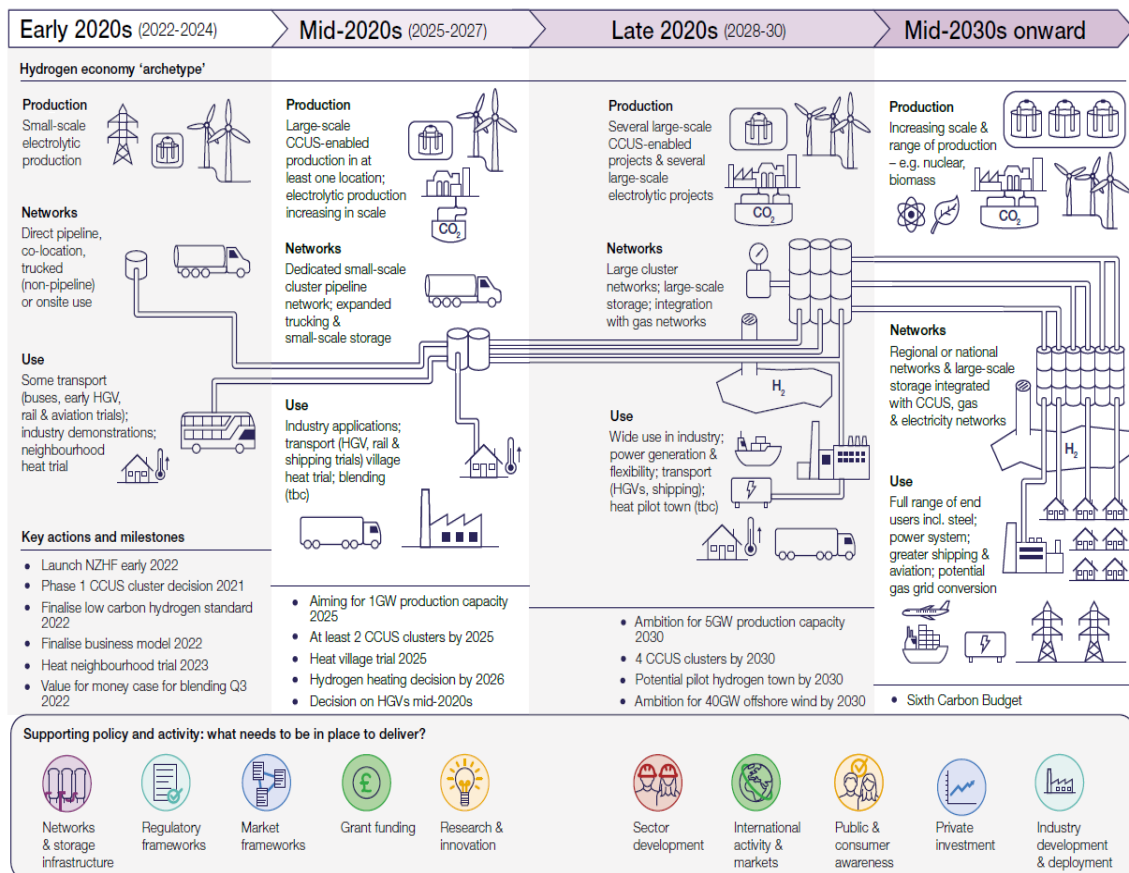
⁵⁹ Πηγή: <https://www.brownejacobson.com/training-and-resources/resources/legal-updates/2021/09/public-sector-the-uk-hydrogen-strategy>

επίσης τις στρατηγικές τους για την παραγωγή υδρογόνου χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (μπλε υδρογόνο).

Στο παραπάνω πλαίσιο, έχει καταστρωθεί οδικός χάρτης για την ανάπτυξη της οικονομίας υδρογόνου. Ο χάρτης αναπτύχθηκε σε συνεργασία με το γνωμοδοτικό συμβούλιο υδρογόνου για να σκιαγραφήσει τη στρατηγική της χώρας για το υδρογόνο χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έως το 2030 και μετά, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-6. Ενώ η κυβέρνηση εκτιμά ότι ο στόχος της για παραγωγή υδρογόνου χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έως το 2030 δεν είναι εύκολο έργο, θεωρεί ότι είναι εφικτό σε σύγκριση με την εξέλιξη των υπερράκιων αιολικών έργων και των έργων ηλιακής ενέργειας, την οποία το Ηνωμένο Βασίλειο μπόρεσε να επιτύχει μειώνοντας σημαντικά το κόστος με την πάροδο των ετών.

Ως εκ τούτου, η στρατηγική της χώρας είναι να υποστηρίξει τις τεχνολογίες ηλεκτρόλυσης και δέσμευσης, χρήσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCUS), ώστε να καλύψει τις μεταβαλλόμενες ανάγκες και μεθόδους παραγωγής. Αυτή η προσέγγιση έχει ως αποτέλεσμα να προωθείται σε μεσοπρόθεσμη βάση (2022-2027) και το μπλε υδρογόνο.

Σχήμα 0-6 Οδικός χάρτης για το υδρογόνο - Ηνωμένο Βασίλειο



Σύμφωνα με τον σχετικό οδικό χάρτη, στις αρχές της δεκαετίας του 2020 αναμένεται να υπάρξουν πιθανώς μικρά (έως 20 MW) έργα ηλεκτρόλυσης υδρογόνου, όπου η παραγωγή και η τελική χρήση θα είναι στενά συνδεδεμένες, και στα μέσα της δεκαετίας του 2020 θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν μεγαλύτερα (100 MW) έργα ηλεκτρόλυσης υδρογόνου και τις πρώτες εγκαταστάσεις παραγωγής υδρογόνου με δυνατότητα CCUS να βασίζονται σε βιομηχανικά συμπλέγματα σε εθνικό επίπεδο.

Από το 2030 και μετά, ο οδικός χάρτης της κυβέρνησης αναφέρει ότι ενδέχεται να δούμε μια νέα σειρά τεχνολογιών παραγωγής, συμπεριλαμβανομένου του υδρογόνου από πυρηνική ενέργεια, και του βιο-υδρογόνου με CCUS, που μπορούν να δημιουργήσουν αρνητικές εκπομπές και μια αγορά που θα μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικά την παραγωγή, την πώληση και την τελική χρήση υδρογόνου.

Προκειμένου να πραγματοποιήσει το άλμα για την εγκατάσταση 5GW έως το 2030, στην επίτευξη μηδενικών εκπομπών έως το 2050, η κυβέρνηση έχει καταστρώσει τη στρατηγική της ώστε:

- Να συνεχίσει να οδηγεί την έρευνα και την καινοτομία σχετικά με την παραγωγή και τη χρήση υδρογόνου χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και να μειώσει τους οικονομικο-κοινωνικούς και τεχνολογικούς φραγμούς, συμπεριλαμβάνοντας την έναρξη ενός διαγωνισμού προμήθειας υδρογόνου χαμηλών εκπομπών ύψους 60 εκατομμυρίων λιρών για τη δημιουργία νέων λύσεων για την προμήθεια υδρογόνου καθώς αναπτύσσεται η αγορά,
- Να συνεχίσει να αξιοποιεί το Carbon Capture and Storage Infrastructure Fund ύψους 1 δισεκατομμυρίου λιρών για την στήριξη και ανάπτυξη υποδομών CCUS,
- Να αναπτύξει ένα επιχειρηματικό μοντέλο υδρογόνου για την αύξηση των επενδύσεων μέσω έργων υδρογόνου χαμηλών εκπομπών, το οποίο θα στηρίξει τους παραγωγούς υδρογόνου με μακροπρόθεσμα έσοδα για να ξεπεράσουν τις προκλήσεις κόστους που αντιμετωπίζει η παραγωγή υδρογόνου χαμηλών εκπομπών (ιδίως λόγω των ανταγωνιστικών τιμών για φθηνότερα ορυκτά καύσιμα),
- Να παράσχει έως και 240 εκατομμύρια λίρες μέσω του Net Zero Hydrogen Fund (“NZHF”), το οποίο θα περιλαμβάνει κυβερνητικές επενδύσεις για τη στήριξη της παραγωγής υδρογόνου χαμηλών εκπομπών, ενόψει των στόχων της κυβέρνησης για εγκατάσταση 5GW έως το 2030, και
- Να διασφαλίσει ότι το παραγόμενο υδρογόνο είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και η κυβέρνηση να συνεχίσει να στηρίζει την παραγωγή υδρογόνου χαμηλών εκπομπών για να αποτρέψει τον κίνδυνο αντιστροφής της ενεργειακής προόδου χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Η στρατηγική του Ηνωμένου Βασιλείου για το υδρογόνο τονίζει τη σημασία για ανάπτυξη αποδοτικού, ασφαλούς και οικονομικά αποδοτικού υδρογόνου χαμηλών εκπομπών. Προκειμένου να επιτευχθούν τα ορόσημα του σχετικού οδικού χάρτη, η παρακολούθηση της προόδου θα παρακολουθείται μέσω της αξιολόγησης των δεδομένων και θα παραμένει ευέλικτη στην προσέγγισή της για την παραγωγή υδρογόνου χαμηλών εκπομπών καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία, η οικονομία και τα δεδομένα. Σημειώνεται ότι παράλληλα με τη διαδικασία αξιολόγησης της προόδου της εφαρμογής του οδικού χάρτη, τα σχετικά στοιχεία και δεδομένα (π.χ. παραγωγή υδρογόνου, αποφευχθείσες εκπομπές, διαθεσιμότητα τεχνολογιών, κτλ.) θα δημοσιοποιούνται με στόχο την ευαισθητοποίηση του κοινού.

ii. Ιαπωνία

Το 2017, η Ιαπωνία δημοσίευσε τη βασική της στρατηγική για το υδρογόνο, αποτελώντας χώρα-πρωτοπόρο στην υιοθέτηση εθνικού πλαισίου για το υδρογόνο⁶⁰. Η κυβέρνηση έχει επίσης εκδώσει διάφορα στρατηγικά έγγραφα που καλύπτουν τεχνολογικές και οικονομικές πτυχές, όπως ο στρατηγικός οδικός χάρτης για τις κυψέλες υδρογόνου και καυσίμου (2014, 2016, 2019) και η στρατηγική πράσινης ανάπτυξης.

Η Ιαπωνία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη της αγοράς υδρογόνου, παράγοντας τρία εκατομμύρια τόνους ετησίως έως το 2030 και σε 20 εκατομμύρια τόνους ετησίως έως το 2050⁶¹. Μέσω της ανάπτυξης της αγοράς, η χώρα επιδιώκει να μειώσει το κόστος του υδρογόνου στο ένα τρίτο περίπου του τρέχοντος επιπέδου, το οποίο σήμερα είναι στα 10\$/kg, μέχρι το 2030. Τον Μάρτιο του 2019, η ιαπωνική κυβέρνηση επικαιροποίησε τον στρατηγικό οδικό χάρτη για τις κυψέλες υδρογόνου (εγκρίθηκε αρχικά τον Ιούνιο του 2014 και αναθεωρήθηκε το 2016)⁶². Ο οδικός χάρτης παρουσίασε νέους στόχους σχετικά με τις προδιαγραφές των βασικών τεχνολογιών και τις κατανομές κόστους και καθόρισε τα μέτρα που απαιτούνται για την επίτευξη αυτών των στόχων. Για παράδειγμα, οι στόχοι στον τομέα των μεταφορών περιλάμβαναν 200,000 FCVs μέχρι το 2025 και 800,000 μέχρι το 2030, καθώς και 320 πρατήρια καυσίμων-υδρογόνου μέχρι το 2025 και 900 μέχρι το 2030⁶³.

Η ανάπτυξη της εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου αποτελεί βασική προτεραιότητα και τόσο η κυβέρνηση όσο και οι ιδιωτικές εταιρείες αναλαμβάνουν διάφορα έργα, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης των θαλάσσιων μεταφορών. Η Kawasaki Heavy Industries Ltd εγκαινίασε το πρώτο σκάφος υγροποιημένου υδρογόνου στον κόσμο το 2019 και υλοποίησε τον πρώτο σταθμό λήψης υγροποιημένου υδρογόνου στον κόσμο στην Ιαπωνία το 2020. Ενώ η Ιαπωνία επικεντρώνεται επί του παρόντος στις εφοδιαστικές

⁶⁰ Πηγή: <https://www.csis.org/analysis/japans-hydrogen-industrial-strategy>

⁶¹ Πηγή: [Summary of Japan's Hydrogen Strategy](#)

⁶² Πηγή: https://www.meti.go.jp/english/press/2019/0918_001.html

⁶³ Πηγή: https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka_saisei/lowcarbon-h2-sc/PDF/Summary_of_Japan's_Hydrogen_Strategy.pdf

αλυσίδες υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα (γκρι και μπλε υδρογόνο), η χώρα σχεδιάζει επίσης να δημιουργήσει την τεχνολογική βάση για την παραγωγή υδρογόνου από εγχώριες ανανεώσιμες πηγές μέχρι το 2030 (πράσινο υδρογόνο).

Η επικαιροποιημένη στρατηγική πράσινης ανάπτυξης⁶⁴ (Ιούνιος 2021) περιγράφει το μελλοντικό δυναμικό της αγοράς για τεχνολογίες και προϊόντα υδρογόνου σε βασικούς τομείς, προσδιορίζει τα εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν (κυρίως τεχνικά, αλλά και ορισμένα κανονιστικά)· παρέχει χρονοδιαγράμματα και αριθμητικούς στόχους, όπως υποδομή (π.χ. σταθμούς ανεφοδιασμού) και προϊόντα τελικής χρήσης (π.χ. αυτοκίνητα και οικιακές κυψέλες καυσίμου), καθώς και την ποσότητα υδρογόνου που χρησιμοποιείται (π.χ. χαλυβουργία).

iii. Μαρόκο

Το 2019 δημιουργήθηκε Εθνική Επιτροπή Υδρογόνου, με κεντρική αρμοδιότητα την καθοδήγηση και παρακολούθηση της εφαρμογής μελετών στον τομέα του υδρογόνου, καθώς και την παρακολούθηση της εφαρμογής του οδικού χάρτη για την παραγωγή υδρογόνου και των παραγώγων του με βάση τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τον Αύγουστο του 2021, δημοσιεύματα ανέφεραν ότι το Υπουργείο Ενέργειας, Ορυχείων και Περιβάλλοντος υιοθέτησε στρατηγική για την ανάπτυξη του υδρογόνου, μετά τις συστάσεις μιας μελέτης κατά την οποία το Μαρόκο μπορεί να καλύψει έως και το 4% της παγκόσμιας ζήτησης⁶⁵.

Βασικός στόχος της στρατηγικής είναι η δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για την εξαγωγή υδρογόνου και των παραγώγων του, με προτεραιότητα στις εξαγωγές του προς την Ευρώπη. Σημειώνεται ακόμη ότι και η Στρατηγική για το Υδρογόνο της ΕΕ αναφέρει το Μαρόκο ως μια βασική γειτονική χώρα που μπορεί να εξάγει υδρογόνο στην ΕΕ.

Η εθνική στρατηγική βασίζεται σε τρεις άξονες:

- Τεχνολογική ανάπτυξη: μείωση του κόστους σε όλη την αλυσίδα αξίας του τομέα του πράσινου υδρογόνου και των παραγώγων του,
- Επενδύσεις και προσφορά: δημιουργία εθνικού βιομηχανικού συμπλέγματος αφιερωμένου στην ανάπτυξη τεχνολογιών υδρογόνου, καθώς και στην ανάπτυξη γενικού σχεδίου για τις αντίστοιχες υποδομές,
- Αγορές και ζήτηση: η υλοποίηση ευκαιριών ζήτησης, με τη δημιουργία νέων αγορών.

Η στρατηγική περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός εθνικού σχεδίου αποθήκευσης, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να ενισχύσει τη χρήση του υδρογόνου και των παραγώγων του ως πηγή ενέργειας. Η στρατηγική περιλαμβάνει επίσης τη δημιουργία ενός κόμβου έρευνας και ανάπτυξης, με στόχο την ενίσχυση των δραστηριοτήτων έρευνας και ανάπτυξης και μια σειρά πιλοτικών σχεδίων για την ενίσχυση της θέσης της χώρας ως προς τις νέες τεχνολογίες. Η στρατηγική

⁶⁴ Αναφορά: https://www.meti.go.jp/english/press/2021/0618_002.html

⁶⁵ Πηγή: <https://research.csiro.au/hyresource/policy/international/morocco/>

δείχνει ότι απαιτούνται διεθνείς εταιρικές σχέσεις για την κινητοποίηση της απαραίτητης χρηματοδότησης για δραστηριότητες ανάπτυξης και παραγωγής υδρογόνου.

iv. Αυστραλία

Η Εθνική Στρατηγική υδρογόνου της Αυστραλίας⁶⁶ που δημοσιεύτηκε το 2019, επικεντρώνεται σε περίπου επτά τομείς: τον εθνικό συντονισμό, την ανάπτυξη της παραγωγικής ικανότητας, την προσαρμοστικότητα, τη διεθνή συμμετοχή, την καινοτομία, τις δεξιότητες και το εργατικό δυναμικό και την εμπιστοσύνη της κοινότητας. Συνολικά, η εθνική στρατηγική για το υδρογόνο περιλαμβάνει δύο φάσεις:

- Η πρώτη φάση, η οποία διαρκεί έως το 2025, επικεντρώνεται στην ανάπτυξη των αλυσίδων εφοδιασμού υδρογόνου και της ανταγωνιστικότητας για να υποστηρίξει την ανάπτυξη της βιομηχανίας καθώς αυξάνεται η ζήτηση.
- Η δεύτερη φάση, περιέχει λιγότερο συγκεκριμένες δράσεις και είναι πιο φιλόδοξη. Η κυβέρνηση προωθεί την ανάπτυξη της χρήσης υδρογόνου σε μια σειρά εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της ανάμειξης σε υπάρχοντα δίκτυα αερίου. Ωστόσο, αυτό πιθανότατα θα εξαρτηθεί από την τεχνολογική πρόοδο, τις επιδόσεις των πιλοτικών έργων και της ζήτησης στην αγορά.

Στο πλαίσιο της πρώτης φάσης, η κυβέρνηση έχει παράσχει χρηματοδότηση σε 72 έργα υδρογόνου. Πολλά από αυτά τα έργα έχουν σχεδιαστεί είτε για να αποτελέσουν τη βάση ενός περιφερειακού κόμβου είτε βρίσκονται κοντά σε υπάρχουσες υποδομές ή πηγές ζήτησης. Η κυβέρνηση έχει επίσης πραγματοποιήσει μια σειρά επενδύσεων στην έρευνα, το σχεδιασμό και την ανάπτυξη για το υδρογόνο τα τελευταία χρόνια επιδιώκοντας να επιτύχει τιμή για το H₂ κάτω από το στόχο των 2\$/kg.

Τον Ιανουάριο του 2020, μόλις δύο μήνες μετά την δημοσίευση της Εθνικής Στρατηγικής για το Υδρογόνο, η Αυστραλία και η Ιαπωνία εξέδωσαν κοινή δήλωση σχετικά με τη συνεργασία για το υδρογόνο και τις κυψέλες καυσίμου⁶⁷. Οι δύο χώρες συμμετέχουν σε τακτικό διάλογο για την ενέργεια. Κοινή βάση σε αυτό το διάλογο αποτελεί το έργο της Εφοδιαστικής Αλυσίδας Υδρογόνου, το οποίο θα παράγει υδρογόνο από κάρβουνο στην Αυστραλία και θα αποθηκεύει υπόγεια το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα.

v. Νότια Αφρική

Η βραχυπρόθεσμη στρατηγική της κυβέρνησης συνίσταται στη δημιουργία εγχώριας ζήτησης για πράσινο υδρογόνο, καθώς και για προϊόντα που

⁶⁶ Αναφορά: <https://www.industry.gov.au/data-and-publications/australias-national-hydrogen-strategy#:~:text=Australia's%20National%20Hydrogen%20Strategy%20sets,major%20global%20player%20by%202030.>

⁶⁷ Αναφορά: <https://www.meti.go.jp/press/2019/01/20200110007/20200110007-3.pdf>

σχετίζονται με το υδρογόνο⁶⁸. Ο οδικός χάρτης για το υδρογόνο (Hydrogen Society Roadmap - HSRM)⁶⁹ έχει εντοπίσει τέσσερα έργα που παρουσιάζουν καταλυτικό ρόλο για την ανάπτυξη της χρήσης υδρογόνου σε όλους τους τομείς της οικονομίας και στις εξαγωγές:

- ▶ Το Platinum Valley Initiative (PVI) επικεντρώνεται στη δημιουργία ενός «διαδρόμου υδρογόνου» που θα συνδέει την εξόρυξη στο Limpopo, τον βιομηχανικό κόμβο στο Γιοχάνεσμπουργκ, με το λιμάνι του Durban. Έτσι θα διευκολυνθεί η μετατροπή των φορτηγών από πετρελαιοκίνητα σε φορτηγά κυσέλων καυσίμου, γεγονός που θα αυξήσει τη ζήτηση υδρογόνου στην περιοχή στο 80% έως το 2030.
- ▶ Το έργο COALCO2-X έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιεί πράσινο υδρογόνο και ρύπους από τους λέβητες άνθρακα για την παραγωγή προϊόντων μεγαλύτερης προστιθέμενης αξίας, όπως πράσινη αμμωνία, λιπάσματα και συνθετικό οξύ, αυξάνοντας έτσι την εγχώρια ζήτηση για πράσινο υδρογόνο.
- ▶ Το έργο Sustainable Aviation Fuels (SAF)⁷⁰ θα παρέχει εναλλακτικά καύσιμα (συνθετική κηροζίνη) χαμηλών εκπομπών για την απαλλαγή του τομέα των αερομεταφορών από τις ανθρακούχες εκπομπές. Η κυβέρνηση ενέκρινε μελέτη σκοπιμότητας τον Απρίλιο του 2021 για τον καθορισμό της δυνατότητας αναβάθμισης της παραγωγής SAF, με στόχο τη δημιουργία 55.000 θέσεων εργασίας στον αγροτικό τομέα για την παραγωγή βιομάζας, προσθέτοντας παράλληλα 2 δισεκατομμύρια ZAR στο ΑΕΠ της χώρας κάθε χρόνο. Για την παραγωγή της συνθετικής κηροζίνης, ο άνθρακας από τη βιομάζα θα δεσμεύεται και θα συνδυάζεται με πράσινο υδρογόνο, παραγόμενο από ηλεκτρόλυση με ΑΠΕ, για τη δημιουργία των εναλλακτικών αεροπορικών καυσίμων χαμηλών εκπομπών.
- ▶ Ο κόμβος Boegoebaai είναι μια τεράστια βιομηχανική ζώνη που θα φιλοξενήσει επτά βασικές εγκαταστάσεις, συμπεριλαμβανομένου ενός πάρκου ηλεκτρολυτών, μονάδα παραγωγής πράσινης αμμωνίας, μονάδα αφαλάτωσης, εγκατάσταση αποθήκευσης, ηλιακό πάρκο, αιολικό πάρκο και συσσωρευτές. Το έργο αναμένεται να δημιουργήσει 6.000 άμεσες θέσεις εργασίας και θα επιτρέψει στη Νότια Αφρική να γίνει μαζικός εξαγωγέας πράσινου υδρογόνου.

Πληθώρα χρηματοδοτικών προγραμμάτων είναι διαθέσιμα για την υποστήριξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου του υδρογόνου, όπως το πράσινο ταμείο 800 εκατομμυρίων ZAR που συστάθηκε υπό του Τμήματος Περιβαλλοντικών Υποθέσεων για την υποστήριξη πράσινων πρωτοβουλιών. Η κυβέρνηση της Νότιας Αφρικής βασίζεται επίσης σε συμπράξεις δημόσιου και ιδιωτικού τομέα.

⁶⁸ Πηγή: <https://www.csis.org/analysis/south-africas-hydrogen-strategy#:~:text=South%20Africa%20aims%20to%20deploy,2030%20and%2030%2C000%20by%202040>.

⁶⁹ Αναφορά: https://www.dst.gov.za/images/South_African_Hydrogen_Society_RoadmapV1.pdf

⁷⁰ Αναφορά: [Policy support options for promoting Sustainable Aviation Fuels \(SAF\) in South Africa](https://www.dst.gov.za/images/South_African_Hydrogen_Society_RoadmapV1.pdf)

Η κυβέρνηση βασίζεται επίσης σε διεθνείς συνεργασίες και ξένες επενδύσεις για να ξεκινήσει την παραγωγή υδρογόνου. Αυτή τη στιγμή αναπτύσσει την πρώτη στρατηγική εθνικών επενδύσεων (Country Investment Strategy - CIS), με στόχο την προσέλκυση περισσότερων ξένων και εγχώριων επενδύσεων.

Η Νότια Αφρική φιλοδοξεί να καταστεί βασικός εξαγωγέας πράσινου υδρογόνου και εξετάζει τις δυνατότητες εξαγωγής στην ασιατική αγορά, ιδίως στην Ιαπωνία. Τον περασμένο Οκτώβριο, ο Πρόεδρος Cyril Ramaphosa ανακοίνωσε Οικονομική Ζώνη Εξαγωγής Πράσινου Υδρογόνου κοντά στο λιμάνι Boegoebaai, το οποίο θα χρησιμεύσει ως μελλοντικός κόμβος εξαγωγών. Η χώρα στοχεύει επίσης στην ευρωπαϊκή αναδυόμενη αγορά και υπέγραψε πρόσφατα μνημόνιο συμφωνίας με το λιμάνι του Ρότερνταμ (Port of Rotterdam - PoR), με το PoR να ενεργεί ως «φορέας συγκεντρωτικής ζήτησης για πράσινο υδρογόνο στην Ευρώπη».

vi. Χιλή

Η Χιλή έχει αναγνωριστεί ως παγκόσμια δύναμη όσον αφορά την παραγωγή πράσινου υδρογόνου, κυρίως λόγω του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος της χαμηλού κόστους παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, καθώς και λόγω της μικρής της περιοχής, η οποία διευκολύνει και μειώνει το κόστος όσον αφορά τις υποδομές και τη μεταφορά ενέργειας από την πηγή.

Με αυτό κατά νου, το Υπουργείο Ενέργειας δημοσίευσε την Εθνική Πράσινη Στρατηγική υδρογόνου⁷¹ τον Νοέμβριο του 2020, με κύριο στόχο την προώθηση της μετάβασης προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών, μετατρέποντας τη Χιλή σε πρωτοπόρο στην αγορά παραγωγής και εξαγωγής πράσινου υδρογόνου.

Κατά συνέπεια, η στρατηγική προβλέπει τρία στάδια:

- Στάδιο I: ενεργοποίηση της εγχώριας βιομηχανίας και ανάπτυξη των εξαγωγών,
- Στάδια II και III: ανάπτυξη της παραγωγής, ενσωμάτωση στις διεθνείς αγορές, κυρίως με βάση την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και τη χρήση πράσινης αμμωνίας (αμμωνία που παράγεται από πράσινες πηγών υδρογόνου) σε βιομηχανίες όπως οι θαλάσσιες μεταφορές, η αερομεταφορές και η αποθήκευση ενέργειας.

Για να επιτευχθεί αυτό, η κυβέρνηση της Χιλής, μέσω των υπουργείων της, κυρίως των υπουργείων Ενέργειας, Ορυχείων και Μεταφορών, έχει καθορίσει έναν οδικό χάρτη, στον οποίο εξετάζεται η θέσπιση μιας σειράς κανονισμών:

- i) ο γενικός κανονισμός για τις εγκαταστάσεις υδρογόνου,
- ii) ο κανονισμός για τα πρατήρια πολλαπλών καυσίμων,
- iii) οι τεχνικές απαιτήσεις, οι κατασκευαστικές απαιτήσεις και οι απαιτήσεις ασφάλειας για τα οχήματα υδρογόνου, και
- iv) ο κανονισμός για εξορυκτικές δραστηριότητες των συστημάτων υδρογόνου.

⁷¹ Αναφορά: https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf

vii. Σαουδική Αραβία

Το ενδιαφέρον της Σαουδικής Αραβίας για το υδρογόνο οδηγείται κυρίως από την επιθυμία της να εξασφαλίσει την οικονομική της ασφάλεια, μέσω της διαφοροποίησης των εξαγωγών της και της ανάπτυξης νέων βιομηχανικών τομέων. Η παραγωγή υδρογόνου θα επιτρέψει στη Σαουδική Αραβία να είναι λιγότερο εξαρτημένη από τις εξαγωγές του εγχώριου πετρελαίου ως βασική πηγή εισοδήματος.

Σύμφωνα με τις γενικές κατευθύνσεις που δίνει η στρατηγική Vision 2030⁷², η παραγωγή υδρογόνου μπορεί να βασιστεί στην υπάρχουσα τεχνογνωσία και τις αλυσίδες εφοδιασμού του πετρελαίου, καθώς και την εμπειρία στην παραγωγή υδρογόνου και χημικών σε βιομηχανική κλίμακα. Η υπάρχουσα τεχνογνωσία μπορεί να βοηθήσει στην υποστήριξη του οράματος της Σαουδικής Αραβίας για εμπορικά βιώσιμη παραγωγή και εξαγωγή υδρογόνου, το οποίο θα παράγεται από υδρογονάνθρακες με τη δέσμευση, τη χρήση και την αποθήκευση άνθρακα (CCUS) των εκπομπών («μπλε υδρογόνο»).

Επιπλέον, το υδρογόνο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας («πράσινο υδρογόνο») θα μπορούσε να σημαίνει έναν νέο βιομηχανικό τομέα για τη Σαουδική Αραβία, μεγάλο μέρος της οποίας είναι επίπεδο και έχει μεγάλο ηλιακό δυναμικό, κατάλληλο για παραγωγή ανανεώσιμου ηλεκτρισμού με χαμηλό κόστος (LCOE). Το βασίλειο έχει ανακοινώσει σχέδια για την εγκατάσταση περίπου 27 GW ηλιακής κυρίως ισχύος έως το 2023 και σχεδόν 58 GW έως το 2030.

Ο οδικός χάρτης της Σαουδικής Αραβίας για το υδρογόνο είναι σε στάδιο ανάπτυξης⁷³, χωρίς να είναι ακόμα γνωστοί οι ακριβείς στόχοι, τα χρονοδιαγράμματα και οι πολιτικές για την ανάπτυξη του υδρογόνου. Παρ' όλα αυτά, η στρατηγική του Βασιλείου για το υδρογόνο θα είναι στενά συνδεδεμένη με τη στρατηγική για ανάπτυξη CCUS⁷⁴.

Σχετικές ανακοινώσεις στο τέλος του 2021, αναφέρουν ότι το Βασίλειο της Σαουδικής Αραβίας στοχεύει να γίνει σημαντικός προμηθευτής υδρογόνου, παράγοντας και εξάγοντας 4 εκατομμύρια τόνους υδρογόνου στις γειτονικές χώρες μέχρι το 2030⁷⁵.

Τον Σεπτέμβριο του 2020 η κρατική εταιρία πετρελαίου Saudi Aramco μετέφερε 40 τόνους μπλε αμμωνία από τη Σαουδική Αραβία στην Ιαπωνία⁷⁶, θεσπίζοντας την πρώτη εφοδιαστική αλυσίδα μπλε αμμωνίας και επιβεβαιώνοντας παράλληλα ότι υπάρχουσες τεχνολογικές λύσεις (η εξόρυξη, η επεξεργασία και η μετατροπή του φυσικού αερίου σε υδρογόνο και αμμωνία) είναι σε θέση να παρέχουν οικονομικά αποδοτικές λύσεις για χαμηλότερες εκπομπές. Παράλληλα, στην πόλη της Νίομ κατασκευάζεται μια μονάδα παραγωγής

⁷² Αναφορά: <https://www.vision2030.gov.sa/thekingdom/explore/energy/>

⁷³ Αναφορά: https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Working_Paper_-_National_Hydrogen_Strategies_-_September_2021.pdf

⁷⁴ Αναφορά: [OGCI, CCUS IN SAUDI ARABIA The value and opportunities for deployment, March 2021](https://www.ogci.org/press-releases/ogci-ccus-in-saudi-arabia-the-value-and-opportunities-for-deployment-march-2021)

⁷⁵ Πηγή: <https://www.reuters.com/business/energy/saudi-arabia-wants-be-top-supplier-hydrogen-energy-minister-2021-10-24/>

⁷⁶ Πηγή: <https://www.csis.org/analysis/saudi-arabias-hydrogen-industrial-strategy>

πράσινου υδρογόνου η οποία θα βασίζεται σε 4 GW εγκατεστημένη ισχύ ΑΠΕ, και όταν μπει σε λειτουργία το 2026 θα παράγει 650 τόνους πράσινου υδρογόνου ημερησίως αλλά και 1.2 εκατομμύρια τόνους πράσινης αμμωνίας τον χρόνο⁷⁷.

Σχετικά με την κατανάλωση υδρογόνου, διερευνάται η χρήση στον τομέα των μεταφορών. Ο πρώτος σταθμός ανεφοδιασμού με υδρογόνο κατασκευάστηκε στο Βασίλειο το 2019 και έκτοτε δοκιμάζεται η χρήση αυτοκινήτων και λεωφορείων που χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως καύσιμο. Επιπλέον, διερευνάται το ενδεχόμενο της μεταφοράς στη Σαουδική Αραβία γραμμών παραγωγής οχημάτων υδρογόνου από χώρες όπως η Αμερική και η Γαλλία.

2.6 Συνοπτική παρουσίαση του Εθνικού Σχεδίου Ενέργειας και Κλίματος της Κύπρου

Το ΕΣΕΚ της Κύπρου⁷⁸ παρουσιάζει συνοπτικά την υφιστάμενη δομή του τομέα της ενέργειας, τις πολιτικές που έχουν εφαρμοστεί μέχρι σήμερα, το σενάριο εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος για την επίτευξη των εθνικών στόχων για την ενέργεια και το κλίμα μέχρι το έτος 2030, καθώς και τις προγραμματισμένες πολιτικές και μέτρα για την επίτευξή τους.

Ειδικότερα για το έτος 2030, καθορίζονται οι ακόλουθοι στόχοι:

1. Μείωση 24% των συνολικών εκπομπών ΑτΘ και 21% των εκπομπών ΑτΘ εκτός ΣΕΔΕ συγκριτικά με το 2005.
2. Διασφάλιση ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση γης, την αλλαγή χρήσης γης και τη δασοπονία αντισταθμίζονται με τουλάχιστον ισοδύναμη αφαίρεση CO² από την ατμόσφαιρα.
3. Διείσδυση 23% ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση τελικής ενέργειας για το έτος 2030. Όσον αφορά τους τρεις ενδεικτικούς επιμέρους στόχους για την προώθηση ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καθορίστηκε τουλάχιστον έως 26%, θέρμανση και ψύξη έως 39% και μεταφορές έως 14%, μέχρι το 2030.
4. Εθνικοί ενδεικτικοί στόχοι που έχουν τεθεί για την ενεργειακή απόδοση:
 - i. κατανάλωση τελικής ενέργειας 2.0 Mtoe το 2030,
 - ii. κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας 2.4 Mtoe το 2030,
 - iii. επίτευξη σωρευτικής εξοικονόμησης ενέργειας στην τελική χρήση 243 ktoe κατά την περίοδο 2021-2030.

Οι στόχοι αυτοί αναμένεται να επιτευχθούν στο πλαίσιο του ενεργειακού σχεδιασμού.

Σύμφωνα με τις προβλέψεις εκπομπών ΑτΘ για την περίοδο 2021-2030, από τα δυο σενάρια που διερευνήθηκαν στο ΕΣΕΚ, το Σενάριο με τα Υφιστάμενα

⁷⁷ Πηγή: <https://acwapower.com/en/projects/neom-green-hydrogen-project/>

⁷⁸ Σημειώνεται ότι το ΕΣΕΚ της Κύπρου είναι επί του παρόντος υπό αναθεώρηση

Μέτρα (ΣΥΜ) και το Σενάριο με τα Πρόσθετα Μέτρα (ΣΠΜ), το σενάριο ΣΠΜ φαίνεται να επαρκεί για την ικανοποίηση των στόχων.

Οι πολιτικές για τη μείωση των εκπομπών από συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας θα συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου την προσεχή περίοδο. Το σημαντικότερο μέτρο πολιτικής που αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αφορά την εισαγωγή και τη χρήση του φυσικού αερίου για την παραγωγή της.

Η Κύπρος είναι ένα μικρό απομονωμένο ενεργειακό σύστημα, με υψηλή εξάρτηση από τα πετρελαϊκά προϊόντα για τις ενεργειακές ανάγκες της. Περισσότερο από το 90% της εσωτερικής κατανάλωσης ενέργειας της Κύπρου προέρχεται από πετρελαϊκά προϊόντα και το υπόλοιπο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σύμφωνα με το ΕΣΕΚ, η έλευση φυσικού αερίου μέσω εισαγωγών ΥΦΑ, η ανάπτυξη των απαραίτητων υποδομών για την εισαγωγή φυσικού αερίου στην Κύπρο έως τις αρχές του 2022 (μέσω του έργου κοινού ενδιαφέροντος “CyprusGas2EU”) καθώς και τα δύο άλλα σχεδιαζόμενα έργα κοινού ενδιαφέροντος, το EuroAsia Interconnector και ο αγωγός EastMed, θα τερματίσουν την υφιστάμενη ενεργειακή απομόνωση και θα συμβάλουν στην ασφάλεια του εφοδιασμού και στη διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών της Κύπρου.

Η εισαγωγή ΥΦΑ θα λειτουργεί ως ο μοναδικός τρόπος εφοδιασμού με εισαγόμενο φυσικό αέριο έως ότου καταστούν διαθέσιμες οι εγχώριες πηγές φυσικού αερίου στην αγορά της Κύπρου.

Όσον αφορά στα γηγενή κοιτάσματα υδρογονανθράκων στα ανοικτά της Κύπρου, ο αδειούχος του κοιτάσματος φυσικού αερίου Αφροδίτη και η Κυπριακή Δημοκρατία ολοκλήρωσαν τις συζητήσεις για το Σχέδιο Ανάπτυξης και Παραγωγής του Αφροδίτη (AFDPP), το οποίο εγκρίθηκε. Ως αποτέλεσμα, τον Νοέμβριο του 2019 εκδόθηκε άδεια εκμετάλλευσης για την παραγωγή του κοιτάσματος Αφροδίτη. Σύμφωνα με το AFDPP, η παραγωγή φυσικού αερίου αναμένεται να ξεκινήσει το 2025. Το φυσικό αέριο της Αφροδίτης θα μεταφέρεται στην Αίγυπτο μέσω υποθαλάσσιου αγωγού, κυρίως στον τερματικό σταθμό ΥΦΑ Idku για υγροποίηση και επανεξαγωγή, καθώς και για την εγχώρια αγορά.

Το Φεβρουάριο του 2018, η κοινοπραξία Eni/Total ολοκλήρωσε την πρώτη ερευνητική γεώτρηση “Calypso 1” στο Τεμάχιο 6, η οποία κατέληξε σε ανακάλυψη αερίου. Επιπλέον, το Φεβρουάριο του 2019, η κοινοπραξία ExxonMobil/Qatar Petroleum ανακάλυψε ταμειυτήρα αερίου στη γεώτρηση Glaucus-1 στο Τεμάχιο 10. Τέλος, οι δραστηριότητες έρευνας υδρογονανθράκων στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη της Κύπρου βρίσκονται σε εξέλιξη και σχεδιάζεται αριθμός ερευνητικών και επιβεβαιωτικών γεωτρήσεων για την επόμενη διετία, με στόχο την ανακάλυψη περισσότερων υδρογονανθράκων και την επιβεβαίωση των ανακαλύψεων.

Η προοπτική της ανάπτυξης του τομέα του Φυσικού Αερίου στην Κύπρο, προσφέρει και προοπτική για την ανάπτυξη του τομέα του μπλε υδρογόνου ως προπομπού για την μετάβαση στην οικονομία του πράσινου υδρογόνου. Μπλε

είναι το υδρογόνο που έχει παραχθεί από ορυκτά καύσιμα (γκρι υδρογόνο) αλλά εν συνεχεία οι σχετιζόμενες με την παραγωγή του εκπομπές CO₂ έχουν κρατηθεί και αποθηκευτεί μέσω κατάλληλων τεχνολογιών CCUS. Παρόλα αυτά, τουλάχιστον με βάση τα έως σήμερα διαθέσιμα δεδομένα δεν φαίνεται να υπάρχουν χώροι αποθήκευσης φυσικού αερίου ούτε κατάλληλες γεωλογικές διαμορφώσεις που θα μπορούσαν αποτελέσουν κατάλληλους χώρους αποθήκευσης φυσικού αερίου ή υδρογόνου στην Κύπρο⁷⁹.

Ήδη από το 2009, το υδρογόνο έχει αναγνωριστεί από το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου για τα πλεονεκτήματά του σε όλους τους τομείς, όσον αφορά τη μείωση της εξάρτησης από το εισαγόμενο πετρέλαιο, τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, τη βελτίωση της τοπικής ποιότητας του αέρα και του περιβάλλοντος γενικότερα⁸⁰.

Παρόλα αυτά, με βάση το ισχύον ΕΣΕΚ, η Κύπρος δεν εξετάζει την εισαγωγή του υδρογόνου στο ενεργειακό της μείγμα για την περίοδο 2021-2030. Όντας πλεονασματική η Κύπρος σε ηλεκτρισμό από ΑΠΕ, σύμφωνα με το ΕΣΕΚ, ο πιο βιώσιμος δρόμος για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου θα ήταν η αξιοποίηση του ηλιακού δυναμικού του νησιού, το οποίο είναι αρκετά μεγάλο για να καλύψει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών του.

⁷⁹ Σημειώνεται ότι αναδυόμενες τεχνολογίες όπως η δέσμευση και αποθήκευση υδρογόνου και άνθρακα δεν έχουν ληφθεί υπόψη στο ΕΣΕΚ.

⁸⁰ Πηγή:

https://www.researchgate.net/publication/264898340_The_introduction_of_Hydrogen_Economy_in_Cyp rus

ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΩΣ ΦΟΡΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Το υδρογόνο χαμηλών εκπομπών θα έχει σημαντικό συμπληρωματικό ρόλο, παράλληλα με την ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ, στην απαλλαγή του ενεργειακού συστήματος από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, με τη δυνατότητα να συμβάλει ειδικά στην αποανθρακοποίηση της βιομηχανίας (όπου και ο εξηλεκτρισμός είναι τεχνικά δύσκολος ή/και οικονομικά μη-αποδοτικός) και να παρέχει πράσινη ενέργεια στους τομείς της ηλεκτρικής παραγωγής, της θερμότητας και των μεταφορών. Η μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στο υδρογόνο μπορεί να είναι επίσης επωφελής για το περιβάλλον, όπως για την ποιότητα του αέρα, αν και τα οφέλη αυτά θα εξαρτηθούν από το βαθμό ενσωμάτωσης των τεχνολογιών υδρογόνου στους τομείς της τελικής κατανάλωσης.

3.1 Σύντομη παρουσίαση της χρήσης υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή

Το υδρογόνο ενδέχεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην πλήρη απαλλαγή του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής από εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, μέσω της ευελιξίας που μπορούν να προσφέρουν η ηλεκτρολυτική παραγωγή και η αποθήκευση υδρογόνου, καθώς και της δυνατότητας ευέλικτης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση υδρογόνου ως καυσίμου, συμβάλλοντας στην εξισορρόπηση της μεταβλητότητας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της αυξημένης διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και άλλες μέθοδοι παραγωγής χαμηλών εκπομπών προβλέπεται να αναπτυχθούν περαιτέρω, ενώ η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί με τον εξηλεκτρισμό περισσότερων τομέων και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι περισσότερο διεσπαρμένη και μεταβαλλόμενη, καθώς θα εξαρτάται όλο και περισσότερο από την αιολική και την ηλιακή ενέργεια. Για να υποστηριχθεί αυτή η μετάβαση, θα χρειαστούν πιο ευέλικτες τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών, δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας και δυνατότητα για απόκριση του συστήματος βάσει της ζήτησης.

Το υδρογόνο χαμηλών εκπομπών, και ειδικότερα το πράσινο υδρογόνο, μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην κάλυψη των μελλοντικών αναγκών του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και η ανάπτυξη της χρήσης του υδρογόνου στην ενέργεια κατά τη δεκαετία μέχρι το 2030 μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από άλλες τεχνολογίες όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το CCUS και την πυρηνική ενέργεια.

Η εισαγωγή υδρογόνου απευθείας ως καύσιμο στην ηλεκτροπαραγωγή είναι δυνατή μέσω κυρίως δύο τεχνολογιών⁸¹.

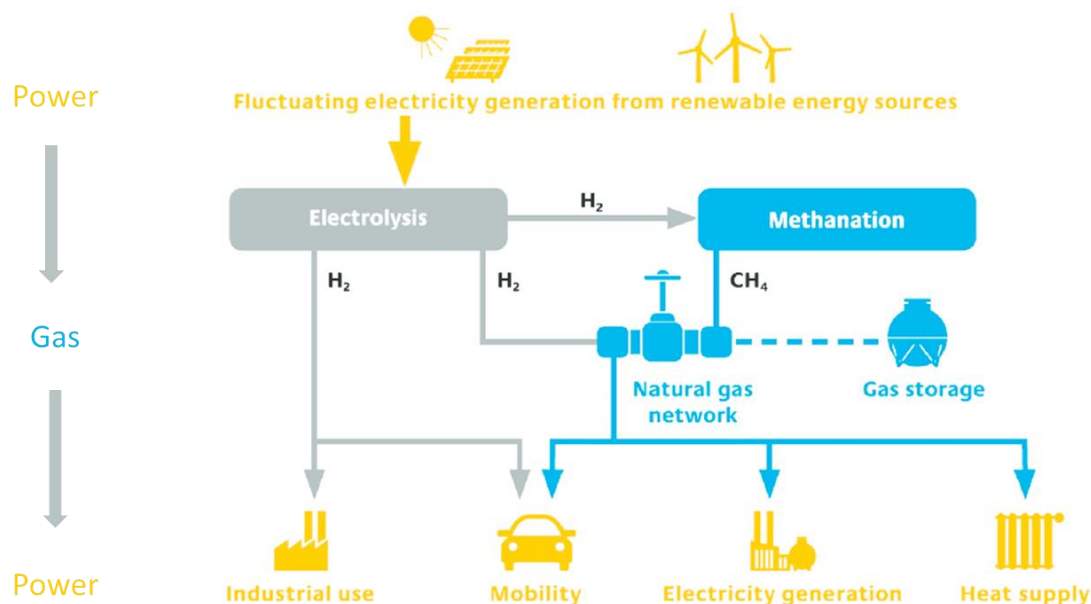
Ο πρώτος τρόπος είναι μέσω της «καύσης» του σε κλασικούς αεριοστροβίλους ή στροβίλους συνδυασμένου κύκλου (CCGT) που χρησιμοποιούν ορυκτό αέριο ως καύσιμο. Ωστόσο οι υφιστάμενοι στροβίλοι μπορούν να διαχειριστούν μόνο μικρά μερίδια υδρογόνου της τάξης του 3-5%, ενώ λίγοι είναι αυτοί οι στροβίλοι που μπορούν να λειτουργήσουν με μερίδια έως και 30%. Ο δεύτερος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από υδρογόνο είναι μέσω κυψελών, οι οποίες μπορούν να επιτύχουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης της τάξης του 60% με μηδενικές άμεσες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ωστόσο, τα συστήματα κυψελών υδρογόνου που υπάρχουν σήμερα είναι πολύ μικρότερα σε μέγεθος από τα συστήματα στροβίλων με καύσιμο το υδρογόνο. Επιπλέον, οι κυψέλες υδρογόνου έχουν πολύ μικρότερη διάρκεια ζωής από τους στροβίλους (10.000-40.000 ώρες λειτουργίας) ενώ έχουν και υψηλότερο κόστος κτήσης.

Υπάρχουν δύο βασικοί ρόλοι που μπορεί να διαδραματίσει το υδρογόνο στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 0-1:

- > **Ευελιξία του συστήματος μέσω ηλεκτρόλυσης και αποθήκευσης (“Power-to-Gas”, “Power-to-Gas-to-Power”):** Η παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης μπορεί να παράσχει ευελιξία στο δίκτυο αξιοποιώντας την πλεονάζουσα ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια ή ενέργεια χαμηλών εκπομπών. Το ηλεκτρολυτικό υδρογόνο μπορεί να επιτρέψει την μεταφορά της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας σε διαφορετικά μέρη του συστήματος, όπως Power-to-Gas, μεταφορές και βιομηχανία (διαδικασία αναφερόμενη ως «σύζευξη τομέων» ή “sector coupling”). Αυτό δημιουργεί πολλαπλά οφέλη για το σύστημα και μπορεί να επεκτείνει την αγορά για νέα και για την υπάρχουσα δυναμικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Συνδυάζοντας την ηλεκτρολυτική παραγωγή με την δυνατότητα αποθήκευσης, συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης για μεγάλα χρονικά διαστήματα, διευκολύνεται η περαιτέρω ενσωμάτωση του υδρογόνου στο σύστημα, προσφέροντας και υπηρεσίες εξισορρόπηση όταν η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές είναι υψηλότερη ή χαμηλότερη από τη ζήτηση.
- > **Ευέλικτη παραγωγή ισχύος (“Gas-to-Power”):** Το υδρογόνο χαμηλών εκπομπών μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ευέλικτη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω μονάδων ΦΑ συνδυασμένου κύκλου ταχείας λειτουργίας (Combined Cycle Gas Turbines – CCGTs), συμβάλλοντας στην κάλυψη βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων κορυφώσεων της ζήτησης. Το υδρογόνο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είτε ως υποκατάστατο του ΦΑ σε μείγμα ΦΑ-υδρογόνου, είτε ως καθαρό υδρογόνο, και να παρέχεται μέσω αγωγού ή μέσω υποδομών αποθήκευσης.

⁸¹ Πηγή: IEA (2019). Report prepared for the G20, Japan. “The Future of Hydrogen: Seizing today’s opportunities”

Σχήμα 0-1 Τεχνολογία και εφαρμογές Power-to-Gas-to-Power⁸²



Σε μικρότερη κλίμακα ισχύος, κυψέλες καυσίμου υδρογόνου θα μπορούσαν να διαδραματίσουν κάποιο ρόλο παρέχοντας υπηρεσίες ευελιξίας και εφεδρείας (για παράδειγμα ως μονάδες αιχμής - peaking units), αντικαθιστώντας τεχνολογίες υψηλών εκπομπών με χρήση ορυκτών καυσίμων (όπως είναι οι μονάδες ανοιχτού κύκλου και οι μηχανές εσωτερικής καύσης). Σημειώνεται ότι οι κυψέλες καυσίμου παρέχουν τη δυνατότητα για έλεγχο συχνότητας και ρύθμιση της ισχύος, παράγοντας ταυτόχρονα θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από συστήματα συμπαραγωγής.

Σε πιο μακροπρόθεσμο ορίζοντα πέραν του 2030, αναμένεται ότι το υδρογόνο χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και ενδεχομένως η αμμωνία (ως φορέας υδρογόνου), θα διαδραματίσουν ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στην παροχή ισχύος και στη διασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού.

Στο παραπάνω πλαίσιο, και καθώς αυξάνεται η ανάγκη για ευελιξία στο ενεργειακό σύστημα λόγω της περαιτέρω διεξόδου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή, αναμένεται ανάπτυξη ηλεκτρολυτών που να μπορούν να λειτουργούν ευέλικτα αναλόγως με το διαθέσιμο φορτίο και σε συνδυασμό με τη διαθεσιμότητα ΑΠΕ. Επιπλέον, η ανάπτυξη τεχνολογιών αποθήκευσης υδρογόνου μακράς διάρκειας θα επιτρέψει την μεγαλύτερη ενσωμάτωση του υδρογόνου στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

⁸² Πηγή: [A Critical Study of Stationary Energy Storage Polices in Australia in an International Context: The Role of Hydrogen and Battery Technologies \(DOI:10.3390/en9090674\)](https://doi.org/10.3390/en9090674)

3.2 Σύντομη παρουσίαση της χρήσης υδρογόνου στους βιομηχανικούς τομείς EU ETS

Η χρήση του υδρογόνου στην βιομηχανία αποτελεί προτεραιότητα, ειδικά στους τομείς εκείνους όπου λείπουν εναλλακτικές λύσεις για την επίτευξη της μείωσης των εκπομπών ΑτΘ.

Μια άμεση εφαρμογή στη βιομηχανία είναι η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων στις ενεργοβόρες βιομηχανίες (όπως χαλυβουργία, τσιμέντο, κεραμικά, κτλ.) καθώς επίσης και η μείωση της χρήσης και η αντικατάσταση του υδρογόνου υψηλής έντασης άνθρακα (δλδ. υδρογόνο παραγόμενο από ορυκτά καύσιμα) στα διυλιστήρια, στην παραγωγή αμμωνίας και μεθανόλης.

Αρχικά, το υδρογόνο χαμηλής έντασης άνθρακα ή/και το πράσινο υδρογόνο μπορεί ακόμα να προσφέρει μια εναλλακτική λύση απέναντι στο φυσικό αέριο και σε άλλα καύσιμα υψηλότερης έντασης άνθρακα (και άρα και υψηλότερων εκπομπών κατά την χρήση τους στις διεργασίες παραγωγής θερμότητας υψηλής ενθαλπίας) που χρησιμοποιούνται για βιομηχανική θέρμανση. Αυτό αφορά τόσο τις εφαρμογές έμμεσης θέρμανσης, όπως για παράδειγμα τη χρήση υδρογόνου για την τροφοδοσία λεβήτων ατμού και συστημάτων συνδυασμένης θερμότητας και ισχύος (ΣΗΘ), όσο και στις διαδικασίες άμεσης θέρμανσης, όπως η τήξη του γυαλιού σε φούρνο.

Για τον τομέα των κεραμικών, οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις προκύπτουν κατά τη φάση παραγωγής των προϊόντων, όταν οι κλίβανοι βρίσκονται σε συνεχή χρήση, σημειώνοντας θερμοκρασίες μεταξύ 1.200 και 1.300°C. Το υδρογόνο, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως φορέας ενέργειας στην διεργασία της καύσης για την επίτευξη των υψηλών θερμοκρασιών που απαιτούνται⁸³. Εδώ πρέπει όμως να σημειωθεί μια σειρά από σχετικές τεχνολογικές προκλήσεις όπως: (α) η εξασφάλιση συνεχομένης παροχής υδρογόνου στην κλίμακα που απαιτείται, (β) η επίτευξη ευστάθειας στο σύστημα της καύσης, (γ) ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου (NOx), κ.ο.κ. Επομένως, μέχρι την ικανοποιητική επίτευξη λύσεων στα παραπάνω προβλήματα, το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην βιομηχανία των κεραμικών με άλλους τρόπους. Στην περιοχή Castellano της Ιταλίας, η κοινοπραξία της Snam με την Iris Ceramica Group αναπτύσσει την πρώτη βιομηχανία κεραμικών που θα χρησιμοποιεί πράσινο υδρογόνο, το οποίο θα παράγεται από φωτοβολταϊκά 2.5GW τοποθετημένα στην οροφή της μονάδας⁸⁴. Στην εγκατάσταση θα αναπτυχθεί και υποδομή για την αποθήκευση υδρογόνου. Άλλο σχετικό παράδειγμα αποτελεί και η περίπτωση των Iberdrola και Porcelanosa που συμπράττουν σε έργο για την ηλεκτροδότηση της κεραμικής

⁸³ Πηγή: [https://www.gasunie.nl/nieuws/publicatie-rapport-h2-voor-de-keramische-industrie/\\$4417](https://www.gasunie.nl/nieuws/publicatie-rapport-h2-voor-de-keramische-industrie/$4417)

⁸⁴ Πηγή: <https://www.ariostea-high-tech.com/news-2021/the-worlds-first-green-hydrogen-ceramic-industry-is-born>

παραγωγής συνδυάζοντας τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, πράσινου υδρογόνου και αντλίας θερμότητας⁸⁵.

Τέλος, το υδρογόνο έχει περιορισμένη χρήση στην βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου και μπορεί να υποκαταστήσει τα ορυκτά ή άλλα καύσιμα (π.χ. καύσιμα προερχόμενα από απορρίμματα – RDF) που χρησιμοποιούνται στον τομέα. Η χρήση υδρογόνου ως καυσίμου που παρέχει υψηλής ποιότητας θερμότητα σε κλιβάνους τσιμέντου έχει δοκιμαστεί, κυρίως τα τελευταία χρόνια. Με την αντικατάσταση μέρους των ορυκτών ή άλλων εναλλακτικών καυσίμων που τυπικά χρησιμοποιούνται, η χρήση υδρογόνου (χαμηλών εκπομπών, αλλά κυρίως πράσινο υδρογόνο) ως καυσίμου θα μπορούσε να μειώσει ορισμένες εκπομπές που προέρχονται από την τσιμεντοβιομηχανία. Ωστόσο, η φλόγα που προέρχεται από την καύση υδρογόνου έχει διαφορετικές ιδιότητες από τη θερμότητα που προέρχεται από τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος και αυτό το γεγονός ενδέχεται να έχει επιπτώσεις στο παραγόμενο προϊόν. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση Τσιμέντου Cembureau⁸⁶, αναφέρει ότι βρίσκεται σε εξέλιξη μελέτη για την κατανόηση των δυνατοτήτων της χρήσης υδρογόνου σε κλίβανο τσιμέντου. Η κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων της χρήσης υδρογόνου στη διαδικασία παραγωγής τσιμέντου, παράλληλα με τις εκτιμήσεις για τη γεωγραφική βιωσιμότητα και τη βιωσιμότητα του κόστους των βιομηχανικών σχηματισμών, αποτελούν απαραίτητα βήματα για την ευρεία χρήση του.

3.3 Σύντομη παρουσίαση της χρήσης υδρογόνου στους τομείς εκτός EU ETS

Εκτός του τομέα της βιομηχανίας και της ηλεκτρικής παραγωγής, το υδρογόνο αποτελεί επίσης μια πολλά υποσχόμενη επιλογή για τον τομέα των μεταφορών, ειδικά στις περιπτώσεις στις οποίες η ηλεκτροκίνηση είναι δυσκολότερο να εφαρμοστεί, όπως για παράδειγμα στις οδικές μεταφορές μεγάλων αποστάσεων και βαρέων οχημάτων.

Σε μια πρώτη φάση, η ταχεία υιοθέτηση του υδρογόνου μπορεί να συμβεί σε χρήσεις, όπως σε τοπικά αστικά λεωφορεία, ή εμπορικούς στόλους (π.χ. ταξί), όπου δεν είναι εφικτή η ηλεκτροκίνηση. Οι σταθμοί ανεφοδιασμού με υδρογόνο μπορούν εύκολα να προμηθεύονται από περιφερειακές ή τοπικές εγκαταστάσεις ηλεκτρόλυσης, αλλά η ανάπτυξή τους θα πρέπει να βασιστεί σε σαφή ανάλυση της ζήτησης του στόλου και των διαφορετικών απαιτήσεων για τα ελαφρά και τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα.

Η χρήση κυψελών καυσίμου υδρογόνου αποτελεί μια επιλογή παράλληλα με την επιλογή της ηλεκτροκίνησης στα βαρέα επαγγελματικά οχήματα,

⁸⁵ Πηγή: <https://www.iberdrola.com/press-room/news/detail/iberdrola-porcelanosa-launch-their-first-project-electrify-ceramic-production-combining-renewables-green-hydrogen-heat-pump-technology>

⁸⁶ Αναφορά: <https://cembureau.eu/>

συμπεριλαμβανομένων των πούλμαν/τουριστικών λεωφορείων, των οχημάτων ειδικού σκοπού και των οδικών εμπορευματικών μεταφορών μεγάλων αποστάσεων, δεδομένων των υψηλών εκπομπών CO₂ που παράγουν. Οι στόχοι για το 2025 και το 2030 που καθορίζονται στον κανονισμό σχετικά με τις εκπομπές CO₂ από τα οχήματα⁸⁷ αποτελούν σημαντική κινητήρια δύναμη για τη δημιουργία μιας πρωτοπόρου αγοράς για λύσεις υδρογόνου, μόλις η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου καταστεί επαρκώς οικονομικά αποδοτική. Σε αυτή τη κατεύθυνση, και αναγνωρίζοντας την ανάγκη για στήριξη της σχετικής έρευνας και της δημιουργίας πρότυπων πιλοτικών εφαρμογών, τα έργα του προγράμματος Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH-JU) στο πλαίσιο του προγράμματος “Horizon 2020” αποσκοπούν στην επιτάχυνση της τεχνολογικής πρωτοπορίας της Ευρώπης.

Το υδρογόνο ακόμη μπορεί να αποτελέσει λύση για την αποανθρακοποίηση του τομέα των αερομεταφορών και της ναυτιλίας, μέσω της παραγωγής υγρής συνθετικής κηροζίνης ή άλλων κατάλληλων συνθετικών καυσίμων, όπως συνθετική αμμωνία και μεθανόλη. Πρόκειται για καύσιμα «άμεσης χρήσης» (drop-in fuels), που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την υφιστάμενη τεχνολογία αεροσκαφών, αλλά πρέπει να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση. Το πλεονέκτημα είναι ότι τα περισσότερα συνθετικά καύσιμα, σε αντίθεση με το καθαρό υδρογόνο, είναι συμβατά με την υπάρχουσα υποδομή και ότι υπάρχουν καύσιμα, όπως η συνθετική μεθανόλη, όπου σε θερμοκρασία δωματίου βρίσκεται σε υγρή μορφή και, ως εκ τούτου, είναι ευκολότερη στην αποθήκευση και τη μεταφορά. Ένα μειονέκτημα είναι ότι η παραγωγή των συνθετικών καυσίμων θα είναι πάντα πιο ακριβή απ’ ό,τι του υδρογόνου (από περίπου 10-50% ανάλογα με την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, την τεχνολογία και του καυσίμου⁸⁸), καθώς η παραγωγή τους περιλαμβάνει περισσότερα στάδια, αλλά η διαχείριση και η αποθήκευση τους είναι ευκολότερη. Ένα άλλο μειονέκτημα των συνθετικών καυσίμων είναι η πολύ χαμηλή απόδοση του συστήματος (περίπου 10-20% κατά την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδρογόνο και σε συνθετικά καύσιμα σε κινητήρα εσωτερικής καύσης⁸⁹).

Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου μπορούν να βρουν τη θέση τους τόσο ως ενέργεια για μεταφορά όσο και ως ενέργεια στα βοηθητικά συστήματα των πλοίων. Υπάρχουν κάποιες μικρές πρωτοβουλίες σε όλο τον κόσμο που βρίσκονται σε εξέλιξη⁹⁰. Μακροπρόθεσμα, οι κυψέλες καυσίμου που τροφοδοτούνται με υδρογόνο και απαιτούν προσαρμοσμένο σχεδιασμό

⁸⁷ Αναφορά: Κανονισμός (ΕΕ) 2019/1242 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, σχετικά με τον καθορισμό προτύπων επιδόσεων για τις εκπομπές CO₂ των νέων βαρέων επαγγελματικών οχημάτων.

⁸⁸ Πηγή: <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?projectid=26421>

⁸⁹ Πηγή: <https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/Concawe-Review-28-1-web-resolution-PDF.pdf>

⁹⁰ Στο πλαίσιο του έργου FLAGSHIP αναπτύσσονται, στη Γαλλία και στη Νορβηγία, δύο εμπορικά πλοία που κινούνται με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου: το υδρογόνο παράγεται επιτόπου με ηλεκτρολυτικές κυψέλες ισχύος 1 MW που τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές.

αεροσκαφών, ή οι κινητήρες αεριωθούμενων που λειτουργούν με βάση το υδρογόνο μπορούν επίσης να αποτελέσουν επιλογή για τις αεροπορικές μεταφορές.

Οι κύριοι λόγοι για τους οποίους οι κυψέλες υδρογόνου και οι κυψέλες καυσίμου δεν έχουν ακόμη διαδοθεί σε μεγάλη κλίμακα στον τομέα των μεταφορών είναι το υψηλό κόστος των οχημάτων αυτών, συμπεριλαμβανομένης τόσο της παραγωγής τους όσο και της ανάπτυξης σταθμών ανεφοδιασμού καυσίμου υδρογόνου. Άλλη μια παράμετρος επιβράδυνσης συνιστά η σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα του αποθηκευμένου υδρογόνου, τόσο σε συμπιεσμένη όσο και υγροποιημένη μορφή (σχεδόν 8 φορές χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα όγκου στα 700 bar από το ντίζελ), η οποία συμβάλλει στη μείωση της χωρητικότητας, καθώς η δεξαμενή καυσίμου γίνεται πιο ογκώδης.

Η χρήση του υδρογόνου μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική λύση παράλληλα με την ηλεκτροκίνηση με μπαταρίες και τα βιοκαύσιμα (π.χ. HVO⁹¹, βιοαέριο). Για τα επιβατικά αυτοκίνητα και τα φορτηγά που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές για αποστάσεις έως 300-400 χιλιόμετρα περίπου, η ηλεκτροκίνηση με τη χρήση μπαταριών φαίνεται να είναι η προτιμώμενη τεχνολογία. Με βάση τη σημερινή τεχνογνωσία, το υδρογόνο μπορεί να διαδραματίσει ρόλο σε μεταφορές εμβέλειας 300 έως 800 χιλιομέτρων, ενώ τα βιοκαύσιμα βρίσκουν μακροπρόθεσμα εφαρμογή σε όλες τις περιπτώσεις μεταφορών, αλλά με έμφαση στις πραγματικά υπεραστικές και βαριές μεταφορές.

3.4 Εκτίμηση της διείσδυσης του υδρογόνου στο ενεργειακό μείγμα ανά τομέα

Το πλέον πρόσφατο ΕΣΕΚ της Κύπρου, δεν περιλαμβάνει πολιτικές που να στοχεύουν στην ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου στην χώρα. Επιπλέον, το ΕΣΕΚ είναι προσανατολισμένο στην περίοδο μέχρι το 2030, ενώ η ανάλυση των πολιτικών που σχετίζονται με την εισαγωγή του υδρογόνου, και ειδικά του πράσινου υδρογόνου, απαιτεί μακροχρόνια θεώρηση, τυπικά έως το 2050.

Το Σενάριο Αναφοράς 2020 της ΕΕ⁹² (EU Reference Scenario 2020) είναι ένα από τα βασικά εργαλεία ανάλυσης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στους τομείς της ενέργειας, των μεταφορών και της δράσης για το κλίμα, το οποίο προβάλλει την εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος της ΕΕ, του συστήματος μεταφορών και των εκπομπών ΑτΘ. Το Σενάριο Αναφοράς προσομοιώνει μέσω μοντέλου την μελλοντική προοπτική της ΕΕ και των κρατών μελών της, με δεδομένο το

⁹¹ HVO: Hydrogenated vegetable oil – υδρογονωμένα έλαια

⁹² Αναφορά: https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/eu-reference-scenario-2020_en

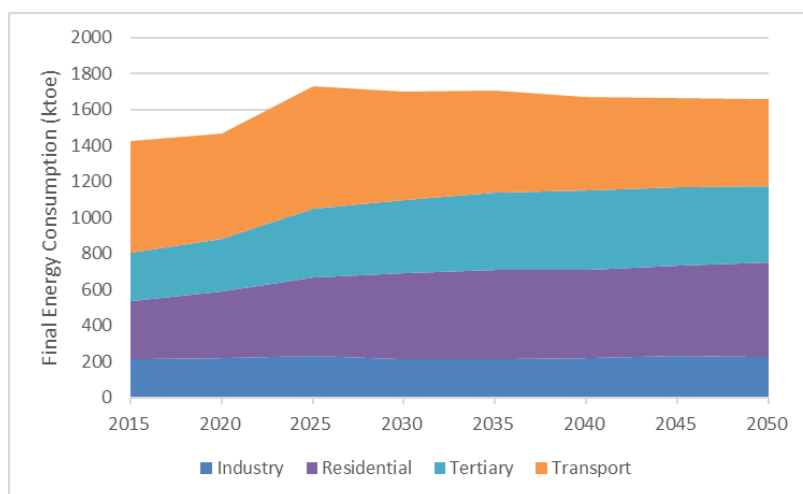
υπάρχον πλαίσιο πολιτικής, για την ενέργεια, τις μεταφορές και τις εκπομπές ΑτΘ⁹³.

Το Σενάριο Αναφοράς αντικατοπτρίζει τα αποτελέσματα των εγκεκριμένων πολιτικών σε επίπεδο ΕΕ έως το τέλος του 2019 και λαμβάνει υπόψη τις εθνικές συνεισφορές και τις προγραμματισμένες πολιτικές, καθώς και τις προβλέψεις των κρατών μελών, όπως προβλέπονται στα αντίστοιχα ΕΣΕΚ σε σχέση με τη δραστηριότητα στους τομείς των μεταφορών, της ζήτησης ενέργειας, της παραγωγής ηλεκτρισμού και τις εκπομπές ΑτΘ έως το 2050. Σημειώνεται ότι οι πολιτικές που έχουν θεωρηθεί στο Σενάριο Αναφοράς είναι αυτές του Σεναρίου Πρόσθετων Μέτρων του ΕΣΕΚ της κάθε χώρας.

Επομένως, το Σενάριο Αναφοράς της ΕΕ μπορεί να παράσχει χρήσιμα δεδομένα για την εξέλιξη των εκπομπών ΑτΘ, καθώς και τις προοπτικές διείσδυσης του υδρογόνου στο ενεργειακό μείγμα για κάθε κράτος μέλος και για την ΕΕ στο σύνολό της. Οι προβλέψεις είναι διαθέσιμες σε πενταετή βάση για κάθε κράτος μέλος και για την ΕΕ στο σύνολό της.

Για την Κύπρο, οι εκτιμήσεις προβλέπουν την ακόλουθη κατανάλωση τελικής ενέργειας ανά καύσιμο και ανά τομέα, έως το 2050, όπως παρατίθενται παρακάτω στο Σχήμα 3-2 και το Σχήμα 3-3 αντίστοιχα.

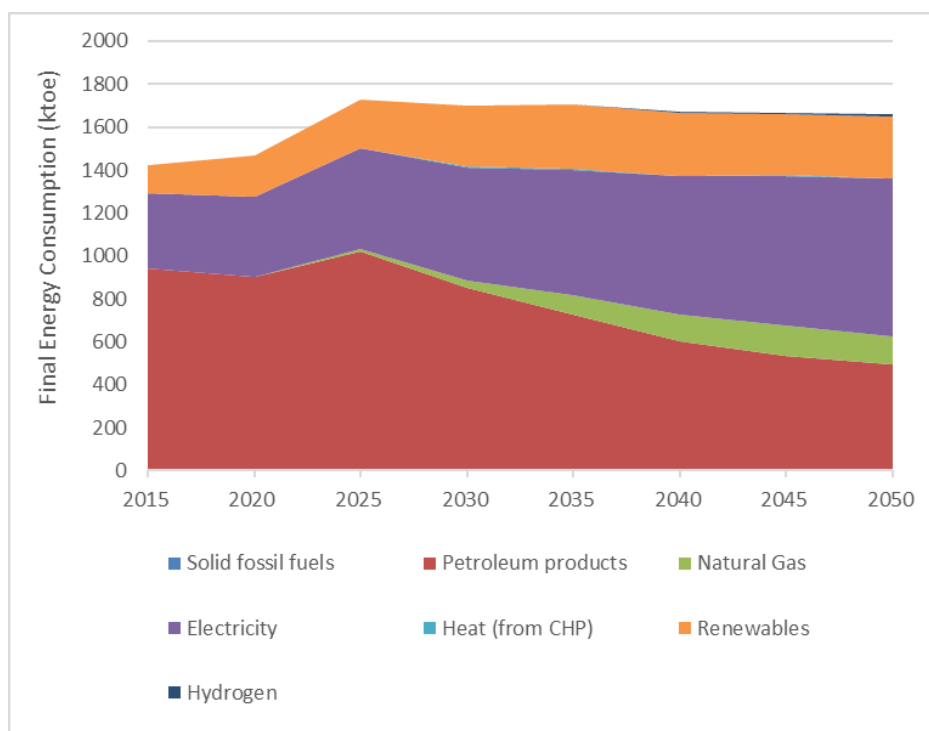
Σχήμα 0-2 Κατανάλωση τελικής ενέργειας στη Κύπρο, ανά τομέα, 2015-2050⁹⁴



⁹³ Το Σενάριο Αναφοράς χρησιμοποιεί τα ενεργειακά ισοζύγια της Eurostat του Φεβρουαρίου 2021 και τις παρατηρήσεις της UNFCCC-CRF του Απριλίου του 2020, όπως ανέφερε η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (European Environment Agency – ΕΕΑ).

⁹⁴ Δεν περιλαμβάνονται οι απώλειες διανομής

Σχήμα 0-3 Κατανάλωση τελικής ενέργειας στη Κύπρο, ανά καύσιμο, 2015-2050



Οι παραπάνω προβλέψεις του Σεναρίου Αναφοράς είναι πολύ κοντά στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο ΕΣΕΚ της Κύπρου⁹⁵. Σημειώνεται ότι μια απευθείας σύγκριση των αποτελεσμάτων δεν είναι εφικτή και δόκιμη, καθώς η κάθε εργασία (δηλαδή το Σενάριο Αναφοράς και το ΕΣΕΚ) πραγματοποιήθηκε με διαφορετικά υπολογιστικά εργαλεία στα οποία η εισαγωγή των αντίστοιχων παραδοχών ως προς τις πολιτικές γίνεται με διαφορετικό τρόπο και επομένως δύναται να οδηγήσει και σε διαφορετικά αποτελέσματα. Στην παρούσα εργασία, η θεωρητική ανάλυση αυτής της παραγράφου βασίζεται στα αποτελέσματα του Σεναρίου Αναφοράς για τους ακόλουθους λόγους: (α) παρουσιάζονται αναλυτικά αποτελέσματα μέχρι το 2050, και (β) κατά τη μοντελοποίηση υπάρχει ομογενοποίηση των παραδοχών για κάθε χώρα συνολικά με την Ευρωπαϊκή πολιτική, όπως αυτή εκφράζεται από τις ισχύουσες ρυθμιστικές διατάξεις που νομοθετούν τους στόχους για το 2030.

Παρά τη μείωση της προσφοράς πρωτογενούς ενέργειας, η ζήτηση τελικής ενέργειας προβλέπεται να είναι σταθερή. Ο βασικός παράγοντας σε αυτήν την περίπτωση είναι η αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία με τη σειρά της παράγεται από πιο αποδοτικές μονάδες παραγωγής αερίου και τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο συνεχιζόμενος εξηλεκτρισμός του τομέα θέρμανσης και ψύξης, καθώς και ο σημαντικός όγκος ηλεκτρικής ενέργειας που

⁹⁵ 4% στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας το 2030 και 1% το 2040.

καταναλώνεται στον τομέα των μεταφορών έχουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η συμβολή των ορυκτών καυσίμων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, η συνολική συμβολή της ηλιακής θερμικής ενέργειας κυρίως στον τομέα της θέρμανσης και ψύξης προβλέπεται να καλύψει τον ετήσιο στόχο για την αύξηση των ΑΠΕ στον τομέα της θέρμανσης και της ψύξης από το 2021 έως το 2030.

Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, οι βασικοί τρόποι για την εισαγωγή του υδρογόνου στην τελική κατανάλωση με σκοπό την μείωση των εκπομπών CO₂ είναι οι ακόλουθοι:

- Εισαγωγή στο μείγμα του Φυσικού Αερίου: με τον τρόπο αυτό η ένταση άνθρακα του ΦΑ (σε όρους grCO₂/MJ) μειώνεται, δεδομένου ότι το υδρογόνο που εισάγεται προέρχεται από ΑΠΕ. Ανάλογα με το ποσοστό διείσδυσης, δεν απαιτείται αλλαγή στην υποδομή του ΦΑ και στον εξοπλισμό της τελικής κατανάλωσης. Η εισαγωγή στο μείγμα του Φυσικού Αερίου θα οδηγήσει σε έμμεση χρήση του υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή.
- Χρήση του υδρογόνου απευθείας ως καύσιμο:
 - στην ηλεκτροπαραγωγή απευθείας αλλά και παρέχοντας υπηρεσίες εξισορρόπησης/ευελιξίας και παροχής εφεδρείας στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής
 - στους διάφορους τομείς τελικής κατανάλωσης όπως μεταφορές και βιομηχανία: σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται αλλαγή του εξοπλισμού του ΦΑ στην τελική κατανάλωση, όπως ειδικοί καυστήρες στην βιομηχανία και χρήση κυψελών καύσιμου στα οχήματα (κυρίως επιβατικά οχήματα), ενώ πρέπει να ληφθούν υπόψη και πιθανοί ειδικότεροι περιορισμοί, οι οποίοι αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους του κεφαλαίου
- Χρήση για παραγωγή συνθετικών καυσίμων «άμεσης χρήσης» (“drop-in fuels”), κυρίως για χρήση στις μεταφορές (ειδικότερα στις αεροπορικές μεταφορές και στην ναυτιλία).

Εισαγωγή Υδρογόνου στο μείγμα του Φυσικού Αερίου

Η ανάμιξη του υδρογόνου με το ΦΑ αναφέρεται στην προσθήκη υδρογόνου στο δίκτυο μεταφοράς του ΦΑ. Η ανάμιξη είναι καταρχήν δυνατή και έχει ήδη εφαρμοστεί σε διάφορα έργα, αλλά δεν μπορεί να γίνει χωρίς όριο. Από τεχνική άποψη, τα ανώτατα όρια ανάμειξης εξαρτώνται ουσιαστικά από τις ανοχές λειτουργίας των εγκαταστάσεων μεταφοράς υδρογόνου αλλά και των ανοχών των διαφόρων καταναλώσεων φυσικού αερίου εντός μιας περιοχής δικτύου. Το ποσοστό ανάμειξης υδρογόνου περιγράφεται στα σχετικά τεχνικά πρότυπα ή και σε άλλους ρυθμιστικούς κανονισμούς και μπορεί να διαφέρει μεταξύ

διαφορετικών Ευρωπαϊκών χωρών. Σημαντικά στοιχεία της υποδομής μεταφοράς, αποθήκευσης και διανομής φυσικού αερίου και των βιομηχανικών και οικιακών συσκευών αερίου αναμένεται να είναι σε θέση να δέχονται 10 vol.% (κατ' όγκο) H₂ χωρίς τροποποίηση^{96,97}.

Προηγμένες Ευρωπαϊκές χώρες στον τομέα του Φυσικού Αερίου δεν έχουν ακόμη θέσει στόχους για την ανάμιξη του υδρογόνου στο δίκτυο του φυσικού αερίου, αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι η διαθέσιμη πληροφορία στα ΕΣΕΚ δεν έχει ακόμη επικαιροποιηθεί μετά τη δημοσίευση της δέσμης μέτρων Fit-for-55 και του Πακέτου του Υδρογόνου και της Αποανθρακοποιημένης Αγοράς Φυσικού Αερίου (“Hydrogen and Decarbonised Gas Market Package”)⁹⁸.

Με δεδομένο ότι το Πακέτο του Υδρογόνου κάνει λόγο για 5% ανάμιξη του υδρογόνου στο δίκτυο ΦΑ, και πως επίσης η ανάλυση επιπτώσεων που συνόδευε το Climate Target Plan δεν θεωρούσε εισαγωγή του υδρογόνου στο δίκτυο πριν από το 2035, μπορεί να θεωρηθεί ότι και στη Κύπρο, το 2030, στο δίκτυο ΦΑ το μείγμα θα μπορούσε να είναι 5% υδρογόνο και 95% ορυκτό ΦΑ. Σημειώνεται ότι οποιοδήποτε θεωρούμενο ποσοστό ανάμιξης πρέπει να επιβεβαιωθεί από τεχνικές μελέτες με βάση το υπό σχεδιασμό δίκτυο μεταφοράς ΦΑ στην Κύπρο.

Η εισαγωγή υδρογόνου στο δίκτυο ΦΑ θα επέφερε οφέλη στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής και τη βιομηχανία. Λόγω της μη ύπαρξης δικτύου διανομής, ο τομέας των κτηρίων δεν θα επωφελοΰταν άμεσα.

Με βάση τις προβλέψεις για την εξέλιξη του ενεργειακού μείγματος στην Κύπρο από το Ευρωπαϊκό Σενάριο Αναφοράς 2020, η εισαγωγή υδρογόνου στο δίκτυο θα υποκαταστήσει 1.9 ktoe Φυσικού Αερίου το 2030 και 6.7 ktoe το 2050. Σύμφωνα με την μεθοδολογία της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων για αξιολόγηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ενεργειακών έργων⁹⁹, αυτές οι ποσότητες αντιστοιχούν σε αποφευγόμενες εκπομπές ΑτΘ ίσες με περίπου 4,472 tonnes CO₂eq το 2030 και 15,768 tonnes CO₂eq το 2050. Σημειώνεται ότι οι παραπάνω υπολογισμοί είναι προσεγγιστικοί και μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν για να δώσουν μια πολύ πρόχειρη εκτίμηση των

⁹⁶ Πηγή: https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/en/documents/Studies-Reports/FINAL_FraunhoferIEE_ShortStudy_H2_Blending_EU_ECF_Jan22.pdf

⁹⁷ Πηγή: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/file_attach/Final%20Report%20Hydrogen%20in%20NECPs%20%28ID%209501746%29.pdf

⁹⁸ Πηγή: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2021/03/Contrasting-European-hydrogen-pathways-An-analysis-of-differing-approaches-in-key-markets-NG166.pdf>

⁹⁹ Αναφορά: https://www.eib.org/attachments/publications/eib_project_carbon_footprint_methodologies_2022_en.pdf

αποτελεσμάτων της ανάμιξης μικρών ποσοτήτων υδρογόνου στο δίκτυο ΦΑ και να καταδείξουν τα πιθανά περιβαλλοντικά οφέλη.

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω ποσότητες ΑτΘ αντιστοιχούν σε αξία δικαιωμάτων ρύπων που δυνητικά δεν θα πρέπει πλέον να αγοραστούν. Με βάση τις θεωρήσεις του Ευρωπαϊκού Σεναρίου Αναφοράς 2020, η αξία θα είναι περίπου 135,000 ευρώ το 2030 και 2,37 εκατομμύρια ευρώ το 2050¹⁰⁰.

Σημειώνεται ότι η μοντελοποίηση στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Σεναρίου Αναφοράς 2020 υλοποιήθηκε πριν από την πολιτική συμφωνία για τον νέο κλιματικό στόχο της μείωσης των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ κατά τουλάχιστον 55% το 2030, γεγονός που έχει επηρεάσει κατά πάσα πιθανότητα τη δυναμική της τιμής δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ του EU ETS από τα τέλη του 2020. Επομένως, τα αναφερόμενα ποσά παραπάνω θα είναι αρκετά υψηλότερα με τις αναμενόμενα υψηλότερες τιμές των δικαιωμάτων εκπομπών του μηχανισμού EU ETS. Τέλος, ενδεικτικά αναφέρεται ότι η αξία των ανωτέρω εκτιμώμενων αποφευγόμενων εκπομπών σε όρους κοινωνικού κόστους των ΑτΘ (shadow price of CO₂), και σύμφωνα με τις τιμές του επίσημα χρησιμοποιεί η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για σχετικές αποτιμήσεις¹⁰¹, είναι πολύ μεγαλύτερη και αγγίζει τα 1.1 εκατομμύρια ευρώ το 2030 και 12.6 εκατομμύρια ευρώ το 2050.¹⁰²

Εισαγωγή Υδρογόνου στους τομείς μεγάλων καταναλώσεων πετρελαϊκών προϊόντων

Οι τομείς μεγάλων καταναλώσεων πετρελαϊκών προϊόντων είναι η βιομηχανία και οι μεγάλοι καταναλωτές του εμπορικού τομέα.

Η βιομηχανία στην Κύπρο καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της σχεδόν εξ' ολοκλήρου με χρήση ορυκτών καυσίμων και ειδικότερα με προϊόντα πετρελαίου (συμπεριλαμβανόμενου του LPG και πετρελαϊκού κωκ¹⁰³).

Εφόσον η βιομηχανία συνδεθεί με το δίκτυο φυσικού αερίου, θα μπορέσει να μειώσει τις εκπομπές ΑτΘ που αναλογούν στο ποσοστό συμμετοχής του υδρογόνου στο μείγμα. Παρόλα αυτά, η επίτευξη των στόχων κατά της κλιματικής αλλαγής επιβάλλουν την αποανθρακοποίηση της βιομηχανίας σε μεγαλύτερο βαθμό. Σε αυτή την περίπτωση, και με δεδομένο ότι ο εξηλεκτρισμός των διεργασιών υψηλών θερμοκρασιών (όπως για παράδειγμα αυτές λαμβάνουν χώρα κατά την παραγωγή και επεξεργασία τσιμέντου) δεν

¹⁰⁰ Η εκτίμηση έχει γίνει χρησιμοποιώντας τιμές EURO'15 και 30 €/tCO₂ το 2030 και 150 €/tCO₂ το 2050.

¹⁰¹ Πηγή: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/23a24b21-16d0-11ec-b4fe-01aa75ed71a1/language-en>

¹⁰² Η εκτίμηση έχει γίνει χρησιμοποιώντας τιμές EURO'16 και 250 €/tCO₂ το 2030 και 800 €/tCO₂ το 2050

¹⁰³ Αγγλικός όρος: petcoke

αποτελεί αποδοτική λύση, η απευθείας χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο προσφέρει επιπλέον δυνατότητες απαλλαγής από τα ορυκτά καύσιμα.

Στην Κύπρο, η κατανάλωση τελικής ενέργειας στην βιομηχανία ανήλθε το 2020 σε 244 ktoe, εκ των οποίων τα 197 ktoe προήλθαν από ορυκτά καύσιμα. Εξ' αυτών, τα 129 ktoe καταναλώθηκαν από τις βιομηχανίες τσιμέντου και κεραμικών, και οι οποίες θα αποτελούσαν, μαζί και με την βιομηχανία τροφίμων, προτεραιότητα για την εφαρμογή στοχευμένων μέτρων. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι η βιομηχανία αποτελεί τομέα που δεν έχει πολλές εναλλακτικές λύσεις για αποανθρακοποίηση και επομένως η προοπτική εισαγωγής του υδρογόνου αποτελεί σημαντική επιλογή.

Για τους μεγάλους καταναλωτές του εμπορικού τομέα (π.χ. μεγάλες ξενοδοχειακές μονάδες), παρά το γεγονός ότι η χρήση του ηλεκτρισμού (και ειδικά εφόσον πρόκειται για ηλεκτρισμό από ΑΠΕ) προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για μείωση εκπομπών ΑτΘ, οι υπολειπόμενες ποσότητες ενέργειας που απαιτούνται για την κάλυψη της σχετικής ζήτησης (εκτιμώμενες στα 59 ktoe για το 2020) θα μπορούσαν να υποκατασταθούν από υδρογόνο.

Εισαγωγή Υδρογόνου στις μεταφορές

Μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα, το υδρογόνο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αποανθρακοποίηση των βαρέων οδικών οχημάτων, του ναυτιλιακού τομέα και των αερομεταφορών¹⁰⁴. Αυτό είναι σύμφωνο και με τα αναφερόμενα στο ΕΣΕΚ, όπου η Κύπρος έχει θέσει στόχους για τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων στους διάφορους στόλους οχημάτων της (επιβατικά αυτοκίνητα, λεωφορεία, φορτηγά), αλλά δεν διατυπώνεται συγκεκριμένος στόχος για τα οχήματα υδρογόνου.

Τα πλέον προηγμένα κράτη μέλη στον τομέα της ενεργειακής μετάβασης, θέτουν στόχους στα ΕΣΕΚ τους για συγκεκριμένο αριθμό οχημάτων στις οδικές μεταφορές που θα κινούνται με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου καθώς επίσης στοχεύουν και σε μικρό αριθμό σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου. Επιπρόσθετα, κράτη μέλη όπως η Γερμανία, έχουν θέσει συγκεκριμένους στόχους για την εισαγωγή συνθετικών καυσίμων στις αεροπορικές μεταφορές¹⁰⁵. Σημειώνεται ότι οι βασικές πολιτικές που καθορίζουν στους σχετικούς στόχους για την εισαγωγή εναλλακτικών καυσίμων στις μεταφορές προέρχονται από την οδηγία RED II για τις ΑΠΕ (Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001) και την Οδηγία για τις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων (Οδηγία 2014/94/ΕΕ).

Για την περίπτωση της Κύπρου, στον τομέα των χερσαίων μεταφορών και συγκεκριμένα στα επιβατηγά οχήματα, πιο ελκυστική λύση αποτελεί ο εξηλεκτρισμός του στόλου, καθώς οι μετακινήσεις στο νησί είναι περιορισμένης

¹⁰⁴ Πηγή:

https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/file_attach/Brochure%20FCH%20Cyprus%20_LowRes%20%28ID%209496949%29.pdf

¹⁰⁵ Στόχος για συμμετοχή συνθετικών καυσίμων (e-fuels) στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές κατά τον τρόπο υπολογισμού της RED II: 0.5 % το 2026, 1 % το 2028, 2% το 2030.

απόστασης. Στις περιπτώσεις των φορτηγών και των λεωφορείων, όπου το υδρογόνο θα μπορούσε από τεχνική, οικονομική και περιβαλλοντική άποψη να είναι μια κατάλληλη εναλλακτική λύση για την ηλεκτροκίνηση, λόγω των μικρών αποστάσεων και της πολύ μεγαλύτερης απόδοσης των μπαταριών, η ηλεκτροκίνηση εμφανίζεται να προκρίνεται για το εγγύς μέλλον (βλ. και σχετική ανάλυση της IRENA¹⁰⁶).

Τομείς που θα μπορούσαν να επωφεληθούν από την εισαγωγή υδρογόνου, αποτελούν η ναυτιλία και οι αεροπορικές μεταφορές. Η χρήση ενέργειας για τη διεθνή ναυτιλία εκτιμάται σε 275.6 ktoe, ενώ το αντίστοιχο μέγεθος για τις διεθνείς αεροπορικές μεταφορές είναι 95.2 ktoe. Οι ποσότητες αυτές είναι σημαντικές για τα μεγέθη της Κύπρου ώστε οι τομείς αυτοί να μπορούν να προσφέρουν την δυνατότητα για να πραγματοποιηθεί αρχικά η εισαγωγή υδρογόνου.

Σε κάθε περίπτωση, η διείσδυση του υδρογόνου σε αυτούς τους τομείς – όπου σύμφωνα με τα πλέον αισιόδοξα σενάρια μπορεί να φτάσει το 2% της τελικής κατανάλωσης των εν λόγω τομέων¹⁰⁷ – θα απαιτήσει την ανάπτυξη και των σχετικών παραγωγικών εγκαταστάσεων, γεγονός που κάνει ίσως ακόμη δυσκολότερη την πραγματοποίηση της διείσδυσης υδρογόνου, καθώς δεν υπάρχουν εγκαταστάσεις διύλισης στην Κύπρο.

¹⁰⁶ Αναφορά: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2020/Oct/2020-10-22-Joint-Webinar-IRENA-BENELUX_TE_website.pdf?la=en&hash=46FFF9377424045B085176611BED6BDE9E92FA61

¹⁰⁷ Πηγή: FCH (2020). Opportunities for Hydrogen Energy Technologies Considering the National Energy & Climate Plans, Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

4.1 Εισαγωγή στην παραγωγή υδρογόνου

Όπως παρουσιάστηκε και στα εισαγωγικά κεφάλαια της παρούσης έκθεσης, τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον για το υδρογόνο εντείνεται με ταχύτατους ρυθμούς.

Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί με διάφορες διεργασίες και από διάφορες πρώτες ύλες και πηγές ενέργειας, όπως είναι τα ορυκτά καύσιμα, η βιομάζα το νερό κ.ά. **Οι μέθοδοι παραγωγής του συνδέονται με ευρύ φάσμα εκπομπών, ανάλογα με την τεχνολογία και την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούνται.**

Σήμερα, το 95% της παραγωγής υδρογόνου στην Ευρωπαϊκή Ένωση προέρχεται από την διεργασία Αναμόρφωσης Μεθανίου με Ατμό (Steam Methane Reforming – SMR), και σε μικρότερο βαθμό από την διεργασία Αυτόθερμης Αναμόρφωσης (Autothermal Reforming – ATR)¹⁰⁸. Άλλες τεχνολογίες παραγωγής υδρογόνου περιλαμβάνουν την αεριοποίηση άνθρακα ή βιομάζας και την ηλεκτρόλυση του νερού με χρήση ανανεώσιμης ενέργειας. Καθεμία από αυτές τις τεχνολογίες βρίσκεται σε διαφορετικό στάδιο ανάπτυξης, με την τεχνολογία παραγωγής υδρογόνου από ηλεκτρόλυση του νερού να έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια καθώς αποτελεί το μονοπάτι παραγωγής που μπορεί να εκμεταλλευτεί την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ για την παραγωγή «ανανεώσιμου υδρογόνου».

Παρόμοια είναι η εικόνα και σε παγκόσμιο επίπεδο¹⁰⁹, με την αναμόρφωση του μεθανίου με ατμό να είναι η κυρίαρχη μέθοδος παραγωγής υδρογόνου στις βιομηχανίες αμμωνίας και μεθανόλης, καθώς και στα διυλιστήρια. Χρησιμοποιώντας 240 bcm (6% της παγκόσμιας ζήτησης το 2020), το φυσικό αέριο «τροφοδότησε» το 60% της ετήσιας παγκόσμιας παραγωγής υδρογόνου, ενώ 115 Mtce άνθρακα (2% της παγκόσμιας ζήτησης) «τροφοδότησαν» το 19% της παραγωγής υδρογόνου, κυρίως λόγω του κυρίαρχου ρόλου της εν λόγω μεθόδου στην Κίνα. Το πετρέλαιο και η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδότησαν το υπόλοιπο της ειδικής παραγωγής.

Ανάλογα με την τεχνολογία παραγωγής του, το υδρογόνο μπορεί να χαρακτηριστεί με εννιά (9) διαφορετικά «χρώματα». Αυτά τα χρώματα είναι: πράσινο, μπλε, γκρι, καφέ ή μαύρο, τirkουάζ, μωβ, ροζ, κόκκινο και λευκό. Στην παρούσα έκθεση, η ανάλυση επικεντρώνεται «μπλε υδρογόνο» και «πράσινο υδρογόνο», ενώ γίνεται και αναφορά στο «γκρι» για λόγους πληρότητας και λόγω συνάφειας με το «μπλε» (Σχήμα 0-1). Το Παράρτημα 1 παρουσιάζει εν

¹⁰⁸ Πηγή: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7e4afa7d-d077-11ea-adf7-01aa75ed71a1/language-en>

¹⁰⁹ Πηγή: IEA, *Global Hydrogen Review*. Paris 2021; <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>

συντομία τα εννιά (9) «χρώματα» του Υδρογόνου, ενώ παρακάτω θα συζητηθούν τρία (3) από αυτά: το γκρι, το μπλε και το πράσινο.

Γκρι Υδρογόνο: Ως γκρι υδρογόνο χαρακτηρίζεται το υδρογόνο που παράγεται είτε από φυσικό αέριο ή μεθάνιο, μέσω της διεργασίας αναμόρφωσης μεθανίου με ατμό (SMR) ή της διεργασίας αυτόθερμης αναμόρφωσης (ATR) είτε από άνθρακα μέσω της διεργασίας της αεριοποίησης. Ωστόσο, οι διεργασίες αυτές παρουσιάζουν υψηλό αποτύπωμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Το μεγάλο πρόβλημα που αντιμετωπίζει η παραγωγή γκρι υδρογόνου είναι ότι δεν συνάδει με τους στόχους περιορισμού των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, συνεπώς πρόκειται να αντικατασταθεί με νέες τεχνολογίες παραγωγής υδρογόνου.

Μπλε Υδρογόνο: Ως μπλε υδρογόνο χαρακτηρίζεται το υδρογόνο που παράγεται με τις ίδιες μεθόδους με τις οποίες παράγεται το γκρι υδρογόνο αλλά, στην περίπτωση αυτή, το διοξείδιο του άνθρακα που προκύπτει από τις διεργασίες δεσμεύεται με σκοπό την μόνιμη αποθήκευσή του ή την χρησιμοποίησή του σε άλλες χημικές διεργασίες. Υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ των τεχνολογιών οι τιμές των οποίων κυμαίνονται μεταξύ 65-95%, γεγονός το οποίο υποδηλώνει ότι αν και σημαντικά μειωμένες, εξακολουθούν να υφίστανται εκπομπές. Το μπλε υδρογόνο αναφέρεται ως υδρογόνο χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, λόγω των εκπομπών αυτών. Κατά τα πρώτα στάδια της ενεργειακής μετάβασης, η χρήση του μπλε υδρογόνου θα μπορούσε να διευκολύνει την ανάπτυξη μιας αγοράς υδρογόνου. Ωστόσο, η παραγωγή μπλε υδρογόνου αντιμετωπίζει δυσκολίες που έχουν περιορίσει μέχρι στιγμής την ανάπτυξή του: χρησιμοποιεί πεπερασμένους πόρους, επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις των τιμών των ορυκτών καυσίμων και δεν συνάδει με τους στόχους της ενεργειακής ασφάλειας¹¹⁰. Τέλος, το μπλε υδρογόνο αντιμετωπίζει προβλήματα κοινωνικής αποδοχής, καθώς συνδέεται με τα πρόσθετα κόστη για τη δέσμευση, μεταφορά και αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα.

Πράσινο Υδρογόνο: Ως πράσινο υδρογόνο (αναφέρεται επίσης και ως «καθαρό υδρογόνο» ή «ανανεώσιμο υδρογόνο») χαρακτηρίζεται το υδρογόνο που παράγεται χρησιμοποιώντας καθαρή ενέργεια από ΑΠΕ, όπως η ηλιακή ή η αιολική ενέργεια, για τον διαχωρισμό του νερού σε δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου μέσω της διαδικασίας της ηλεκτρόλυσης. Η παραγωγή πράσινου υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης χρησιμοποιώντας ανανεώσιμη ενέργεια, συνάδει πλήρως με τους στόχους μηδενικών εκπομπών μέχρι το 2050, για τον λόγο αυτό έχει αποκτήσει αυξημένο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο, με τα σημερινά τυπικά κόστη του απαιτούμενου εξοπλισμού, δεν είναι ακόμη ανταγωνιστικό σε σύγκριση με το υδρογόνο που παράγεται από ορυκτά καύσιμα. Επομένως, σε χώρες όπου υπάρχει σημαντική βιομηχανική υποδομή για παραγωγή υδρογόνου σαν βιομηχανικό αέριο, το μπλε υδρογόνο

¹¹⁰ Πηγή: IRENA, *Green Hydrogen: A guide to policy making*. Abu Dhabi 2020.

θα μπορούσε να είναι μια αρχική λύση, ενώ το πράσινο υδρογόνο θα μπορούσε να αποτελέσει την μόνιμη λύση παραγωγής υδρογόνου στο μέλλον.

Σχήμα 0-1 Χρωματική κατηγοριοποίηση υδρογόνου¹¹¹

	Γκρι Υδρογόνο	Μπλε Υδρογόνο	Πράσινο Υδρογόνο
Διεργασία	 αναμόρφωση μεθανίου με ατμό αυτόθερμη αναμόρφωση αεριοποίηση άνθρακα	 αναμόρφωση μεθανίου με ατμό αυτόθερμη αναμόρφωση αεριοποίηση άνθρακα Σε συνδυασμό με δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα	 Ηλεκτρόλυση
Πηγή Ενέργειας	Ορυκτά Καύσιμα	Ορυκτά Καύσιμα	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
Εκτιμώμενες Εκπομπές CO ₂	Αναμόρφωση: 9 – 11 Αεριοποίηση: 18 – 20	0,4-4,5 για 98% και 68% δέσμευση CO ₂ αντίστοιχα	0

Σύμφωνα με τα στοιχεία της IEA¹¹², η παγκόσμια ζήτηση υδρογόνου το 2020 ανήλθε σε 90 Mt και ικανοποιήθηκε σχεδόν εξ ολοκλήρου από υδρογόνο με βάση τα ορυκτά καύσιμα, με 72 Mt H₂ (79%) να προέρχονται από ειδικές μονάδες παραγωγής υδρογόνου. Το υπόλοιπο (21%), προήλθε ως παραπροϊόν από εγκαταστάσεις που έχουν σχεδιαστεί κυρίως για άλλα προϊόντα, όπως τα διυλιστήρια, στα οποία η αναμόρφωση της νάφθας στη βενζίνη έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό υδρογόνου. Η καθαρή ζήτηση υδρογόνου, κυρίως για την παραγωγή αμμωνίας και τη διύλιση του αργού πετρελαίου, αντιπροσώπευε 72 Mt H₂, ενώ 18 Mt H₂ αναμειγνύεται με άλλα αέρια και χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεθανόλης και την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου (Direct Reduced Iron ή DRI).

Η μέχρι σήμερα χρήση φυσικού αερίου και άνθρακα για παραγωγή υδρογόνου συνεπάγεται και σημαντικές εκπομπές CO₂. Συγκεκριμένα, παράγονται 10 τόνοι διοξειδίου του άνθρακα ανά τόνο υδρογόνου (tCO₂/tH₂) από φυσικό αέριο, 12 tCO₂/tH₂ από προϊόντα πετρελαίου και 19 tCO₂/tH₂ από άνθρακα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το συνολικό σχηματισμό CO₂ περίπου 830 MtCO₂/έτος από την παραγωγή υδρογόνου¹¹³.

¹¹¹ Πηγή: IRENA, *Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor*. Abu Dhabi 2022; <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>

¹¹² Αναφορά: IEA, *Global Hydrogen Review*. Paris 2021; <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>

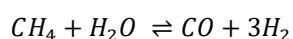
¹¹³ Πηγή: IEA, *The Future of Hydrogen*. Paris 2019; <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

4.2 Παραγωγή Μπλε Υδρογόνου

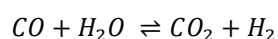
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα τεχνολογικά, οικονομικά¹¹⁴ και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της παραγωγής μπλε υδρογόνου.

Αναμόρφωση Μεθανίου με Ατμό (Steam Methane Reforming – SMR)

Η αναμόρφωση φυσικού αερίου ή μεθανίου με ατμό είναι η πλέον διαδεδομένη διεργασία παραγωγής υδρογόνου και η πιο τεχνολογικά ανεπτυγμένη, καθώς χρησιμοποιείται στην χημική βιομηχανία για πολλές δεκαετίες. Το μεθάνιο αποτελεί το κυριότερο συστατικό του φυσικού αερίου και η αναμόρφωση αυτού έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αερίου σύνθεσης, δηλαδή αερίου μείγματος υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα. Οι αντιδράσεις παραγωγής υδρογόνου παρουσιάζονται παρακάτω.



Αντίδραση αναμόρφωσης του μεθανίου



Αντίδραση μετάθεσης του νερού (WGS)

Η πρώτη αντίδραση είναι η αντίδραση αναμόρφωσης του μεθανίου και η δεύτερη είναι η αντίδραση μετάθεσης του νερού (Water Gas Shift, WGS). Η συνολική διεργασία περιλαμβάνει πολλαπλά στάδια αντίδρασης και διαχωρισμού των προϊόντων και κατά τη συνήθη βιομηχανική πρακτική επικρατούν ακραίες λειτουργικές συνθήκες. Η διεργασία της αναμόρφωσης πραγματοποιείται στον αναμορφωτή σε υψηλές θερμοκρασίες της τάξεως 800-1,000 °C, και υπό πίεση σε ένα εύρος 3-35 bar. Απαιτείται επίσης η παρουσία καταλυτών. Ανάλογα με την εκλεκτικότητα του καταλύτη και το ποσοστό κορεσμού των χρησιμοποιούμενων υδρογονανθράκων, η διάσπαση του υδρογονάνθρακα μπορεί να ευνοηθεί κατά τη διάρκεια της αντίδρασης με τον ατμό. Δεδομένων των υψηλών θερμοκρασιών που απαιτούνται για τη μετατροπή του μεθανίου σε υδρογόνο, απαιτούνται κοστοβόρα δομικά υλικά έτσι ώστε ο αναμορφωτής να αντέχει τις θερμικές καταπονήσεις. Καθώς το αέριο σύνθεσης που παράγεται στον αναμορφωτή έχει υψηλή περιεκτικότητα σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO), ακολουθεί η διεργασία μετάθεσης του νερού (WGS) με σκοπό την επιπλέον παραγωγή υδρογόνου με ταυτόχρονη μείωση του μονοξειδίου του άνθρακα.

Η συνολική διεργασία πραγματοποιείται σε δύο στάδια, σε δύο διαδοχικούς αντιδραστήρες με ενδιάμεση ψύξη. Στον πρώτο αντιδραστήρα (αντιδραστήρας μετατόπισης υψηλών θερμοκρασιών, 340–400°C) σημαντικό ποσοστό

¹¹⁴ Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει επί του παρόντος στην ανοιχτή βιβλιογραφία μια συνολική εκτίμηση των οικονομικών χαρακτηριστικών της κάθε τεχνολογίας με βάση τις αυξημένες τιμές ΦΑ, όπως αυτές διαμορφώθηκαν κατά το 1^ο τρίμηνο του 2022. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, πραγματοποιείται προσπάθεια να αναφέρονται οι θεωρούμενες υποθέσεις για το κόστος του ΦΑ κάθε φορά που αυτό καθορίζει το κόστος κάποιας τεχνολογίας παραγωγής. Η αύξηση της τιμής του ΦΑ θα συμπαρασύρει και το κόστος διάφορων τεχνολογιών.

μονοξειδίου του άνθρακα μετατρέπεται σε υδρογόνο, παρουσία καταλύτη οξειδίου του σιδήρου-χρωμίου, ενώ στον δεύτερο αντιδραστήρα (αντιδραστήρας μετατόπισης χαμηλών θερμοκρασιών, 200–250°C) το εναπομείναν μονοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε υδρογόνο παρουσία καταλύτη χαλκού ψευδαργύρου.

Συνολικά, η τελική απόδοση μετατροπής (conversion efficiency) είναι της τάξεως του 80 – 85% (σε όρους ανώτερης θερμογόνου δύναμης – HVV)^{115,116}.

Προκειμένου να ληφθεί καθαρό υδρογόνο, το αέριο τελικά καθαρίζεται σε κλίνες προσρόφησης που λειτουργούν με εναλλαγή πίεσης (Pressure Swing Adsorption, PSA), έτσι προκύπτει υδρογόνο καθαρότητας σχεδόν 100 %.

Κατά την διεργασία της αναμόρφωσης με ατμό, υπάρχουν δύο κύριες πηγές εκπομπών CO₂. Η μία πηγή είναι το CO₂ που παράγεται παράλληλα με το υδρογόνο στην αντίδραση WGS, με την άλλη να είναι το CO₂ που παράγεται από την εξωτερική πηγή θερμότητας που παρέχει τον ατμό υψηλής θερμοκρασίας για την αντίδραση. Η διαδικασία δέσμευσης του CO₂ είναι πολύ απλούστερη για την πρώτη, με τη δέσμευση του CO₂ από την καύση καυσίμου να είναι σχετικά δαπανηρή, καθώς πρέπει να διαχωριστεί από το άζωτο. Συνολικά, το 90% του συνόλου του CO₂ θεωρείται ότι μπορεί να δεσμευτεί.

Σημειώνεται, τέλος, ότι λόγω του σχεδιασμού των σχετικών εγκαταστάσεων, οι εγκαταστάσεις SMR χρειάζονται αρκετές ημέρες για να ενεργοποιηθούν ή να απενεργοποιηθούν. Ως εκ τούτου, μια εγκατάσταση SMR ενεργεί σε μεγάλο βαθμό ως παραγωγός βασικού φορτίου, δηλαδή ένας παραγωγός που λειτουργεί με σταθερό συντελεστή φορτίου (load factor, συνήθως υψηλός έως και 95%). Η τεχνολογία ποικίλει σε κλίμακα, αλλά είναι πιο πιθανό να αναπτυχθούν εγκαταστάσεις της κλίμακας των 100 MW. Η τεχνική διάρκεια ζωής μια τέτοιας εγκατάστασης φτάνει τα 40 έτη¹¹⁷.

[Αυτόθερμη Αναμόρφωση \(Autothermal Reforming – ATR\)](#)

Στην Αυτόθερμη Αναμόρφωση, σε αντίθεση με την αναμόρφωση με ατμό, η απαιτούμενη θερμότητα για την αντίδραση αναμόρφωσης προέρχεται από καύση μερικής ποσότητας φυσικού αερίου. Έτσι λοιπόν, κατά την διεργασία αυτόθερμης αναμόρφωσης, η οργανική πρώτη ύλη (π.χ. φυσικό αέριο) και ο

¹¹⁵ Πηγή: Chaubey, R., et al. (2013). "A review on development of industrial processes and emerging techniques for production of hydrogen from renewable and sustainable sources." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23: 443-462.

¹¹⁶ Πηγή: Sheet, H. F. (2005). "Hydrogen Production—Steam Methane Reforming (SMR)." New York State Energy Res. Dev. Authority New York.

¹¹⁷ Πηγή: <https://www.gov.uk/government/publications/hydrogen-production-costs-2021>

ατμός (και μερικές φορές διοξείδιο του άνθρακα) αναμιγνύονται απευθείας με το οξυγόνο και τον αέρα στον αναμορφωτή. Η διεργασία λαμβάνει χώρα σε ένα μόνο θάλαμο, υπό θερμοκρασία 850 °C, όπου το μεθάνιο οξειδώνεται μερικώς. Η αντίδραση είναι εξώθερμη λόγω της οξειδωσης. Μέσω αυτής της μεθόδου επιτυγχάνεται μετατροπή του μεθανίου προς παραγωγή υδρογόνου της τάξης του 60-65% με εκλεκτικότητα της τάξης του 80%.

Η κύρια διαφορά μεταξύ της αυτόθερμης αναμόρφωσης και της αναμόρφωσης ατμού-μεθανίου είναι ότι η αναμόρφωση ατμού-μεθανίου δεν χρησιμοποιεί ούτε απαιτεί οξυγόνο. Το πλεονέκτημα της αυτόθερμης αναμόρφωσης είναι ότι ο λόγος υδρογόνου προς μονοξείδιο του άνθρακα (H₂/CO) μπορεί να ποικίλλει, κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την παραγωγή ορισμένων βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς, όπως η σύνθεση διμεθυλαιθέρα, η οποία απαιτεί αναλογία H₂/CO 1:1. Ο αντιδραστήρας ATR είναι συμπαγής σε σχεδιασμό, έχει ευελιξία στη λειτουργία του, με μικρές περιόδους εκκίνησης και γρήγορες αλλαγές φορτίου και δεν παράγεται αιθάλη κατά την λειτουργία του.

Το κόστος παραγωγής υδρογόνου μέσω των διεργασιών SMR και ATR, σε παγκόσμιο επίπεδο, επηρεάζεται από τις τιμές του φυσικού αερίου και κυμαίνεται μεταξύ 0.5 USD και 1.7 USD ανά kg παραγόμενου υδρογόνου, θεωρώντας το κόστος του φυσικού αερίου να κυμαίνεται μεταξύ 2.6–6.8 USD/Mmbtu¹¹⁸.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της παραγωγής γκρι υδρογόνου είναι ότι οι τεχνολογίες αυτές είναι καθιερωμένες και χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια και ότι το κόστος της παραγωγής υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα στην σημερινή εποχή είναι σημαντικά χαμηλότερο από την παραγωγή υδρογόνου από ΑΠΕ.

Η τεχνολογία ποικίλλει σε κλίμακα, αλλά είναι πιο πιθανό να αναπτυχθεί εγκαταστάσεις της κλίμακας των 100 MW. Η τεχνική διάρκεια ζωής μια τέτοιας εγκατάστασης φτάνει τα 40 έτη¹¹⁹.

[Δέσμευση, αξιοποίηση και αποθήκευση άνθρακα \(Carbon Capture, Utilization and Storage – CCUS\)](#)

Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, κατά την παραγωγή υδρογόνου από επεξεργασία ορυκτών καυσίμων, παράγονται και ποσότητες CO₂. Επομένως, σε ένα πλαίσιο όπου η αποανθρακοποίηση είναι βασικό ζητούμενο των

¹¹⁸ Πηγή: IEA Global Hydrogen Review. Paris, 2021; <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>

¹¹⁹ Πηγή: <https://www.gov.uk/government/publications/hydrogen-production-costs-2021>

πολιτικών ενέργειας, απαιτείται ο συνδυασμός των τεχνολογιών ATR και SMR με τεχνολογίες CCUS.

Οι τεχνολογίες δέσμευσης, αξιοποίησης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (CCUS) αποτελούν μεθόδους μείωσης των συσσωρευμένων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Οι τεχνολογίες αυτές αποσκοπούν στην απομάκρυνση του διοξειδίου από τα καυσαέρια ρυπαντών ή απευθείας από την ατμόσφαιρα και στην ασφαλή και μόνιμη αποθήκευση του διοξειδίου ή την αξιοποίησή του ως εναλλακτική πρώτη ύλη για βιομηχανικές διεργασίες. Οι τεχνολογίες CCUS συνεχώς εξελίσσονται ενώ θεωρείται ότι με την επίτευξη οικονομιών κλίμακας μπορεί να αποτελέσουν τεχνολογίες που θα συμβάλλουν στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το κύριο παραπροϊόν των διεργασιών παραγωγής υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα. Η παραγωγή υδρογόνου από φυσικό αέριο σε συνδυασμό με CCUS μπορεί να διευκολύνει τη μετάβαση στην εποχή μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε περισσότερους από έναν τομείς, καθώς πολλές συνέργειες μπορούν να αξιοποιηθούν.

Η εγκατάσταση τεχνολογιών CCUS στις εγκαταστάσεις παραγωγής υδρογόνου μέσω SMR μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έως και 90%, εάν οι εγκαταστάσεις CCUS εφαρμοστούν τόσο στη διαδικασία παραγωγής υδρογόνου όσο και στην παραγωγή ενέργειας την οποία καταναλώνει η παραγωγή υδρογόνου.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι εγκαταστάσεις CCUS απαιτούν σημαντικό κεφάλαιο και η λειτουργία τους απαιτεί σημαντική κατανάλωση ενέργειας.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να πραγματοποιηθεί η δέσμευση CO₂ σε μια μονάδα SMR. Το CO₂ μπορεί να διαχωριστεί από το ρεύμα αερίου σύνθεσης υψηλής πίεσης, μειώνοντας τις εκπομπές έως και 60%. Η διεργασία αυτή κοστίζει κατά μέσο όρο 53 USD ανά τόνο διοξειδίου του άνθρακα (tCO₂) για εμπορικές εγκαταστάσεις, με βάση τις τρέχουσες τιμές φυσικού αερίου στην Ευρώπη (3 – 11 USD/MBtu)¹²⁰. Το CO₂ μπορεί επίσης να δεσμευτεί από τα πιο αραιωμένα καυσαέρια της κλίσης. Αυτό μπορεί να αυξήσει το επίπεδο της συνολικής μείωσης των εκπομπών σε 90% ή περισσότερο, αλλά αυξάνει επίσης το κόστος σε περίπου 80 USD/tCO₂ στις εμπορικές εγκαταστάσεις.

¹²⁰ Πηγή: IEA, The Future of Hydrogen. Paris, 2019; <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

Στις ATR εγκαταστάσεις, εφόσον το CO₂ παράγεται μέσα στον αντιδραστήρα, μπορούν να επιτευχθούν μεγαλύτεροι **ρυθμοί δέσμμευσης CO₂** σε σχέση με τις SMR εγκαταστάσεις. Οι ATR εγκαταστάσεις επιτρέπουν επίσης τη δέσμμευση εκπομπών με χαμηλότερο κόστος από τις SMR. Μελέτες έχουν δείξει η δέσμμευση διοξειδίου του άνθρακα σε εγκαταστάσεις SMR είναι πιο δαπανηρή από την δέσμμευση διοξειδίου του άνθρακα σε εγκαταστάσεις ATR θεωρώντας πώς σε κάθε περίπτωση ο στόχος είναι ένα ποσοστό δέσμμευσης 90%.

Πρέπει να σημειωθεί ακόμη, ότι προϋπόθεση για την περαιτέρω ανάπτυξη συστημάτων CCUS για SMR και ATR εγκαταστάσεις αποτελεί και η ανάπτυξη τοπικών υποδομών μεταφοράς και αποθήκευσης CO₂.

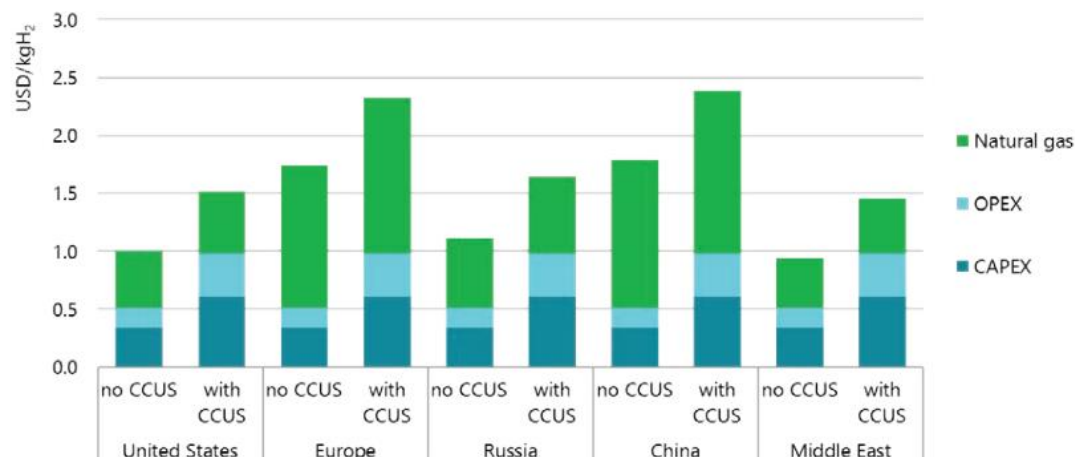
Τέλος, όσον αφορά στο κόστος που επιφέρει η δέσμμευση του CO₂, έρευνα σε Ευρωπαϊκό επίπεδο¹²¹ δείχνει ότι το κόστος παραγωγής υδρογόνου μέσω αναμόρφωσης SMR, βελτιστοποιημένο για να δεσμμεύει το 90% των εκπομπών, κυμαίνεται μεταξύ 1,190 – 2,110 €/τόνο H₂ (39 – 63 EURO/MWh), θεωρώντας το κόστος φυσικού αερίου να κυμαίνεται μεταξύ 17 – 25 EURO/MWh. Παράλληλα, το κόστος παραγωγής υδρογόνου μέσω αυτόθερμης αναμόρφωσης ATR, ανέρχεται στα 1,190 – 1,850 EURO/tH₂ (36 – 56 EURO/MWh). Τα κόστη παραγωγής μπλε υδρογόνου για το 2019 εκτιμώνται στα 47 και 51 EURO/MWh για παραγωγή μέσω ATR και SMR αντίστοιχα, θεωρώντας το κόστος φυσικού αερίου ίσο με 0.31 EURO/m³. Η IEA¹²² παράλληλα, εκτιμά το κόστος παραγωγής υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα σε συνδυασμό με CCUS να ανέρχεται στα 1 με 2 USD ανά kg παραγόμενου υδρογόνου παγκοσμίως, θεωρώντας το κόστος του φυσικού αερίου να κυμαίνεται μεταξύ 2.6–6.8 USD/Mmbtu.

Στο Σχήμα 0-2 παρατηρείται η επίδραση του κόστους του φυσικού αερίου του CAPEX και του OPEX στην τελική τιμή του υδρογόνου για το 2018 και για διάφορες περιοχές όταν αυτό παράγεται από φυσικό αέριο μέσω SMR. Είναι προφανές πως οι νέες αυξημένες τιμές του φυσικού αερίου πρόκειται να ανεβάσουν αρκετά το κόστους του παραγόμενου γκρι και μπλε υδρογόνου. Τα κόστη προκύπτουν θεωρώντας CAPEX SMR 500-900 USD/MW, CAPEX SMR με CCS 900-1,600 USD/MW και κόστος φυσικού αερίου 3-11 USD/MBtu.

¹²¹ Αναφορά: Terlouw, W., et al. (2019). "Gas for Climate. The optimal role for gas in a net-zero emissions energy system." Navigant Netherlands BV; <https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2020/03/Navigant-Gas-for-Climate-The-optimal-role-for-gas-in-a-net-zero-emissions-energy-system-March-2019.pdf>

¹²² Πηγή: IEA (2021). Global Hydrogen Review. Paris, International Energy Agency

Σχήμα 0-2 Επίδραση του κόστους του φυσικού αερίου, του CAPEX και του OPEX στην τελική τιμή του υδρογόνου για διάφορες περιοχές το 2018¹²³



Notes: kgH₂ = kilogram of hydrogen; OPEX = operational expenditure. CAPEX in 2018: SMR without CCUS = USD 500–900 per kilowatt hydrogen (kW_{H₂}), SMR with CCUS = USD 900–1 600/kW_{H₂}, with ranges due to regional differences. Gas price = USD 3–11 per million British thermal units (MBtu) depending on the region. More information on the underlying assumptions is available at www.iea.org/hydrogen2019.

Source: IEA 2019. All rights reserved.

4.3 Παραγωγή Πράσινου Υδρογόνου

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα τεχνολογικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της παραγωγής πράσινου υδρογόνου.

Η ηλεκτρόλυση είναι η χημική διαδικασία που διαχωρίζει το νερό (H₂O) σε υδρογόνο (H₂) και οξυγόνο (O₂) με χρήση ηλεκτρισμού. Το μεγαλύτερο ποσοστό εγκατεστημένης ηλεκτρόλυσης από τα συνολικά 270 MW εγκατεστημένης ισχύος το 2020 κατέχει η Ευρώπη (>40%) και ακολουθούν ο Καναδάς (9%) και η Κίνα (8%)¹²⁴.

Υπάρχουν σχέδια για μονάδες ή εγκαταστάσεις ηλεκτρόλυσης που θα κατασκευαστούν σε διάφορα μεγέθη σε κλίμακα 100 MW, ωστόσο αυτά τα μεγάλα έργα αποτελούνται από μια σειρά μικρότερων μονάδων. Επί του παρόντος, τα μεγέθη των ηλεκτρολυτών είναι συνήθως έως 5 MW.

Οι ηλεκτρολύτες, συσκευές που μπορούν να διασπάσουν το νερό σε οξυγόνο και υδρογόνο, εφευρέθηκαν πριν από 200 χρόνια. Σήμερα, υπάρχουν πολλές τεχνολογίες ηλεκτρόλυσης νερού. Τέσσερις από τις πιο υποσχόμενες είναι οι

¹²³ Πηγή: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/hydrogen-production-costs-using-natural-gas-in-selected-regions-2018-2>

¹²⁴ Πηγή: IEA Global Hydrogen Review. Paris, 2021; <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>

ακόλουθες: αλκαλική ηλεκτρόλυση (ALK), ηλεκτρόλυση σε πολυμερικής μεμβράνης ή μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων ηλεκτρολύτες (PEM), η κυψέλη ηλεκτρόλυσης στερεού ηλεκτρολύτη (SOEC) και ηλεκτρόλυση σε ηλεκτρολύτες μεμβρανών ανταλλαγής ανιόντων (AEM). Η παρούσα εγκατεστημένη ηλεκτρόλυση αφορά κυρίως σε αλκαλικούς ηλεκτρολύτες (61%) και σε ηλεκτρολύτες PEM (31%). Οι ηλεκτρολύτες AEM εξακολουθούν να είναι σχετικά νέοι και έχουν περιορισμένη ανάπτυξη. Βασικά στοιχεία που περιλαμβάνουν τις συνθήκες λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά για κάθε τύπο ηλεκτρολύτη παρατίθενται στον Πίνακα 0-1.

Η βασική αρχή μιας μονάδας ηλεκτρόλυσης νερού αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια που χωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης είναι το μέσο που είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά των παραγόμενων χημικών φορτίων (ανιόντα (-) ή κατιόντα (+)) από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο. Στον αλκαλικό τύπο (ALK), ο ηλεκτρολύτης που είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά των ανιόντων OH^- είναι συνήθως ένα συμπυκνωμένο διάλυμα υδροξειδίου του καλίου (KOH). Τα ηλεκτρόδια και τα παραγόμενα αέρια διαχωρίζονται φυσικά από ένα πορώδες ανόργανο διάφραγμα (που ονομάζεται διαχωριστής) που είναι διαπερατό στο διάλυμα KOH. Στους ηλεκτρολύτες PEM, AEM και SOEC, τα ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από έναν στερεό ηλεκτρολύτη που μονώνει τα ηλεκτρόνια, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά ιόντων από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο και ταυτόχρονα τον φυσικό διαχωρισμό των παραγόμενων αερίων. Στις τεχνολογίες αυτές δεν υπάρχει ανάγκη προσθήκης υγρού διαλύματος ηλεκτρολύτη και η μεταφορά ιόντων γίνεται εντός των στοιχείων των PEM, AEM ή SOEC ηλεκτρολυτών.

Πίνακας 0-1 Συνθήκες λειτουργίας και χαρακτηριστικά για τους τέσσερις τύπους ηλεκτρόλυσης¹²⁵

Τεχνολογία	ALK	PEM	AEM	SOEC	Μονάδες
	Ωριμη Τεχνολογία	Εμπορικής Κλίμακας		Κλίμακα Επιδείξεων	
Θερμοκρασία Λειτουργίας	70 - 90	50 - 80	40 - 60	700 - 850	°C
Πίεση Λειτουργίας	1 - 3	< 70	< 35	1	bar
Απόδοση Συστήματος	50 - 78	50 - 83	57 - 69	45-55	kWh/kgH ₂
Διάρκεια Ζωής	60	50 - 80	> 5	20 <	10 ³ h
Ηλεκτρολύτης	Υδροξείδιο του καλίου (KOH) 5 - 7 mol/L	Μεμβράνες PFSA	Πολυμερές DVB με KOH και NaHCO ₃ 1 mol/L	Ζιρκόνια σταθεροποιημένη με ύττρια (yttria stabilized zirconia - YSZ)	
Διαχωριστής	ZrO ₂ σταθεροποιημένο μέσω πλέγματος PPS	Στερεός Ηλεκτρολύτης (πάνω)	Στερεός Ηλεκτρολύτης (πάνω)	Στερεός Ηλεκτρολύτης (πάνω)	
Ηλεκτρόδιο/Καταλύτης (πλευρά οξυγόνου)	Επινικελωμένος Διάτρητος Ανοξειδωτος Χάλυβας	Οξειδίο του Ιριδίου	Υψηλή επιφάνεια Νικέλιο ή κράματα NiFeCo	Τύπου περοβσκίτη (π.χ. LSCF, LSM)	
Ηλεκτρόδιο/Καταλύτης (πλευρά υδρογόνου)	Επινικελωμένος Διάτρητος Ανοξειδωτος Χάλυβας	Νανοσωματίδια πλατίνας σε μαύρο άνθρακα	Υψηλή επιφάνεια νικελίου	Νικέλιο/YSZ	
Πορώδες Στρώμα Μεταφοράς Ανόδου	Πλέγμα Νικελίου (όχι πάντα παρόν)	Πυροσυσσωματωμένο πορώδες τιτάνιο με επικάλυψη πλατίνας	Αφρός Νικελίου	Χοντρό πλέγμα νικελίου ή αφρός	
Πορώδες Στρώμα Μεταφοράς Καθόδου	Πλέγμα Νικελίου	Πυροσυσσωματωμένο πορώδες τιτάνιο ή ύφασμα άνθρακα	Αφρός Νικελίου ή ύφασμα άνθρακα	Όχι	

¹²⁵ Πηγή: IRENA (2020). Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal. Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency, και IRENA (2020). Green Hydrogen: A guide to policy making. Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency.

Τεχνολογία	ALK	PEM	AEM	SOEC	Μονάδες
	Ωριμη Τεχνολογία	Εμπορικής Κλίμακας		Κλίμακα Επιδείξεων	
Διπολική Πλάκα Ανόδου	Επινικελωμένος Ανοξειδωτος Χάλυβας	Τιτανίου επικαλυμμένου με πλατίνα	Επινικελωμένος Ανοξειδωτος Χάλυβας	Όχι	
Διπολική Πλάκα Καθόδου	Επινικελωμένος Ανοξειδωτος Χάλυβας	Τιτανίου επικαλυμμένου με χρυσό	Επινικελωμένος Ανοξειδωτος Χάλυβας	Ανοξειδωτος Χάλυβας επικαλυμμένος με Κοβάλτιο	
Πλαίσιο και στεγανοποίηση	PSU, PTFE, EDPM	PTFE, PSU, ETFE	PTFE, Πυρίτιο	Κεραμικό Γυαλί	

Η ηλεκτρόλυση ALK είναι η πιο ώριμη μορφή ηλεκτρόλυσης με περίπου 90 χρόνια επιχειρησιακής εμπειρίας. Σημειώνεται όμως ότι η ηλεκτρόλυση ALK προσφέρει λιγότερη ευελιξία σε σύγκριση με την ηλεκτρόλυση PEM αναφορικά με το εύρος του φορτίου και την χρονική απόκριση.

Η απόδοση ηλεκτρικής μετατροπής του αλκαλικού ηλεκτρολύτη θεωρείται ότι θα αυξηθεί από 77% το 2020 σε 82% το 2050. Η ικανότητα του αλκαλικού ηλεκτρολύτη στην αυξομείωση της παραγωγής υδρογόνου είναι ταχύτερη από αυτή των μονάδων αναμόρφωσης φυσικού αερίου. Ωστόσο, σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες ηλεκτρολύτη, όπως τους ηλεκτρολύτες μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEM), οι αλκαλικοί ηλεκτρολύτες ανταποκρίνονται πιο αργά σε μια κυμαινόμενη τροφοδοσία ρεύματος, επομένως ενδέχεται να είναι πιο δύσκολο και δαπανηρό να συνδυαστούν αποτελεσματικά με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Οι ηλεκτρολύτες μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEM) διασπούν το νερό χρησιμοποιώντας ένα ιονικά αγώγιμο στερεό πολυμερές και θεωρείται ότι επιτυγχάνουν αποδόσεις ηλεκτρικής μετατροπής περίπου 72% το 2020 και προβλέπεται να φτάσουν το 82% το 2050. Η ηλεκτρόλυση PEM έχει γρήγορη απόκριση σε μια κυμαινόμενη τροφοδοσία ρεύματος. Ως εκ τούτου, είναι ιδανικοί για σύζευξη, για παράδειγμα, με ειδικά αιολικά πάρκα για παραγωγή υδρογόνου χαμηλών εκπομπών άνθρακα ή για την παροχή ταχείας απόκρισης στο δίκτυο.

Οι σύγχρονοι ηλεκτρολύτες PEM θεωρούνται καταλληλότεροι για ευρύτερο φάσμα υπηρεσιών δικτύου. Οι ηλεκτρολύτες PEM μπορούν να διατηρηθούν σε κατάσταση αναμονής με ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και είναι σε θέση να λειτουργήσουν για μικρό χρονικό διάστημα (συνήθως 10 λεπτά) σε πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα από το ονομαστικό φορτίο, δυνατότητα που μπορεί να αξιοποιηθεί για την παροχή πρωτογενούς αποθεματικού¹²⁶. Ωστόσο, απαιτούνται πρόσθετες δαπάνες για το σύστημα ψύξης και την παροχή ρεύματος. Επιπλέον, οι καταλύτες PEM χρησιμοποιούν ακριβά μέταλλα, γεγονός που ανεβάζει το κόστος τους. Τέλος, οι απαιτήσεις σε χώρο των ηλεκτρολυτών PEM είναι σχετικά μικρές, καθιστώντας τους δυνητικά πιο ελκυστικούς από τους ηλεκτρολύτες ALK σε πυκνές αστικές περιοχές.

Η κύρια συνιστώσα κόστους για το πράσινο υδρογόνο είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη μέσω της ανταγωνιστικής ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

¹²⁶ Πηγή: FCH, Opportunities for Hydrogen Energy Technologies Considering the National Energy & Climate Plans. 2020, Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking

Δεδομένα για το κόστος και την απόδοση των ηλεκτρολυτών ALK και PEM για τα έτη 2017 και 2025 παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 4-2 από τον οποίο προκύπτει ότι η αλκαλική ηλεκτρόλυση είναι οικονομικότερη λύση σε σχέση με την ηλεκτρόλυση PEM. Η υψηλή πίεση εξόδου στους ηλεκτρολύτες PEM εξηγεί την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με τους ηλεκτρολύτες ALK. Ωστόσο, η λειτουργία του ηλεκτρολύτη σε υψηλή πίεση μειώνει την ενεργειακή κατανάλωση που σχετίζεται με την συμπίεση του υδρογόνου, η οποία απαιτείται για την μεταφορά του.

Πίνακας 0-2 Σύνοψη των δεδομένων κόστους και απόδοσης των επιλεγμένων ηλεκτρολυτών¹²⁷

Τύπος Ηλεκτρολύτη		ALK						PEM					
		2017 @ P atm			2025 @ 15 bar			2017 @ 30 bar			2025 @ 60 bar		
Ονομαστική Ισχύς	Μονάδες	1 MW	5 MW	20 MW	1 MW	5 MW	20 MW	1 MW	5 MW	20 MW	1 MW	5 MW	20 MW
Ελάχιστη ισχύς	% P _{nom}		15 %			10%			5%			0%	
Μέγιστη ισχύς – για 10'	% P _{nom}		10%%			100%			160%			200%	
Πίεση εξόδου	Bar		0 bar			15 bar			30 bar			60 bar	
Κατανάλωση ενέργειας @ P _{ονομ}	kWhe/kg	58	52	51	55	50	49	63	61	58	54	53	52
Κατανάλωση νερού	L/kg	15L/kg											
Διάρκεια ζωής Συστήματος	Years	20 years											
Διάρκεια ζωής Συστοιχίας - πλήρες φορτίο	hr	80,000 h			90,000 h			40,000 h			50,000 h		
Μείωση απόδοσης Σύστηματος	%1,000 h	0.13%			0.11%			0.25%			0.20%		
Διαθεσιμότητα	% year	> 98%											
Κεφαλαιουχικές δαπάνες – Συνολικός εξοπλισμός συστήματος	€/kW	1200	830	750	900	600	480	1500	1300	1200	1000	900	700
Λειτουργικές δαπάνες – Σύστημα ηλεκτρολυτών	%CAPEX	4%	3%	2%	4%	3%	2%	4%	3%	2%	4%	3%	2%
Κεφαλαιουχικές δαπάνες – Αντικατάσταση συστοιχίας	€/kW	420	415	338	315	300	216	525	455	420	300	270	210

¹²⁷ Πηγή: Hydrogen Joint Undertaking, Study on early business cases for H₂ in energy storage and more broadly power to H₂ applications. 2017.
https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/P2H_Full_Study_FCHJU.pdf

Ενώ η αλκαλική ηλεκτρόλυση και η ηλεκτρόλυση PEM είναι χαμηλής θερμοκρασίας διεργασίες, η κυψέλη ηλεκτρόλυσης στερεού ηλεκτρολύτη (SOEC) χρησιμοποιεί ηλεκτρόλυση υψηλής θερμοκρασίας (~500 °C). Αν και η SOEC δεν είναι ακόμη ευρέως διαθέσιμη εμπορικά, περιλαμβάνεται στην παρούσα έκθεση λόγω των δυνατοτήτων της τεχνολογίας σε μεγάλη κλίμακα, μόλις ωριμάσει. Βασικό πλεονέκτημα είναι ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες καθιστούν την ηλεκτρόλυση πιο αποτελεσματική. Η έκθεση προϋποθέτει απόδοση μετατροπής 74% το 2020 έως και 86% για το 2050. Εάν, επιπλέον, αξιοποιηθεί η απορριπτόμενη θερμότητα, μπορούν να επιτευχθούν ηλεκτρικές αποδόσεις άνω του 100%. Η SOEC ηλεκτρόλυση θα ήταν πιο ακριβή εάν η τιμή για την απορριπτόμενη θερμότητα ήταν μη μηδενική.

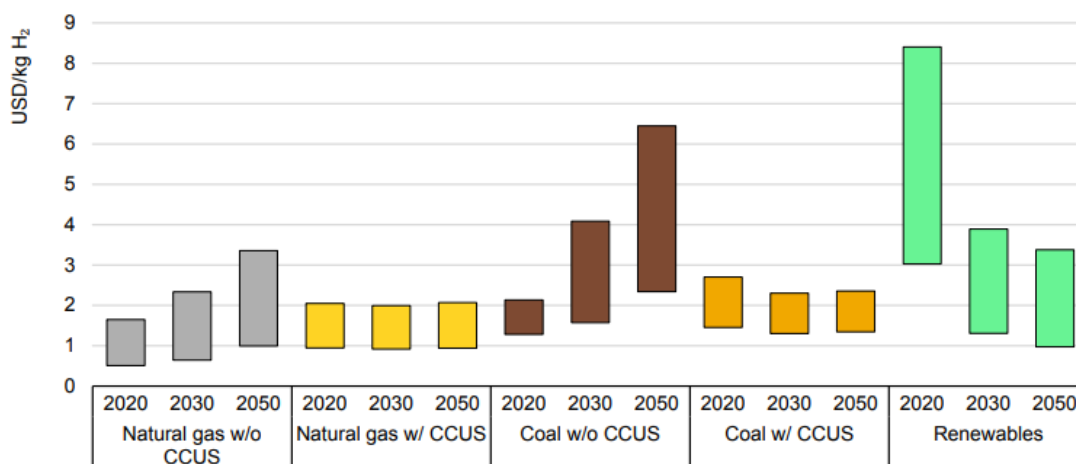
Η τεχνολογία SOEC υπόσχεται μεγαλύτερη απόδοση σε σύγκριση με την ηλεκτρόλυση ALK και την ηλεκτρόλυση PEM. Ωστόσο, η ηλεκτρόλυση SOEC είναι μια λιγότερο ώριμη τεχνολογία, που υφίσταται μόνο σε εργαστηριακή κλίμακα και σε μικρά έργα επίδειξης. Το επενδυτικό του κόστος (CAPEX) είναι επί του παρόντος υψηλότερο. Ωστόσο, η παραγωγή SOEC απαιτεί κυρίως κεραμικά και λίγα σπάνια υλικά για τους ηλεκτρολύτες, ενώ οι ηλεκτρολύτες PEM χρειάζονται σημαντικές ποσότητες πλατίνας.

Το κόστος παραγωγής ανανεώσιμου υδρογόνου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία επηρεάζεται από τον τύπο των διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τον σχετικό παράγοντα χωρητικότητάς τους. Σήμερα, παγκοσμίως το κόστος παραγωγής υδρογόνου με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εκτιμάται μεταξύ 3 USD και 8 USD ανά kg παραγόμενου υδρογόνου¹²⁸. Το εύρος των εκτιμήσεων του κόστους παραγωγής υδρογόνου αντικατοπτρίζει τις τοπικές διακυμάνσεις στο κόστος των ανανεώσιμων πόρων. Σήμερα, ούτε το ανανεώσιμο υδρογόνο ούτε το υδρογόνο ορυκτών καυσίμων με δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα είναι ανταγωνιστικά από άποψη κόστους έναντι του υδρογόνου ορυκτών καυσίμων.

Στο Σχήμα 0-3 παρουσιάζεται η εκτίμηση του κόστους παραγωγής υδρογόνου από διάφορες τεχνολογίες για τα έτη 2020, 2030 και 2050 (στις περιπτώσεις τεχνολογίας CUUS η δέσμευση διοξειδίου το άνθρακα αφορά σε ποσοστό 90-95%).

¹²⁸ Πηγή: IEA (2021). Global Hydrogen Review. Paris, International Energy Agency.

Σχήμα 0-3 Εκτιμώμενο κόστος παραγωγής υδρογόνου από διαφορετικές τεχνολογίες¹²⁹



IEA. All rights reserved.

Εκτός από ενέργεια, η παραγωγή υδρογόνου απαιτεί νερό. Η ηλεκτρόλυση νερού χρησιμοποιεί περίπου 9 κιλά νερού ανά κιλό υδρογόνου, η παραγωγή υδρογόνου από φυσικό αέριο σε συνδυασμό με CCUS ανεβάζει τη χρήση νερού στα 13-18 kg H₂O/kg H₂, ενώ η αεριοποίηση άνθρακα την εκτινάσσει στα 40-85 kg H₂O/kg H₂, που οφείλεται και στις ανάγκες κατανάλωσης νερού για την εξόρυξη άνθρακα¹³⁰.

Στο Σχήμα 0-4 παρατίθεται η εκτίμηση του Global CCS Institute για την ένταση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτουν από τις διάφορες μεθόδους παραγωγής υδρογόνου. Οι μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου που παρουσιάζουν τις υψηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, περίπου ίσες με 22 kgCO₂/kgH₂ είναι η αεριοποίηση άνθρακα προς παραγωγή υδρογόνου χωρίς δέσμευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και η ηλεκτρόλυση του νερού με ενέργεια που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η ενέργεια προέρχεται από μονάδα φυσικού αερίου συνδυασμένου κύκλου (Natural Gas Combined Cycle - NGCC).

Επιπλέον, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο για την ηλεκτρόλυση του νερού παράγει επίσης υδρογόνο υψηλών εκπομπών, εκτός εάν η διείσδυση ΑΠΕ στο δίκτυο είναι πολύ μεγάλη. Για παράδειγμα, εάν το δίκτυο ηλεκτρισμού έχει ένταση εκπομπών ισοδύναμη με τις εκπομπές ενός σταθμού NGCC (400 kgCO₂/MWh) και το 63% της ενέργειας που παρέχεται στους ηλεκτρολύτες προέρχεται από το δίκτυο με το υπόλοιπο 37% να είναι από αποκλειστική παραγωγή ΑΠΕ, το υδρογόνο που παράγεται θα έχει ένταση εκπομπών περίπου 14 kgCO₂/kgH₂ που είναι μεγαλύτερη από την ένταση των εκπομπών που

¹²⁹ Πηγή: IEA, The Future of Hydrogen. 2019, International Energy Agency: Paris.

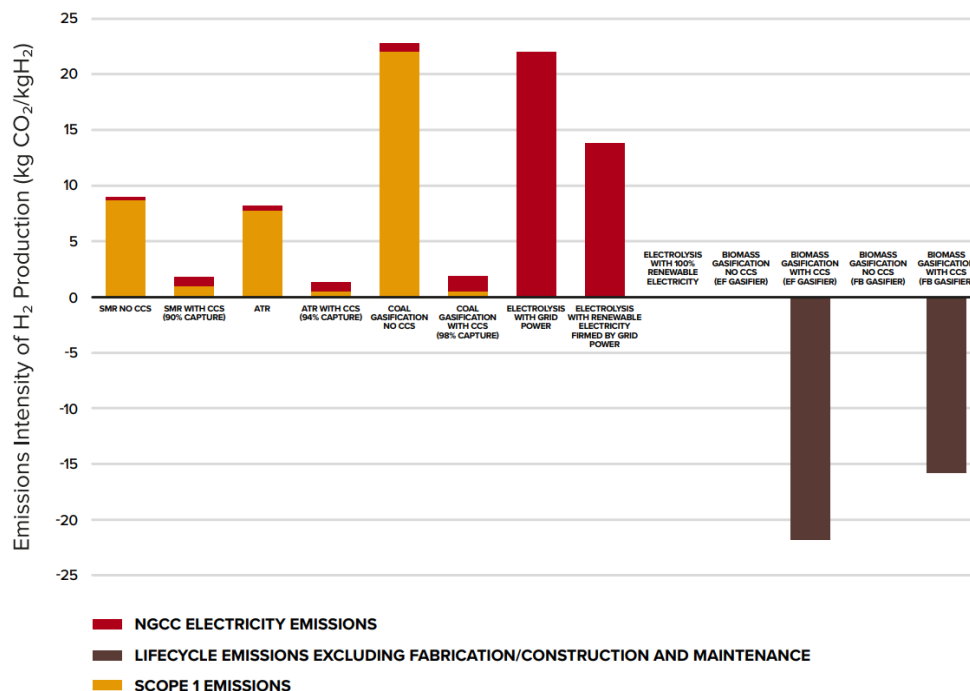
¹³⁰ Πηγή: IEA (2021). Global Hydrogen Review. Paris, International Energy Agency.

προκύπτουν από την παραγωγή υδρογόνου μέσω αναμόρφωσης μεθανίου με ατμό (SMR) ή μέσω αυτόθερμης αναμόρφωσης μεθανίου (ATR) χωρίς να πραγματοποιείται δέσμευση των εκπομπών. Ένα σημαντικό συμπέρασμα από την ανάλυση αυτή είναι ότι οι εγκαταστάσεις ηλεκτρόλυσης δεν πρέπει να τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από δίκτυο που έχει μεγάλη συμμετοχή σε ορυκτά καύσιμα, καθώς στην περίπτωση αυτή θα προκύπτουν υψηλότερες εκπομπές CO₂ σε σχέση με την συμβατική παραγωγή υδρογόνου μέσω SMR χωρίς CCS.

Παράλληλα, το υδρογόνο που παράγεται από ορυκτά καύσιμα είτε μέσω SMR και ATR είτε μέσω αεριοποίησης του άνθρακα σε συνδυασμό με CCS σε ποσοστό δέσμευσης 90%, 94% και 98% αντίστοιχα παρουσιάζει πολύ χαμηλή ένταση εκπομπών ίση περίπου με 1 – 2 kgCO₂/kgH₂, ενώ, το υδρογόνο που παράγεται από 100% ΑΠΕ και από αεριοποίηση βιομάζας χωρίς CCS παρουσιάζει μηδενικές εκπομπές. Τέλος, η παραγωγή υδρογόνου μέσω αεριοποίησης βιομάζας σε συνδυασμό με CCS μπορεί να οδηγήσει σε αρνητικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καθιστώντας αυτή την λύση την πιο ελκυστική με βάση τους στόχους περιορισμού των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Ωστόσο, η αεριοποίηση της βιομάζας για την παραγωγή υδρογόνου βρίσκεται ακόμα σε περιορισμένη ανάπτυξη.

Σχήμα 0-4 Εκτιμήσεις της έντασης εκπομπών διοξειδίου των διαφόρων μεθόδων παραγωγής υδρογόνου¹³¹

¹³¹ Πηγή: Global CCS Institute (2021). Blue Hydrogen; <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/04/Circular-Carbon-Economy-series-Blue-Hydrogen.pdf>



4.4 Δυνατότητες παραγωγής υδρογόνου στην Κύπρο

Σήμερα, η Κύπρος εξακολουθεί να βασίζεται σε εισαγόμενα προϊόντα πετρελαίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συνεπώς η ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί ενδιαφέρουσα λύση. Ωστόσο, καθώς η Κύπρος διαθέτει ένα απομονωμένο ενεργειακό δίκτυο, χωρίς δυνατότητα διασυνδέσεων για αντιμετώπιση πιθανών ελλείψεων ή πλεονασμάτων ηλεκτρικής ενέργειας από εισαγωγές ή εξαγωγές, υπάρχει σημαντική ανάγκη για ευελιξία στο εθνικό ενεργειακό σύστημα. **Το υδρογόνο μπορεί να αποτελέσει πάροχο ευελιξίας για την εξισορρόπηση της ζήτησης και της προσφοράς ενέργειας ανά πάσα στιγμή. Συνεπώς, η επένδυση στην παραγωγή και αποθήκευση υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές αποτελεί μια σημαντική ευκαιρία για την Κύπρο.**

Η Κύπρος διαθέτει σημαντικό δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυρίως ηλιακής. Αυτό το δυναμικό θα μπορούσε να αξιοποιηθεί καλύτερα εάν οι μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές συνδυάζονταν με ηλεκτρολύτες προς την παραγωγή ανανεώσιμου υδρογόνου.

Μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με τα συστήματα αποθήκευσης υδρογόνου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου, το οποίο δύναται να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για τις μεταφορές, ως βιομηχανικό καύσιμο και στον οικιακό τομέα με την ανάπτυξη δικτύου διανομής. Πέραν όμως των

σχετικών τεχνολογικών δυνατοτήτων που υπάρχουν, η σκοπιμότητα της ανάπτυξης των σχετικών εγκαταστάσεων και υποδομών κατά μήκος της αλυσίδας αξίας θα πρέπει να μελετηθεί και ως προς τις δυνατότητες της αγοράς (βλ. Κεφάλαιο 3).

Επιπλέον, στην περίπτωση της Κύπρου, θαλασσινό νερό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί προς παραγωγή πράσινου υδρογόνου. Η χρήση θαλασσινού νερού απευθείας στον ηλεκτρολύτη προκαλεί διάβρωση του εξοπλισμού και παράγει χλώριο, συνεπώς, πρέπει να προηγηθεί αφαλάτωση του νερού προτού εισέλθει στον ηλεκτρολύτη. Η μέθοδος αντίστροφης ώσμωσης για αφαλάτωση του νερού απαιτεί 3 – 4 kWh ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε κυβικό μέτρο νερού που χρησιμοποιείται και το κόστος παγκοσμίως κυμαίνεται στα 0.70-2.50 USD ανά m³ (στις υφιστάμενες μονάδες αφαλάτωσης της Κύπρου η τιμή πώλησης νερού κυμαίνεται μεταξύ 0.64 – 0.92 €/m³), που έχει ελάχιστη επίδραση στο συνολικό κόστος της ηλεκτρόλυσης νερού, καθώς αυξάνει το συνολικό κόστος παραγωγής υδρογόνου κατά μόλις 0.01-0.02 USD/kg H₂¹³². Αυξημένες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας θα οδηγήσουν σε αύξηση του κόστους αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού χωρίς, ωστόσο να μεταβάλλουν σημαντικά το συνολικό κόστος παραγωγής υδρογόνου.

Θεωρώντας ότι η Κύπρος θα μπορέσει να εξορύξει τα δικά της αποθέματα φυσικού αερίου, θα ήταν δυνατό να αναπτυχθεί μια μακροπρόθεσμη ενεργειακή στρατηγική που θα βασίζεται στην αναμόρφωση του φυσικού αερίου με ταυτόχρονη δέσμευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτουν από την διεργασία, δηλαδή στην παραγωγή μπλε υδρογόνου. Όμως, η δυνατότητα για ευρείας κλίμακας ανάπτυξη CCUS στην Κύπρο δεν έχει μελετηθεί επαρκώς. Σημειώνεται ότι ειδικές μελέτες που θα στοχεύουν στην εύρεση γεωλογικών δομών για την μόνιμη αποθήκευση CO₂ καθώς και σχέδια αξιοποίησης του δεσμευμένου CO₂ προς παραγωγή χημικών ή καυσίμων θα μπορούσαν να ενθαρρύνουν την παραγωγή μπλε υδρογόνου στην Κυπριακή Δημοκρατία.

[Οφέλη και τρόποι ενσωμάτωσης εγκαταστάσεων Power-to-gas στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας](#)

Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας προς αέριο επιτρέπει την εκμετάλλευση της πλεονάζουσας ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).

Η μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε αέριο (Power-to-gas), στην συγκεκριμένη περίπτωση υδρογόνο μέσω ηλεκτρόλυσης νερού, και η χρήση αυτού, όποτε χρειαστεί, στην παραγωγή ενέργειας όποτε χρειαστεί, στις μεταφορές ή στη

¹³² Πηγή: IEA (2021). Global Hydrogen Review. Paris, International Energy Agency.

βιομηχανία μπορεί να αξιοποιήσει παραγωγικά σχεδόν όλη την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) συμβάλλοντας στον περιορισμό ακόμα και στον μηδενισμό του ανθρακικού αποτυπώματος αυτών των τομέων. **Απαιτείται, βέβαια, να υπάρχει τοπική ζήτηση για υδρογόνο στον τόπο παραγωγής του είτε να μπορεί να μεταφερθεί οικονομικά το υδρογόνο σε ένα κέντρο ζήτησης, είτε να μπορεί να αποθηκευτεί για μικρά ή μεγάλα χρονικά διαστήματα ώστε να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά σύμφωνα με τις ανάγκες της αγοράς.**

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Στην ευρεία χρήση του υδρογόνου από τον ενεργειακό τομέα, πέρα από την τεχνολογία παραγωγής υδρογόνου πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα υποσυστήματα που σχετίζονται άμεσα με την οικονομία του υδρογόνου και αφορούν στην εφοδιαστική αλυσίδα του υδρογόνου και κυρίως στην μεταφορά του και στην αποθήκευσή του.

Η μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη υδρογόνου θα πρέπει να υποστηριχθεί από ένα αποτελεσματικό και οικονομικά αποδοτικό σύστημα αποθήκευσης και μεταφοράς, στρατηγικά σχεδιασμένο για τη σύνδεση των πηγών εφοδιασμού με τα κέντρα ζήτησης, προκειμένου να καταστεί δυνατή η μετάβαση στην οικονομία του υδρογόνου.

Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός των υποδομών μεταφοράς και αποθήκευσης υδρογόνου εξαρτάται από πολλές συνιστώσες που αφορούν στην ζήτηση, στην γεωγραφική θέση των πόρων που απαιτούνται για την παραγωγή μπλε και πράσινου υδρογόνου (αιολικά και ηλιακά πάρκα και χώροι αποθήκευσης CO₂) και στα υπάρχοντα δίκτυα φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η μελλοντική ανάπτυξή τους.

5.1 Ανασκόπηση των διαθέσιμων μεθόδων για αποθήκευση υδρογόνου

Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, ως συμπιεσμένο αέριο (σε διαφορετικές πιέσεις), υγροποιημένο, σε υδρίδια μετάλλων ή σε φορείς υδρογόνου ως αμμωνία ή υγρός οργανικός φορέας υδρογόνου (Liquid Organic Hydrogen Carrier – LOHC). Μεταξύ των μεθόδων αυτών, **η αποθήκευση ως συμπιεσμένο αέριο και ως υγροποιημένο υδρογόνο είναι οι πλέον ώριμες και ευρέως χρησιμοποιούμενες.**

Η αποθήκευση του υδρογόνου ως συμπιεσμένο αέριο απαιτεί λιγότερη ενέργεια, χαμηλότερο κόστος, γρήγορους κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και απλή λειτουργία από μια βαλβίδα ελέγχου. Ο βασικός εξοπλισμός που χρειάζεται για αυτή την διαδικασία είναι ένας συμπιεστής υδρογόνου και μία δεξαμενή αποθήκευσης. Το αέριο υδρογόνο μπορεί να αποθηκεύεται είτε σε δεξαμενές χαμηλής πίεσης είτε σε κυλίνδρους υψηλής πίεσης (tube storage). Το υδρογόνο συμπιέζεται και αποθηκεύεται σε γεωλογικούς σχηματισμούς, οι οποίοι θα μπορούσαν να είναι εξαντλημένοι ταμειυτήρες αερίου, εγκαταλελειμμένα ορυχεία ή σπήλαια άλατος. Τα σπήλαια άλατος φαίνεται να είναι η καταλληλότερη επιλογή για εποχιακή αποθήκευση υδρογόνου, λόγω της χωρητικότητάς τους και λειτουργίας τους, καθώς μπορούν να αντέξουν υψηλές

πίεσεις (έως 20 MPa) και επιτρέπουν ευέλικτη λειτουργία, με υψηλούς ρυθμούς έγχυσης και απορρόφησης. Τα σπήλαια άλατος αποτελούν ένα πιθανό χώρο αποθήκευσης του υδρογόνου, ήδη εφαρμοσμένου σε μεγάλη κλίμακα στην Μεγάλη Βρετανία. Η αποθήκευση αερίου υδρογόνου μπορεί να γίνει και σε φιάλες αερίου.

Προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν είναι ότι το συμπιεσμένο υδρογόνο είναι πιο πτητικό από όλες τις άλλες επιλογές αποθήκευσης, και σε πιθανή περίπτωση κρούσης ή αστοχίας του χώρου αποθήκευσης οι διαρροές από το σύστημα αποθήκευσης οδηγούν σε ταχεία εκκένωση πολύ εκρηκτικού αερίου.

Το αέριο υδρογόνο υπό κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης μπορεί να μετατραπεί σε υγρό υδρογόνο. **Σε υγρή μορφή μπορεί να αποθηκευτεί ακόμα και σε ατμοσφαιρική πίεση.** Η υγροποίηση του υδρογόνου απαιτεί υψηλή εισροή ενέργειας, καθώς το υδρογόνο έχει εξαιρετικά χαμηλό σημείο τήξης (-259.2°C) και σημείο βρασμού (-252.9°C), και η αποθήκευση του γίνεται σε ειδικές δεξαμενές όπου πρέπει να διατηρείται θερμοκρασία μικρότερη από τους -253°C . Η αποθήκευση του υγρού υδρογόνου πραγματοποιείται σε ειδικά διαμορφωμένες και μονωμένες δεξαμενές, οι οποίες ονομάζονται κρυογονικές δεξαμενές (cryogenic containers) έτσι ώστε να μην μεταφέρεται θερμότητα για την αποφυγή ανεπιθύμητης μετατροπής του υγρού υδρογόνου σε αέριο. Η μέθοδος αποθήκευσης του υδρογόνου ως υγρό σε κρυογονικές δεξαμενές, σε σύγκριση με τη μέθοδο αποθήκευσής του ως συμπιεσμένο αέριο δεν είναι οικονομική σε χαμηλούς ρυθμούς παραγωγής (λόγω του υψηλού κόστους κεφαλαίου του υγροποιητή) και είναι δύσκολο να ανταγωνιστεί το συμπιεσμένο αέριο υδρογόνο σε υψηλότερους ρυθμούς παραγωγής. Η συμβατική διαδικασία υγροποίησης υδρογόνου αποτελείται από δύο στάδια: την συμπίεση, και την ψύξη.

Μέθοδος αποθήκευσης υδρογόνου αποτελεί και η αποθήκευσή του στη μάζα διαφόρων μετάλλων ή διαφόρων μεταλλικών κραμάτων. Τα σχηματιζόμενα στερεά σώματα ονομάζονται μεταλλικά υδρίδια.

Η υπόγεια αποθήκευση υδρογόνου βρίσκεται υπό ανάπτυξη σε όλες τις διαφορετικές πιθανές γεωλογίες και οι πρώτες εγκαταστάσεις αποθήκευσης υδρογόνου αναμένεται να είναι διαθέσιμες τα επόμενα χρόνια.

Ως φορείς υδρογόνου ορίζονται οι χημικές ενώσεις που περιέχουν υδρογόνο και μπορούν να το απελευθερώσουν κατά απαίτηση επιτρέποντας την ασφαλή και αποτελεσματική αποθήκευση υδρογόνου. Η διαδικασία που απαιτείται για την υδρογόνωση/αφυδρογόνωση της χημικής ένωσης πρέπει να χρησιμοποιεί όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια, να είναι αναστρέψιμη και να είναι οικονομικά εφικτή.

Η ένωση που χρησιμοποιείται ως φορέας υδρογόνου θα πρέπει να είναι αέρια ή υγρή υπό τυπικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Η αμμωνία που συντίθεται από υδρογόνο που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές προσφέρει μεγάλες δυνατότητες αποθήκευσης και μεταφοράς ανανεώσιμης ενέργειας. Η αμμωνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φορέας και μπορεί να μετατραπεί πάλι σε υδρογόνο ή εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε κυψέλες καυσίμου. Ωστόσο, η μετατροπή της σε υδρογόνο μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες ενέργειας.

Οι φορείς υγρού οργανικού υδρογόνου (LOHC) αποτελούνται από μόρια ικανά να απελευθερώνουν ή να δέχονται υδρογόνο υπό συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Είναι υγροί σε θερμοκρασία δωματίου και ατμοσφαιρική πίεση και μπορούν να φορτιστούν και να αποφορτιστούν πολλές φορές μέσω κύκλων καταλυτικής υδρογόνωσης και αφυδρογόνωσης¹³³. Τα LOHC έχουν υψηλή ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα, μπορούν να αποθηκεύονται και να μεταφέρονται σε συνθήκες περιβάλλοντος για μεγάλες περιόδους χωρίς σημαντικές απώλειες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι υπάρχουσες υποδομές που ήδη χρησιμοποιούνται για υγρά ορυκτά καύσιμα (π.χ. δεξαμενόπλοια).

5.2 Ανασκόπηση των διαθέσιμων μεθόδων για μεταφορά υδρογόνου

Το υδρογόνο μπορεί να μεταφερθεί είτε σε αέρια μορφή μέσω αγωγών υδρογόνου ή φιαλών αερίου είτε σε υγροποιημένη μορφή σε κρυογονικές δεξαμενές. **Σε αέρια μορφή, το υδρογόνο μπορεί να μεταφερθεί μέσω του υπάρχοντος δικτύου φυσικού αερίου, αφού αυτό υποστεί μικρές μετατροπές**^{134,135}. Τα κύρια στοιχεία της διαδικασίας μετατροπής περιλαμβάνουν τον καθαρισμό του αζώτου, την παρακολούθηση των αγωγών για τον εντοπισμό ρωγμών και την αντικατάσταση βαλβίδων σε περιπτώσεις όπου οι τελευταίες λειτουργούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Επιπλέον, οι αγωγοί φυσικού αερίου που μετατρέπονται σε αγωγούς υδρογόνου πρέπει να λειτουργούν σε χαμηλότερη πίεση, αν και αυτό μπορεί να αποφευχθεί με την προσθήκη ενός στρώματος εσωτερικής επίστρωσης. Παράλληλα, έρευνα σχετικά με το σχεδιασμό και τη λειτουργία βαλβίδων με αποκλειστική χρήση στους αγωγούς υδρογόνου βρίσκεται σε εξέλιξη. Οι αρχικές δοκιμές δείχνουν ότι οι τεχνικές απαιτήσεις υπό τυπικές

¹³³ Πηγή: Davies J., et al. (2020). Current Status of Chemical Energy Storage Technologies. Joint Research Centre; <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118776>

¹³⁴ Πηγή: Bainier, F., et al. (2020). Managing the pressure to increase the H2 capacity through a natural gas transmission network. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, American Society of Mechanical Engineers; <https://asmedigitalcollection.asme.org/GT/proceedings/GT2020/84201/V009T21A002/1095169>

¹³⁵ Πηγή: Kurz, R., et al. (2020). Hydrogen in Pipelines: Impact of Hydrogen Transport in Natural Gas Pipelines. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, American Society of Mechanical Engineers; https://www.researchgate.net/publication/344544616_GT2020-14040_HYDROGEN_IN_PIPELINES_IMPACT_OF_HYDROGEN_TRANSPORT_IN_NATURAL_GAS_PIPELINES

συνθήκες λειτουργίας είναι συγκρίσιμες με εκείνες των υφιστάμενων πρακτικών για το φυσικό αέριο¹³⁶. Ανάλογα με τις υπάρχουσες ιδιότητες του δικτύου, η μερική αντικατάσταση των βαλβίδων και των στεγανοποιήσεων θα είναι αρκετή σε ορισμένες περιοχές, ενώ άλλες περιοχές θα χρειαστούν πλήρη αντικατάσταση εξοπλισμού για την αποφυγή διαρροών. Επιπλέον, **καθώς η ενεργειακή πυκνότητα (θερμογόνος δύναμη κατ' όγκον) του υδρογόνου είναι σχεδόν τρεις φορές μικρότερη από αυτή του φυσικού αερίου, για να παρέχεται το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο, ο όγκος του μεταφερόμενου υδρογόνου πρέπει να είναι τρεις φορές μεγαλύτερος από ό,τι ο όγκος του φυσικού αερίου** (βλ. επίσης και Παράρτημα 2 για μια συνοπτική παρουσίαση των ιδιοτήτων του υδρογόνου σε σχέση με άλλα υγρά και αέρια καύσιμα). Τέλος, λόγω των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του (χαμηλή μοριακή μάζα, μεγάλη ροή όγκου) αναμένονται μεγαλύτερες ανάγκες για συμπίεση υδρογόνου. Ενδεχομένως να υπάρχει δυνατότητα μετασκευής υπάρχοντων σταθμών, ωστόσο, άλλες μελέτες υποδηλώνουν ότι οι υπάρχοντες σταθμοί συμπίεσης μπορεί να μην είναι κατάλληλοι για τους μεγαλύτερους όγκους αερίου υδρογόνου¹³⁷.

Η τελική χρήση του υδρογόνου μπορεί να καθορίσει τον τρόπο μεταφοράς του. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το υδρογόνο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τοπικά για την παραγωγή τελικών προϊόντων (χημικά προϊόντα, λιπάσματα, καύσιμα), τα οποία ενδεχομένως να μπορούν να μεταφερθούν πιο οικονομικά σε σχέση με το υδρογόνο. Σε άλλες περιπτώσεις που το καθαρό υδρογόνο θα είναι το τελικό προϊόν (για χρήση στη μεταφορά ή θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία) η μεταφορά του μπορεί να γίνεται ως καθαρό υδρογόνο (αέριο ή υγροποιημένο) ή με χρήση φορέα υδρογόνου (αμμωνία ή LOHC). Συγκεκριμένα, το αέριο υδρογόνο μπορεί να μεταφερθεί μέσω αγωγών ή μέσω φορτηγών και πλοίων με τα ίδια μέσα μεταφοράς με το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG), το υγροποιημένο υδρογόνο μπορεί να μεταφερθεί με τα ίδια μέσα μεταφοράς με το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) έπειτα από μικρές μετατροπές, η αμμωνία σε ψυχόμενα δεξαμενόπλοια χημικών και το LOHC σε συμβατικά πετρελαιοφόρα.

Το κόστος μεταφοράς υδρογόνου εξαρτάται από την ποσότητα του υδρογόνου που μεταφέρεται, την απόσταση μεταφοράς, τα χρησιμοποιούμενα μέσα μεταφοράς και τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας υπό τις οποίες μεταφέρεται το υδρογόνο. Στο Σχήμα 0-1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας του JRC¹³⁸ για τις διάφορες μεθόδους μεταφοράς υδρογόνου που αφορούν στην μεταφορά ενός εκατομμυρίου τόνου υδρογόνου (1 MT H₂) τον χρόνο με κόστος

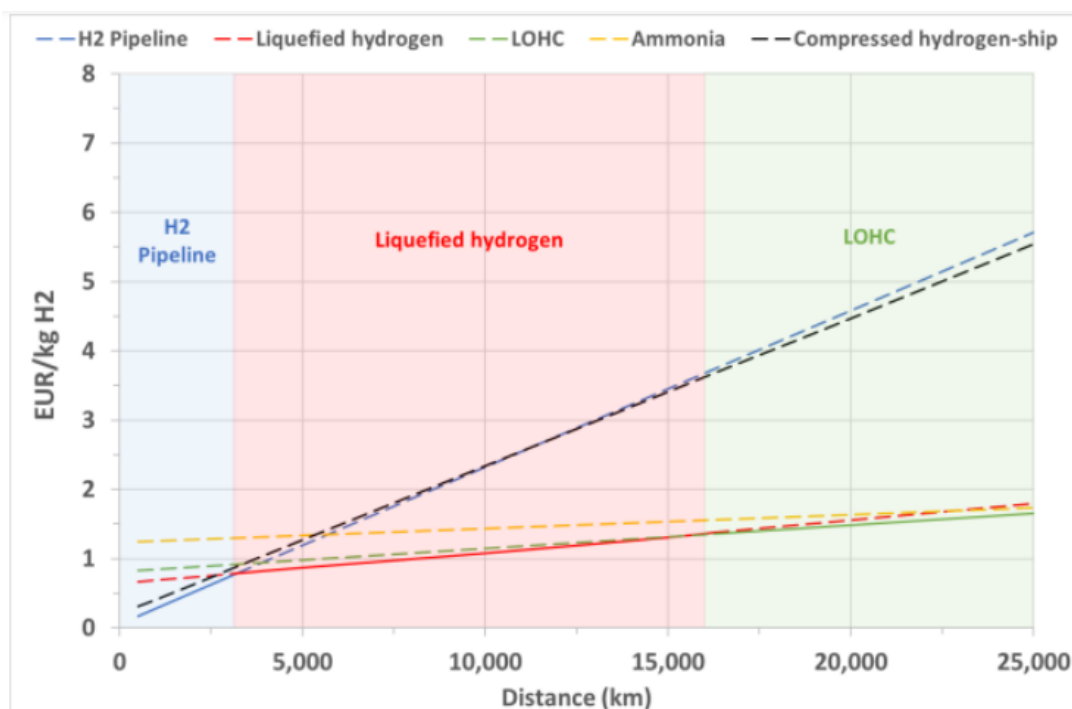
¹³⁶ Πηγή: Wang, A., et al. (2020). "European hydrogen backbone: How a dedicated hydrogen infrastructure can be created."; https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2020/07/2020_European-Hydrogen-Backbone_Report.pdf

¹³⁷ όπου και προηγουμένως

¹³⁸ Αναφορά: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/system/files/2021-06/jrc124206_assessment_of_hydrogen_delivery_options.pdf

ηλεκτρικής ενέργειας 10 EURO/MWh για την μονάδα παραγωγής και 50 EURO/MWh για την μετατροπή του υδρογόνου στο τελικό προϊόν. Παρατηρείται ότι στην περίπτωση των μικρών αποστάσεων (<3,000 km, όπως είναι και η περίπτωση της Κύπρου) πιο συμφέρουσα αποδεικνύεται η μεταφορά του υδρογόνου μέσω δικτύου αγωγών υδρογόνου, ενώ στην περίπτωση μεγάλων αποστάσεων (>16,000 km) πιο συμφέρουσα αποδεικνύεται η μεταφορά του υδρογόνου μέσω φορέα υδρογόνου (LOHC ή αμμωνίας). Παράλληλα, η ίδια έρευνα αναφέρει πως εντός του εύρους τιμών ηλεκτρικής ενέργειας 10-50 EURO/MWh, μια αύξηση κατά 10 EURO ανά MWh θα προσθέσει 0.5 EURO ανά κιλό H₂ στο κόστος παραγωγής υδρογόνου. Στην περίπτωση αυξημένου κόστους ενέργειας, το κόστος μεταφοράς του υδρογόνου θα αυξηθεί επίσης.

Σχήμα 0-1 Κόστος μεταφοράς υδρογόνου για μια απλή (από σημείο σε σημείο) διαδρομή, για 1 Mt H₂ και χαμηλού κόστους ηλεκτρική ενέργεια (10 EURO /MW)



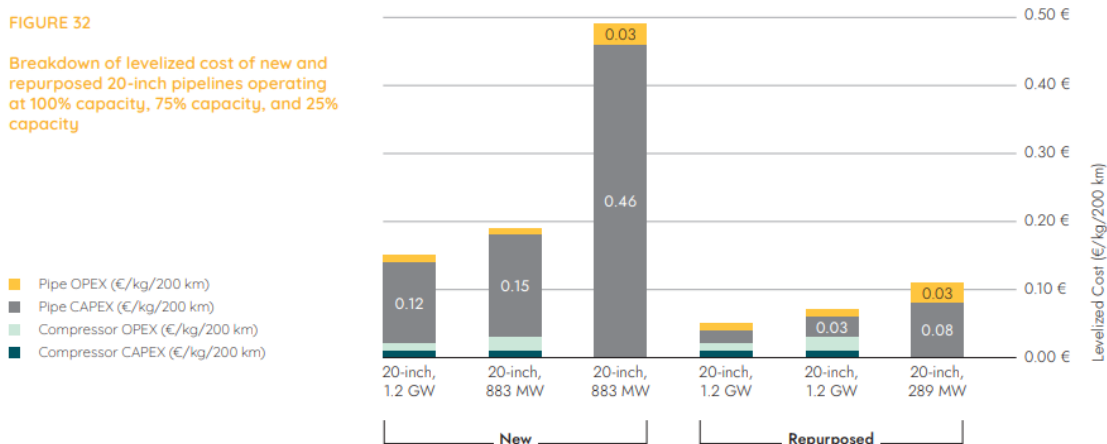
Τα κύρια κόστη ενός δικτύου υδρογόνου προκύπτουν από τις κεφαλαιακές δαπάνες (CAPEX) που απαιτούνται για την εγκατάσταση κατάλληλων συμπιεστών. Στο Σχήμα 0-2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας του European Hydrogen Backbone¹³⁹ για την κατανομή του κόστους μεταφοράς υδρογόνου μέσω δικτύου αγωγών 20 ιντσών¹⁴⁰ για ποσοστά αξιοποίησης 100%,

¹³⁹ Αναφορά: Wang, A., et al. (2021). Analysing future demand, supply, and transport of hydrogen, EUROPEAN HYDROGEN BACKBONE.

¹⁴⁰ Αυτή είναι και η διάμετρος που έχει αρχικά θεωρηθεί για το μεγαλύτερο τμήμα του σχεδιαζόμενου δικτύου στην Κύπρο: Dimensioning calculations for the gas pipeline and natural gas transport network for Cyprus (Annex 3), Natural Gas fenosa engineering for DEFA, 2017

75% και 25% (ο συντελεστής χρήσης 25% είναι χαμηλότερος από το τυπικό εύρος λειτουργίας για αγωγούς, ωστόσο τα αποτελέσματα περιλαμβάνονται για να απεικονίσουν τον αντίκτυπο στο κόστος κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης του δικτύου, προτού επιτευχθούν οι αναμενόμενες ροές) τόσο για την δημιουργία νέου δικτύου μεταφοράς και διανομής υδρογόνου, όσο και για την μετατροπή της υπάρχουσας υποδομής μεταφοράς φυσικού αερίου προς μεταφορά υδρογόνου. Οι διάμετροι των αγωγών που προβλέπονται για το δίκτυο μεταφοράς υδρογόνου αφορούν σε διαμέτρους, 48, 36 και 20 ιντσών. Οι αγωγοί 20 ιντσών προβλέπεται να χρησιμοποιούνται μόνο για μικρές αποστάσεις, έως 200 km, οι αγωγοί 36 ιντσών για μεγαλύτερες αποστάσεις, έως 1,000 km και οι αγωγοί 48 ιντσών για ακόμα μεγαλύτερες αποστάσεις.

Σχήμα 0-2 Κατανομή του κόστους μεταφοράς υδρογόνου μέσω δικτύου αγωγών 20 ιντσών¹⁴¹



Το υδρογόνο έχει χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, γεγονός που καθιστά δύσκολη την οικονομική μεταφορά του με πλοίο. Οι τρεις πιο υποσχόμενες μέθοδοι μεταφοράς υδρογόνου με πλοίο είναι ως υγροποιημένο υδρογόνο, μέσω LOHC και μέσω αμμωνίας.

Η διαδικασία μεταφοράς υδρογόνου μέσω πλοίου περιλαμβάνει αρκετά στάδια, τα οποία ανεβάζουν τα κόστη της συνολικής μεταφοράς υδρογόνου. Τα στάδια αυτά αφορούν στην μεταφορά του υδρογόνου στον τερματικό σταθμό, στην μετατροπή του αέριου υδρογόνου στον φορέα μεταφοράς του και στην αποθήκευσή του, στην μεταφορά με πλοίο, στην αποθήκευση στον τερματικό σταθμό εξαγωγής και στην επαναμετατροπή του σε αέριο υδρογόνο (εφόσον αυτό απαιτείται). Το πλεονέκτημα της μεταφοράς μέσω αμμωνίας έγκειται στο γεγονός ότι η αμμωνία

¹⁴¹ Πηγή: https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/06/EHB_Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen_June-2021_v3.pdf

αποτελεί ήδη εμπορικό αγαθό, επομένως, πέρα από το γεγονός ότι υπάρχει η ναυτιλιακή υποδομή για την μεταφορά της, ποσοστό αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο του πλοίου.

Μία ακόμα παράμετρος που σχετίζεται με την μεταφορά υδρογόνου πρέπει να μελετηθεί και αυτή αφορά στην τοποθεσία του ηλεκτρολύτη, ο οποίος μπορεί να βρίσκεται είτε κοντά στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ είτε κοντά στους τελικούς χρήστες ώστε να μειώνονται τα κόστη. Έρευνες δείχνουν ότι η μεταφορά υδρογόνου μέσου δικτύου αγωγών αποδεικνύεται οικονομικότερη λύση, συνεπώς είναι προτιμότερο οι ηλεκτρολύτες να βρίσκονται κοντά στις μονάδες παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ.

ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΑΞΙΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

6.1 Σύνοψη παρουσίαση των παραγόντων που καθορίζουν την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου

Η αλυσίδα αξίας του υδρογόνου εκτείνεται καθ' όλο το εύρος του ενεργειακού συστήματος, ξεκινώντας από την παραγωγή υδρογόνου και καταλήγοντας στην χρήση του από τους τελικούς καταναλωτές σε κάθε τομέα τελικής κατανάλωσης.

Όπως συζητήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί με χρήση διαφορετικών πηγών ενέργειας, ενώ έχει ποικίλες εφαρμογές στους τομείς των μεταφορών, της βιομηχανίας και της ηλεκτροπαραγωγής. Με βάση τη διεθνή εμπειρία μέχρι στιγμής, το υδρογόνο που παράγεται ως βασικό ενεργειακό προϊόν στα πλαίσια μιας ειδικής αλυσίδα αξίας είναι ο πιο ελπιδοφόρος τρόπος για την ανάπτυξή του σε κλίμακα τέτοια που να μπορεί να υποστηρίξει την μετάβαση σε μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία.

Ενώ η κάθε πιθανή **αλυσίδα αξίας υδρογόνου αντιμετωπίζει διαφορετικά κρίσιμα θέματα σχετικά με την οικονομικά αποδοτική υλοποίησή της**, σε όλες τις περιπτώσεις οι παράγοντες που τελικά θα καθορίσουν την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- **Τεχνολογικοί:** παράγοντες που καθορίζουν την ανάπτυξη των απαιτούμενων τεχνολογιών παραγωγής υδρογόνου, αλλά και την ανάπτυξη των απαιτούμενων τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιήσουν το υδρογόνο στην τελική κατανάλωση
- **Οικονομικοί:** παράγοντες που καθορίζουν την οικονομικότητα (κόστος) της παραγωγής, μεταφοράς, αποθήκευσης και χρήσης υδρογόνου
- **Ρυθμιστικοί:** παράγοντες που ευνοούν (ή που τουλάχιστον δεν εμποδίζουν) τη χρήση του υδρογόνου από διάφορες πτυχές του ενεργειακού συστήματος

- **Χρηματο-οικονομικοί:** παράγοντες που ευνοούν τη μόχλευση κεφαλαίων με σκοπό την ανάπτυξη της απαιτούμενης τεχνογνωσίας αλλά και εξοπλισμού για τη παραγωγή, μεταφορά, αποθήκευση και χρήση του υδρογόνου.

Παράγοντες που υποστηρίζουν την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου

- 1. Τεχνολογικές λύσεις ικανές να υποστηρίξουν την μεγάλη κλίμακα που απαιτείται.** Πολλά από τα συστατικά στοιχεία της αλυσίδας αξίας υδρογόνου έχουν ήδη αναπτυχθεί σε μικρή κλίμακα και είναι έτοιμα για εμπορευματοποίηση, απαιτώντας τώρα την κλιμάκωση των επενδύσεων. Το κεφαλαιουχικό κόστος της ηλεκτρόλυσης έχει μειωθεί κατά 60% από το 2010, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους υδρογόνου από ένα ευρώ 10-15 USD/kg σε μόλις 4-6 USD/kg κατά την περίοδο αυτή (στοιχεία μέχρι το 2020)¹⁴².
- 2. Οφέλη για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.** Καθώς το μερίδιο των ΑΠΕ αυξάνεται ραγδαία στις διάφορες αγορές ηλεκτρισμού σε όλο τον κόσμο, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζεται μεγαλύτερη ευελιξία. Οι ηλεκτρολύτες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου μπορούν να σχεδιαστούν ως ευέλικτες εγκαταστάσεις που μπορούν γρήγορα να αυξήσουν ή να μειώσουν την παραγωγή τους για να αντισταθμίσουν τις διακυμάνσεις στην παραγωγή ΑΠΕ, αντιδρώντας με αυτό τον τρόπο ακόμη και στις διακυμάνσεις των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας (προσφέροντας ουσιαστικά και έναν μηχανισμό για την σταθεροποίηση των τιμών όταν αυτό είναι απαραίτητο). Ακόμη, το υδρογόνο είναι κατάλληλος φορέας ενέργειας τόσο για μικρές ή μεγαλύτερες περιόδους αποθήκευσης ενέργειας, υποστηρίζοντας έτσι την ενσωμάτωση υψηλότερων μεριδίων ΑΠΕ στο δίκτυο, αυξάνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος και την οικονομική αποδοτικότητα.
- 3. Ξεκάθαρη πολιτική που κάνει λόγο για χρήση του υδρογόνου μέσα στα πλαίσια της επίτευξης των στόχων για κλιματική ουδετερότητα.** Σύμφωνα με την IRENA, στα μέσα του 2020, 7 χώρες είχαν ήδη υιοθετήσει στόχους κλιματικής ουδετερότητας στη νομοθεσία τους οι οποίοι έκαναν λόγο για χρήση του υδρογόνου, ενώ 15 άλλες είχαν προτείνει παρεμφερή νομοθετικά μέτρα..
- 4. Ευρύτερη χρήση υδρογόνου.** Το ενδιαφέρον σχετικά με τη χρήση του υδρογόνου καλύπτει πολλές πιθανές χρήσεις του σε ολόκληρη την οικονομία, συμπεριλαμβανομένης της πρόσθετης μετατροπής υδρογόνου σε άλλους φορείς ενέργειας και προϊόντα, όπως αμμωνία, μεθανόλη και συνθετικά καύσιμα. Αυτό το ενδιαφέρον μπορεί να αυξήσει τη μελλοντική ζήτηση υδρογόνου και μπορεί να επωφεληθεί από πιθανές συνέργειες για τη μείωση του κόστους στην αλυσίδα αξίας του πράσινου υδρογόνου. Ιδιαίτερα χώρες με μεγάλο δυναμικό σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα μπορούσαν να

¹⁴² Πηγή: IRENA, Green Hydrogen Supply, 2021

- αποκομίσουν σημαντικά οικονομικά οφέλη με το να γίνουν καθαροί εξαγωγείς πράσινου υδρογόνου σε μια παγκόσμια πράσινη οικονομία υδρογόνου.
- 5. Ενδιαφέρον πολλαπλών ενδιαφερόμενων μερών**, συμπεριλαμβανομένων επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας, χαλυβουργίες, χημικές εταιρείες, λιμενικές αρχές, κατασκευαστές αυτοκινήτων και αεροσκαφών, πλοιοκτήτες, αεροπορικές εταιρείες, κ.ο.κ. Αυτό δημιουργεί τις προϋποθέσεις για τη δημιουργία ζήτησης του υδρογόνου σε ποικίλες εφαρμογές.
 - 6. Ειδικά για το πράσινο υδρογόνο, χαμηλό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.** Ο κύριος παράγοντας κόστους για το πράσινο υδρογόνο είναι το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα έχει μειωθεί σημαντικά την τελευταία δεκαετία δημιουργώντας μια αναγκαία συνθήκη για την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου σε μεγάλη κλίμακα. Παρόλα αυτά, όπως θα φανεί και παρακάτω, η πτώση του κόστους του ηλεκτρισμού δεν αποτελεί τη μόνη συνθήκη που θα επιτρέψει την ευρεία χρήση του πράσινου υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα.

Παράγοντες που δυσκολεύουν την ανάπτυξη της αγοράς υδρογόνου – έμφαση στο Πράσινο Υδρογόνο¹⁴³

- 1. Υψηλό κόστος παραγωγής του:** Το πράσινο υδρογόνο, παραγόμενο από ηλεκτρική ενέργεια από μία μέση μονάδα ανανεώσιμων το 2019 ήταν δύο έως τρεις φορές πιο ακριβό από το γκρι υδρογόνο. Η τάση αυτή συνέχισε να επικρατεί και μέχρι πρόσφατα (στοιχεία του Βρετανικού Υπουργείου Ενέργειας για το 2021¹⁴⁴). Επίσης, η υιοθέτηση πράσινων τεχνολογιών υδρογόνου για τελικές χρήσεις μπορεί να είναι δαπανηρή. Με βάση τα σημερινά δεδομένα, τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου και δεξαμενές υδρογόνου κοστίζουν γενικά 1.5 έως 3 φορές περισσότερο (αναλόγως με τον τύπο οχήματος) από τα αντίστοιχα με συμβατικούς κινητήρες^{145,146}. Ομοίως, τα συνθετικά καύσιμα για τις αεροπορικές μεταφορές είναι σήμερα, ακόμη και στις τοποθεσίες όπου υπάρχουν θεωρητικά οι πιο ευνοϊκές συνθήκες για την παραγωγή τους (π.χ. κατάλληλο ρυθμιστικό πλαίσιο, επαρκής ζήτηση, βιομηχανική και τεχνολογική υποδομή, κ.ο.κ.), έως και οκτώ φορές πιο ακριβά από τα ορυκτά καύσιμα.
- 2. Έλλειψη ειδικών υποδομών.** Μέχρι στιγμής το υδρογόνο παράγεται κοντά στο μέρος του θα χρησιμοποιηθεί, με περιορισμένη ύπαρξη ειδικών υποδομών μεταφοράς του. Επί του παρόντος, υπάρχει ένα πολύ περιορισμένο δίκτυο

¹⁴³ Πηγή: IRENA, Green Hydrogen Supply, 2021

¹⁴⁴ Πηγή:

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1011506/Hydrogen_Production_Costs_2021.pdf

¹⁴⁵ Πηγή: Sharpe B. and Basma B, A meta-study of purchase costs for zero-emission trucks, ICCT Working Paper 2022-09, February 2022

¹⁴⁶ Πηγή: Future Fuels: FVV Fuels Study IV, FVV, 2021

αγωγών μεταφοράς υδρογόνου σε αντίθεση με το πολύ περισσότερο ανεπτυγμένο δίκτυο για τη μεταφορά φυσικού αερίου. Οι υποδομές φυσικού αερίου δύνανται να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά υδρογόνου αφού υποστούν κάποιες αλλαγές, ωστόσο, δε διαθέτουν όλες οι περιοχές του κόσμου τις κατάλληλες υποδομές. Ακόμη, παγκοσμίως υπάρχουν πολύ λίγοι σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου, σε σχέση με μεγάλο πλήθος από σταθμούς ανεφοδιασμού βενζίνης και ντίζελ.

3. **Απώλειες ενέργειας:** Το πράσινο υδρογόνο υφίσταται σημαντικές απώλειες ενέργειας σε κάθε στάδιο της αλυσίδας αξίας του. Περί το 30-35% της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του υδρογόνου χάνεται. Επιπλέον, η μετατροπή του υδρογόνου σε άλλους φορείς όπως είναι η αμμωνία μπορεί να προκαλέσει ενεργειακή απώλεια της τάξης του 13-25% και η μεταφορά του υδρογόνου απαιτεί επιπρόσθετες εισροές ενέργειας, που συνήθως ισοδυναμούν με το 10-12% της ενέργειας από το ίδιο το υδρογόνο. Όσο μεγαλύτερες είναι οι ενεργειακές απώλειες τόσο περισσότερη ανανεώσιμη ενέργεια είναι αναγκαία για την παραγωγή υδρογόνου.
4. **Έλλειψη αναγνώρισης αξίας.** Δεν υπάρχει αγορά πράσινου υδρογόνου, ούτε πράσινος χάλυβας ούτε πράσινα καύσιμα για τη ναυτιλία αλλά ούτε και εμπεριστατωμένη αποτίμηση για τις εκτιμώμενες μειώσεις αερίων του θερμοκηπίου που μπορεί να επιφέρει το πράσινο υδρογόνο. Το υδρογόνο δεν εμπεριέχεται στις επίσημες καταγραφές των στατιστικών της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης και δεν υφίστανται διεθνώς αναγνωρισμένοι τρόποι διαφοροποίησης του γκρι από το πράσινο υδρογόνο, υπό τη μορφή πιστοποιητικών προέλευσης. Παράλληλα, η έλλειψη στόχων ή κινήτρων για την προώθηση της χρήσης πράσινων προϊόντων δυσχεραίνει την αξιοποίησή του σε νέες εφαρμογές τελικής χρήσης, καθιστώντας έτσι περιορισμένη τη ζήτησή του.
5. **Ανάγκη διασφάλισης της βιωσιμότητας.** Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παρέχεται από μονάδα ανανεώσιμης ενέργειας που συνδέεται άμεσα με τον ηλεκτρολύτη ή από το ηλεκτρικό δίκτυο ή και από τα δύο μαζί. Το πλεονέκτημα του πρώτου έγκειται στη διασφάλιση ότι το υδρογόνο είναι πράσινο, παραγόμενο δηλαδή από ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, ανά πάσα στιγμή. Από την άλλη, οι ηλεκτρολύτες που συνδέονται με το δίκτυο μπορούν να παράγουν περισσότερες ώρες, μειώνοντας το κόστος του υδρογόνου. Ωστόσο, η ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου μπορεί να περιλαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από σταθμούς ορυκτών καυσίμων, επομένως τυχόν εκπομπές CO₂ που συνδέονται με την εν λόγω ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση της βιωσιμότητας του υδρογόνου. Ως αποτέλεσμα, για τους παραγωγούς υδρογόνου από ηλεκτρόλυση, η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ορυκτά καύσιμα μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο.

Εμπόδια Υιοθέτησης Μπλε Υδρογόνου

Όσον αφορά το Μπλε Υδρογόνο, τα εμπόδια υιοθέτησης έχουν διαφορετική διάσταση και έγκεινται στις παρακάτω παραμέτρους:

- 1. Τεχνολογική Αβεβαιότητα.** Η τεχνολογία δέσμευσης, χρήσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCUS) δε μπορεί να δεσμεύσει το 100% του άνθρακα που εκπέμπεται. Σύμφωνα με τον IEA μπορεί να δεσμεύσει έως και 90% της ποσότητας που εκπέμπεται με αποτέλεσμα να αμφισβητείται ως κλιματικά ουδέτερη τεχνολογία¹⁴⁷. Γι' αυτό το λόγο, η ανάπτυξη και διάδοση της συγκεκριμένης τεχνολογίας παραμένει περιορισμένη με αποτέλεσμα το κόστος της να είναι ιδιαίτερα υψηλό και η τεχνογνωσία μη διευρυμένη.
- 2. Κόστος Τεχνολογίας και ιδιαίτερη ανάγκη για εξειδίκευση.** Η τεχνολογία δέσμευσης, χρήσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCUS) μπορεί να καταστεί οικονομικά ανταγωνιστική μόνο στην περίπτωση που υπάρχει ήδη μηχανισμός τιμολόγησης άνθρακα.
- 3. Αμφιλεγόμενη συνεισφορά στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.** Σύμφωνα με ορισμένες μελέτες, το μπλε υδρογόνο δεν έχει θέση στην πορεία της κλιματικής ουδετερότητας. Αυτό υποστηρίζεται από ειδικούς οι οποίοι διατείνονται ότι το μπλε υδρογόνο μπορεί να προκαλέσει περισσότερες και πιο ισχυρές, λόγω της εκπομπής μεθανίου, εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Το συγκεκριμένο εμπόδιο αποτρέπει τις κυβερνήσεις από το να υιοθετήσουν στρατηγικές ανάπτυξης μπλε υδρογόνου. Μόνο στην περίπτωση που υπάρξει πλήρης έλεγχος των εκπομπών κατά την παραγωγή και μετέπειτα από την πιθανή διαρροή μεθανίου κατά τη μεταφορά και την αποθήκευση και τη μετέπειτα έκδοση πιστοποιητικών βιωσιμότητας το μπλε υδρογόνο θα μπορέσει να αποκτήσει βέβαιη βιώσιμη υπόσταση.
- 4. Προϋποθέτει την ήδη ύπαρξη σημαντικών κοιτασμάτων, ήδη εκμεταλλεύσιμων, φυσικού αερίου.** Πιο συγκεκριμένα, η αξιοποίηση του μπλε υδρογόνου έχει νόημα σε οικονομίες που έχουν κοιτάσματα φυσικού αερίου σε μεγάλη κλίμακα και όχι σε εκείνες που αναμένεται να βρουν και αξιοποιήσουν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι μέχρι να γίνει αυτό αναμένεται να λάβει χώρα η αντιστοίχιση τιμής μπλε και πράσινου υδρογόνου, με αποτέλεσμα μια οικονομία να έχει εγκλωβιστεί σε τεχνολογίες αξιοποίησης ορυκτών πόρων και δη φυσικού αερίου.

¹⁴⁷ Πηγή: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/carbon-capture-utilisation-and-storage>

6.2 Μοντέλα υποστήριξης κατά τα πρώτα βήματα σχηματισμού της αλυσίδας αξίας υδρογόνου

Παρά το γεγονός ότι το υδρογόνο αναγνωρίζεται ως ένα από τα βασικά καύσιμα προς την πορεία της κλιματικής ουδετερότητας, το κόστος παραγωγής του είναι ακόμη σε υψηλά επίπεδα που δεν επιτρέπουν την πραγματοποίηση των σχετικών εγκαταστάσεων παραγωγής στην κλίμακα που θα χρειαζόταν. Επιπρόσθετα, για να υπάρξει ουσιαστική συνεισφορά του υδρογόνου στον στόχο του περιορισμού των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή, οι ποσότητες του υδρογόνου πρέπει να είναι «πράσινες».

Επί του παρόντος, δεν υπάρχει σημαντική ζήτηση για υδρογόνο, υπάρχει γενικά περιορισμένη υποδομή υδρογόνου, και δίνοντας έμφαση στο πράσινο υδρογόνο, η διαθεσιμότητα ηλεκτρολυτών σε παγκόσμια κλίμακα είναι μόνο της τάξεως των μερικών εκατοντάδων MW. Από την μία πλευρά, το υψηλό κόστος παραγωγής αναστέλλει τη ζήτηση, αλλά χωρίς ζήτηση, οι επενδύσεις παραμένουν «επικίνδυνες» για ευρείας κλίμακας παραγωγή υδρογόνου που θα μπορούσε να μειώσει το κόστος.

Το παραπάνω πλαίσιο δημιουργεί την ανάγκη για ένα ευρύτερο πλαίσιο πολιτικής στήριξης του τομέα του υδρογόνου, και δη του πράσινου υδρογόνου. Απαιτούνται επίσης προσαρμοσμένες πολιτικές για την αντιμετώπιση ορισμένων εμποδίων και τη στήριξη του τομέα, με τον ίδιο τρόπο που οι τεχνολογίες ΑΠΕ (ηλιακή και αιολική ενέργεια) υποστηρίχθηκαν πριν από 10-15 χρόνια.

Η χρηματοδότηση έργων υδρογόνου καθίσταται περίπλοκη από μια σειρά από λόγους, που σχετίζονται με την ίδια την φύση της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου¹⁴⁸.

Πρώτον, υπάρχει η πολυπλοκότητα της παραγωγής, η οποία απαιτεί μια τοπική πηγή τόσο νερού όσο και ανανεώσιμης ενέργειας (για το πράσινο υδρογόνο) ή φυσικού αερίου (για το μπλε). Στη συνέχεια, έρχεται το ζήτημα της μεταφοράς του υδρογόνου εκεί που πρέπει να καταναλωθεί, και όπως σημειώθηκε και νωρίτερα, η σχετική υποδομή (π.χ. δίκτυα αγωγών υδρογόνου) είναι περιορισμένη.

Η μεταφορά υδρογόνου μέσω πλοίων, θα περιλαμβάνει την κατασκευή μιας μονάδας για την υγροποίηση του αερίου πρώτα, και μια δεύτερη για να μετατραπεί πίσω στο αέριο πριν από την κατανάλωση στο σημείο της ζήτησης. Οι εναλλακτικές λύσεις για τη χρήση αμμωνίας ή άλλων μεταφορέων καυσίμων από

¹⁴⁸ Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι υπάρχει πλήθος χρηματοδοτικών εργαλείων τόσο σε επίπεδο ΕΕ όσο και σε εθνικό στα διαφορετικά ΚΜ: https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy/hydrogen/funding-guide_en

τη ναυτιλία μπορεί να καταστούν βιώσιμες, αλλά είναι εξίσου δύσκολο να πραγματοποιηθούν σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης της αγοράς.

Η δημιουργία ευνοϊκών μέτρων στήριξης για την ανάπτυξη της αγοράς υδρογόνου, στοχεύει την υπέρβαση ρυθμιστικών και οικονομικών εμποδίων για την παραγωγή υδρογόνου καθώς επίσης και τη γεφύρωση του χάσματος στο κόστος παραγωγής και χρήσης υδρογόνου¹⁴⁹:

- Δημιουργία πλαισίου για την αποτελεσματική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ώστε να δημιουργηθούν μεγαλύτερες δυνατότητες για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου (πιθανή απαίτηση για αλλαγή κανόνων λειτουργίας αγοράς ηλεκτρισμού). Το πλαίσιο θα λαμβάνει υπόψη τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων και μοντέλων συνεργασίας ηλεκτρολυτών και διαχειριστών δικτύων ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου.
 - Εξασφάλιση κανόνων προσθετικότητας με την παράλληλη υποστήριξη της μεγάλης κλίμακας ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
 - Μείωση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας μέσω παροχής υποστηρικτικών εργαλείων σε τομείς τελικής χρήσης του υδρογόνου
- Μείωση του κόστους των ηλεκτρολυτών μέσω στοχευμένης βοήθειας (π.χ. δάνεια, επιχορηγήσεις)
- Δημιουργία χρηματοδοτικού μηχανισμού για το υδρογόνο και άρση διοικητικών εμποδίων
 - Εφαρμογή Συμβολαίων επί της Διαφοράς άνθρακα (Carbon Contracts for Difference – CCfD)
- Παροχή κινήτρων για την ανάπτυξη της ζήτησης υδρογόνου
 - Δημιουργία «Κοιλάδων υδρογόνου» (hydrogen valleys)
 - Στόχοι αλλαγής καυσίμου (fuel switch) στην βιομηχανία και τις μεταφορές.

Παρακάτω παρουσιάζονται εν συντομία οι παραπάνω αναφερθέντες μηχανισμοί στήριξης.

[Εξασφάλιση κανόνων προσθετικότητας με την παράλληλη υποστήριξη της μεγάλης κλίμακας ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας](#)

Στόχος είναι η θέσπιση σαφών κανόνων σχετικά με την αρχή της προσθετικότητας¹⁵⁰ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την υποστήριξη της ανάπτυξης έργων υδρογόνου. Η δράση αυτή θα μειώσει άμεσα το κόστος, αλλά

¹⁴⁹ Πηγή: IRENA and World Economic Forum, Enabling Measures Roadmap for Green Hydrogen, 2019

¹⁵⁰ Ο αγγλικός όρος είναι “additionality”. Σε αυτά τα πλαίσια, η σημασία του έγκειται στο να διασφαλίσει ότι η παραγωγή πράσινου υδρογόνου δεν συμβαίνει εις βάρος αποτελεσματικότερων χρήσεων της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές

θα στηρίξει επίσης τη λειτουργία της αγοράς ηλεκτρισμού/ενέργειας. Οι βασικές δράσεις περιλαμβάνουν:

- Επιτάχυνση της ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας και αντιμετώπιση των εμποδίων που εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν οι φορείς ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την εξασφάλιση της ομαλής ενεργειακής μετάβασης (για παράδειγμα, εξασφάλιση κατάλληλων όρων σύνδεσης, απλοποίηση αδειοδοτικής διαδικασίας, ύπαρξη χρηματοδοτικών εργαλείων, κ.ο.κ). Περισσότερη και φθηνότερα διαθέσιμη ενέργεια από ΑΠΕ θα οδηγήσει σε μείωση του κόστους παραγωγής πράσινου υδρογόνου.
- Διασφάλιση ότι η εγκαταστημένη ισχύς ΑΠΕ που αναπτύσσεται για το πράσινο υδρογόνο και την ενέργεια από παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας που εξυπηρετούν ηλεκτρολύτες, δεν επωφελείται από πρόσθετες πληρωμές (π.χ. από feed-in-tariffs) που έχουν αρχικά σχεδιαστεί για την απεξάρτηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα.
- Ενσωμάτωση διάταξης για τη χρονική και χωρική αντιστοίχιση της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας με την παραγωγή πράσινου υδρογόνου ως παραμέτρων που πρέπει να παρακολουθούνται στα συστήματα πιστοποίησης.
- Σχεδιασμό κατάλληλων μεταβατικών μέτρων μέχρι να επέλθει ανάπτυξη της αγοράς
 - Συμψηφισμό της πλεονάζουσας ανανεώσιμης ενέργειας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (και όχι σε πραγματική στιγμιαία βάση), ούτως ώστε αντί να χρησιμοποιείται μόνο όταν καταστεί διαθέσιμη, ο φορέας εκμετάλλευσης να μπορεί να λάβει αυτή την ενέργεια σε περιόδους που βελτιστοποιούν τη λειτουργία των ηλεκτρολυτών (π.χ. με χρήση ηλεκτρικού φορτίου βάσης για να μπορέσει να επιτευχθεί καλύτερος συντελεστής φορτίου – capacity factor – για τον ηλεκτρολύτη)
 - Απαιτήση για χωρική ταύτιση της παραγωγής πράσινου υδρογόνου με την παραγωγή ΑΠΕ σε διαγωνισμούς (δηλ. η εγκατάσταση ΑΠΕ που θα παράγει τον ανανεώσιμο ηλεκτρισμό που χρειάζεται ο ηλεκτρολύτης να βρίσκεται στο ίδιο μέρος με τον ηλεκτρολύτη), προκειμένου να αμβλυνθούν οι δυνητικοί περιορισμοί του δικτύου — δηλαδή, η απόρριψη αιολικής ή ηλιακής ενέργειας που διαφορετικά θα κατέληγε σε ηλεκτρολύτες.

[Μείωση την τιμών ηλεκτρικής ενέργειας μέσω παροχής υποστηρικτικών εργαλείων σε τομείς τελικής χρήσης του υδρογόνου](#)

Στόχος είναι η επίτευξη μείωσης του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται ειδικά για την ηλεκτρόλυση του νερού. Η δράση αυτή θα μειώσει

άμεσα το κόστος, αλλά θα καλύψει επίσης την ανάγκη για άμεση στήριξη στην αλυσίδα αξίας του πράσινου υδρογόνου. Οι βασικές δράσεις περιλαμβάνουν:

- Απαλλαγή των ηλεκτρολυτών από φόρους και τέλη για τη μείωση του κόστους του πράσινου υδρογόνου, ενισχύοντας την επιχειρηματική του υπόθεση.
- Αξιολόγηση του εάν οι χαμηλοί φόροι επί των τιμολογίων ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν επίσης να δικαιολογηθούν από τη χρήση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους υψηλής παραγωγής ανανεώσιμων και σχετικά χαμηλού φορτίου (όταν οι τιμές χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλές).
- Εξεύρεση της βέλτιστης λύσης για την δημιουργία συνθηκών ανταγωνισμού μεταξύ των μορφών ενέργειας που προσφέρουν ευελιξία στο σύστημα με σκοπό την αποφυγή υπερβολικών επιβαρύνσεων για τους καταναλωτές.

[Μείωση του κόστους των ηλεκτρολυτών μέσω στοχευμένης βοήθειας \(π.χ. δάνεια, επιχορηγήσεις\)](#)¹⁵¹

Εκτός από τη μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, η οποία αποτελεί το κύριο συστατικό τιμής του «πράσινου» υδρογόνου, απαιτείται περαιτέρω μείωση του κόστους των ίδιων των ηλεκτρολυτών. Αυτό είναι πιθανό να επιτευχθεί μέσω ενός συνδυασμού από τα οφέλη της τεχνολογικής προόδου και την ύπαρξη κατάλληλου μηχανισμού στήριξης.

Οι πολιτικές άμεσης στήριξης με τη μορφή επιχορηγήσεων και δανείων έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί από ορισμένες από τις ισχυρότερες οικονομίες του κόσμου. Για παράδειγμα, στον προϋπολογισμό της για το 2020, η Γερμανία συμπεριέλαβε 445 εκατομμύρια ευρώ ειδικά για τη στήριξη της ευρύτερης και μεγαλύτερης βιομηχανικής χρήσης του «πράσινου» υδρογόνου, το οποίο σύμφωνα με την εθνική στρατηγική για το υδρογόνο στη Γερμανία, θεωρείται γενικά απαραίτητο για την απαλλαγή των ενεργοβόρων τομέων της χώρας από τις βιομηχανίες χάλυβα, τσιμέντου και χημικών προϊόντων. Επί του παρόντος, οι βιομηχανικές πολιτικές που υποστηρίζουν την κλιμάκωση και τη βελτίωση της αποδοτικότητας της παραγωγής ηλεκτρολυτών σχετίζονται κυρίως με τον καθορισμό μακροπρόθεσμων στόχων και τη δημιουργία ειδικών ταμείων που υποστηρίζουν τη βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής και των τεχνολογικών εξελίξεων.

Εκτός από την υποστήριξη της παραγωγής ηλεκτρολυτών, θα πρέπει να εφαρμόζεται άμεση χρηματοδοτική στήριξη σε έργα στα αρχικά στάδια ανάπτυξης

¹⁵¹ Πηγή: A. Patonia and R. Poudineh, Cost-competitive green hydrogen: how to lower the cost of electrolyzers?, January 2022, Oxford Institute for Energy Studies

τους για την τόνωση των δραστηριοτήτων Έρευνας και Ανάπτυξης. Όταν εφαρμόζεται στις πλέον ελπιδοφόρες τεχνολογίες ηλεκτρολυτών, θα πρέπει επί του παρόντος να δοθεί η μεγαλύτερη προσοχή στη βελτίωση της τεχνολογίας PEM ως της καταλληλότερης λύσης για τη σύζευξη με διαλείπουσες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας¹⁵².

Δημιουργία χρηματοδοτικού μηχανισμού για το υδρογόνο και άρση διοικητικών εμποδίων

Στόχος είναι να συνεργαστούν οι φορείς υλοποίησης έργων, η ιδιωτική χρηματοδότηση, και η αναπτυξιακή χρηματοδότηση έτσι ώστε να υπάρξει συνεννόηση και επιτάχυνση υλοποίησης των σχετικών έργων. Με αυτόν τον τρόπο, θα μειωθεί άμεσα το κόστος, αλλά θα καλυφθεί επίσης και η ανάγκη για στήριξη της αλυσίδα αξίας του πράσινου υδρογόνου. Οι βασικές δράσεις περιλαμβάνουν:

- › Δημιουργία πλαισίου που να επιτρέπει την σύνδεση της ιδιωτικής χρηματοδότησης με τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, για να αποτυπωθούν οι προοπτικές ανάπτυξης αλλά και τα εμπόδια για τη πραγματοποίηση επενδύσεων σε έργα υδρογόνου
- › Ανάπτυξη πλαισίου για την αποτελεσματική κατανομή του κόστους για τους επενδυτές, π.χ. ανάπτυξη μεθοδολογίας σταθμισμένου κόστους παραγωγής υδρογόνου (Levelized Cost of Hydrogen – LCOH)
- › Παροχή τεχνικής βοήθειας και χρηματοδότησης για την ανάπτυξη έργων και την γρήγορη υλοποίηση των διαδικασιών αδειοδότησης.

Εφαρμογή Συμβολαίων επί της Διαφοράς Άνθρακα (Carbon Contracts for Difference)

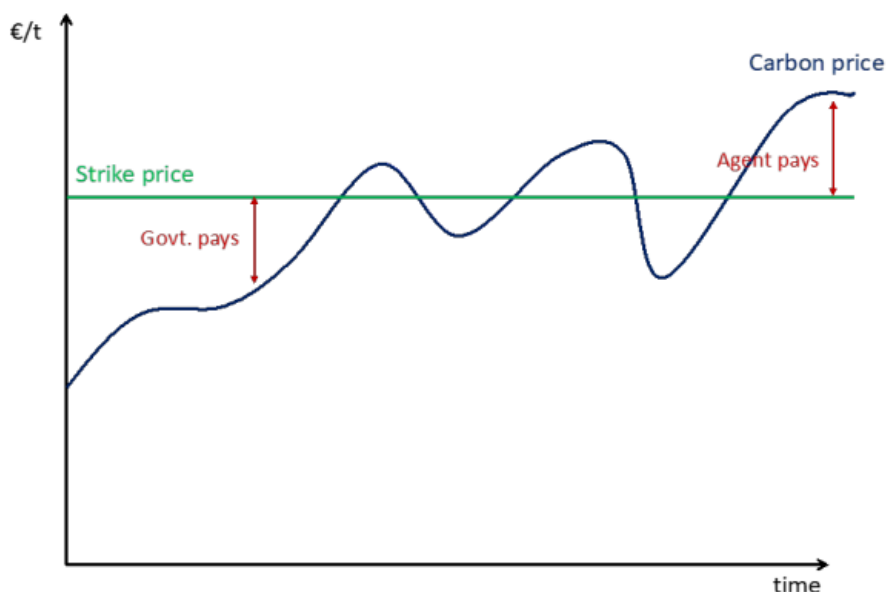
Οι συμβάσεις αυτές θα παρέχουν βεβαιότητα σχετικά με το κόστος παραγωγής υδρογόνου (πράσινου ή χαμηλών εκπομπών), καταβάλλοντας τη διαφορά που προκύπτει μεταξύ της τιμής της αγοράς CO₂ (δικαιωμάτων εκπομπής) και μιας συμφωνηθείσας τιμής CO₂ που εκφράζει ουσιαστικά το πλεονάζον κόστος που απαιτείται για την παραγωγή του πράσινου ή χαμηλών εκπομπών (κόστος αποφυγής CO₂) .

Ένα Συμβολαίο επί της Διαφοράς Άνθρακα (Carbon Contracts for Difference; CCfD) είναι μια σύμβαση/συμβόλαιο όπου μια κυβέρνηση ή ένας σχετικός οργανισμός συμφωνεί με έναν επενδυτή (σε έργο υδρογόνου) σε μια σταθερή τιμή άνθρακα (CO₂) για μια δεδομένη χρονική περίοδο (strike price). Κατά τη διάρκεια

¹⁵² Πηγή: A. Mayyas et al., Manufacturing Cost Analysis for Proton Exchange Membrane Water Electrolyzers, NREL (2019): <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72740.pdf>

της συμβατικά συμφωνηθείσας περιόδου, ο εν λόγω επενδυτής μπορεί στη συνέχεια να πωλήσει τυχόν μειώσεις εκπομπών άνθρακα (ή δικαιώματα εκπομπής) στη δεδομένη τιμή. Εάν η τιμή της αγοράς είναι χαμηλότερη από την θεωρούμενη σταθερή τιμή, ο επενδυτής καρπώνεται τη διαφορά. Εάν η αγοραία τιμή είναι υψηλότερη, ο επενδυτής πρέπει να επιστρέψει τα πρόσθετα έσοδα στην κυβέρνηση ή τον οργανισμό με τον οποίο συμφώνησε το Συμβόλαιο (βλ. Σχήμα 0-1).

Σχήμα 0-1 Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας Συμβολαίων επί της Διαφοράς Άνθρακα¹⁵³



Η εφαρμογή Συμβολαίων επί της Διαφοράς Άνθρακα αυτή θα μειώσει άμεσα το κόστος και θα αίρει σημαντικά τμήμα των οικονομικών αβεβαιοτήτων των σχετικών επενδύσεων.

- Προσδιορισμός ενός βιομηχανικού τομέα στον οποίο η εισαγωγή του υδρογόνου θα προσδώσει σημαντικά οφέλη, με σκοπό να εφαρμοστεί πιλοτικό πρόγραμμα Συμβολαίων επί της Διαφοράς Άνθρακα
- Διασφάλιση ότι υπάρχει κατάλληλος μηχανισμός τιμολόγησης του διοξειδίου του άνθρακα μέσω εφαρμογής φόρου στον άνθρακα ή υιοθέτησης συστήματος εμπορίας εκπομπών για τους σχετικούς βιομηχανικούς τομείς
- Συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών του κλάδου στο σχεδιασμό του συστήματος Συμβολαίων επί της Διαφοράς Άνθρακα
- Αξιοποίηση βέλτιστων πρακτικών από συμβάσεις ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ για διαφορετικούς χρήστες

¹⁵³ Πηγή: CLIMATE FRIENDLY MATERIALS PLATFORM, Carbon Contracts for Differences: their role in European industrial decarbonization, September 2020.

- › Κλιμάκωση του προγράμματος σύμφωνα με την εθνική στρατηγική για το υδρογόνο και την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας.

Παραδείγματα σχετικά με την εφαρμογή των Συμβολαίων επί της Διαφοράς Άνθρακα αποτελούν τα παρακάτω:

- › Η Γερμανία μέσα στη Στρατηγική της για το Υδρογόνο ανακοίνωσε την εφαρμογή Συμβολαίων επί της Διαφοράς Άνθρακα μέσω την υιοθέτησης πιλοτικών σχημάτων για την υποστήριξη της χρήσης πράσινου υδρογόνου σε χαλυβουργικές και χημικές βιομηχανίες
- › Η Ολλανδία στο πρόγραμμα SDE++ παρέχει υποστήριξη για τα κόστη λειτουργίας μέσω ενός μηχανισμού CCfD
- › Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει εισάγει την εφαρμογή Συμβολαίων επί της Διαφοράς για την στήριξη της ανάπτυξης τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής χαμηλών εκπομπών CO₂.

Παροχή κινήτρων για την ανάπτυξη της ζήτησης υδρογόνου

Υπάρχει μια σειρά δράσεων που μπορούν να αναληφθούν για να ενισχύσουν την ανάπτυξη της ζήτησης υδρογόνου. Δύο από τις πιο προβεβλημένες είναι:

- › Η ανάπτυξη «κοιλάδων υδρογόνου» μέσω της προώθησης περιφερειακών και τομεακών στόχων
- › Η επιτάχυνση της μετατόπισης καυσίμου στις βιομηχανικές εφαρμογές μέσω μείζονος πολιτικής μετασχηματισμού.

Οι δράσεις αυτές θα μειώσουν άμεσα το κόστος, αλλά θα εξαλείψουν επίσης σημαντικό μέρος της αβεβαιότητας για την πρόσληψη υδρογόνου. Τα ειδικά μέτρα περιλαμβάνουν:

- › «Κοιλάδες υδρογόνου» (hydrogen valleys)
 - Προσδιορισμός βιομηχανικών δομών ή περιοχών όπου η προσφορά και η ζήτηση υδρογόνου μπορούν να συνυπάρχουν
 - Συγκέντρωση βασικών εκπροσώπων του κλάδου και υπευθύνων χάραξης πολιτικής για την ανάπτυξη στρατηγικής
 - Αξιολόγηση της κατάλληλης τεχνολογίας για την απαλλαγή από τα αέρια θερμοκηπίου συμπεριλαμβανομένου του υδρογόνου, της δέσμευσης, χρήσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCUS) της αποδοτικότητας του συστήματος και της κυκλικότητας
 - Καθορισμός και συμφωνία στόχων για την περιοχή και τους τομείς τελικής εφαρμογής σύμφωνα με τους εθνικούς στόχους για κλιματική ουδετερότητα
- › Στόχοι αλλαγής καυσίμου (fuel switch)

- Συμπερίληψη του υδρογόνου ως πιθανού φορέα ενέργειας για βιομηχανικές εγκαταστάσεις σε βιομηχανικές πολιτικές και στρατηγικές απαλλαγής από τους ρύπους
- Θέσπιση ειδικών μέτρων για την προώθηση αλλαγής καυσίμων στη βιομηχανία, συμπληρώνοντας την αύξηση ενεργειακής αποδοτικότητας. Αυτό πραγματοποιείται μέσω:
 - Ποσοτώσεων που να αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου
 - Παροχή δανείων ή κεφαλαίων με ευνοϊκούς όρους
 - Εισαγωγή πιστοποιητικών έντασης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σαν εμπορεύσιμα πιστοποιητικά¹⁵⁴
- Θέσπιση συγκεκριμένων στόχων για την εισαγωγή υδρογόνου στις μεταφορές κατά τις επιταγές της Οδηγίας RED II και της σχεδιαζόμενης της αναθεώρησης στα πλαίσια του Πακέτου Fit-for-55.

¹⁵⁴ Το μέτρο αυτό συνδέεται με το Μηχανισμό Συνοριακής Προσαρμογής Άνθρακα (CBAM) που προτάθηκε μέσω της Δέσμης μέτρων Fit-for-55 τον Ιούλιο του 2021 και αφορά στην εφαρμογή φόρου σε εισαγωγές ορισμένων κατηγοριών προϊόντων υψηλής έντασης άνθρακα με στόχο τη ενθάρρυνση λήψης μέτρων τιμολόγησης εκπομπών CO₂ για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, όπως επίσης και την αποφυγή της λεγόμενης «διαρροής άνθρακα» (carbon leakage)

ΝΟΜΙΚΟ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

7.1 Ρυθμιστικά θέματα δικτύου ΦΑ για χρήση υδρογόνου

7.1.1 Αναγκαιότητα δημιουργίας στοχευμένου ρυθμιστικού πλαισίου

Αναλύοντας την στρατηγική της ΕΕ σχετικά με την επίτευξη των στόχων για το 2030 και 2050 (βλ. Κεφάλαιο 2), είναι πλέον σαφές ότι το υδρογόνο ως φορέας καθαρής ενέργειας θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο, κυρίως για τον κλάδο των μεταφορών, των βιομηχανιών υψηλής έντασης ενέργειας και τη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Δεδομένου ότι συμβαδίζουν με τους ευρωπαϊκούς στόχους, αέρια του τύπου όπως το βιοαέριο, το βιομεθάνιο, το συνθετικό μεθάνιο και το υδρογόνο αναμένεται να αντικαταστήσουν το φυσικό αέριο. Συνεπώς, για την ενίσχυση του υδρογόνου, απαιτείται το κατάλληλο νομοθετικό πλαίσιο που θα συμβάλει στη διάδοση καθαρών τεχνολογιών στον τομέα της ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, η Στρατηγική για το Υδρογόνο, τονίζει τον κρίσιμο ρόλο του πράσινου υδρογόνου, το οποίο παράγεται από ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (σημειωτέων ότι, όπως ήδη καταδείχθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, η παραγωγή αυτή είναι ιδιαίτερα ακριβή και ενεργοβόρα με απώλειες να φτάνουν έως και τα $\frac{3}{4}$ της συνολικής παραγωγής).

Σύμφωνα με τις μελέτες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, προβλέπεται ότι μέχρι το 2050 η παραγωγή φυσικού αερίου θα μειωθεί κατά 66-71% σε σύγκριση με το 2015, ενώ η ζήτηση για τα εναλλακτικά αέρια θα είναι διπλάσια από τη ζήτηση του φυσικού αερίου. Ωστόσο, η τμηματική υποκατάσταση του φυσικού αερίου προϋποθέτει ένα πλαίσιο στήριξης ανάλογο με εκείνο των ΑΠΕ στον ηλεκτρισμό.

Κατά συνέπεια, η ανακοίνωση νέας δέσμης ρυθμιστικών μέτρων για το φυσικό αέριο κατέστη αναγκαία λόγω της νέας πολιτικής για το υδρογόνο και η ενοποίηση των συστημάτων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στοιχεία των υποδομών φυσικού αερίου (στα οποία μπορούν να λάβουν χώρα μετατροπές για τη μεταφοράς του) αναμένεται να αποτελέσουν το δίκτυο υδρογόνου στην Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά θα απαιτηθούν, ωστόσο και νέες υποδομές. Επισημαίνεται όμως ότι σύμφωνα με

τον ACER¹⁵⁵ ικανός αριθμός διαχειριστών συστημάτων φυσικού αερίου εξακολουθεί να μην δέχεται έγχυση υδρογόνου στο σύστημα.

7.1.2 Πρόταση της ΕΕ για το Υδρογόνο – Το Πακέτο της Αποανθρακοποιημένης Αγοράς Φυσικού Αερίου

Σε συνέχεια του «Πακέτου Καθαρής Ενέργειας για όλους τους Ευρωπαίους», η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε το «Πακέτο του Υδρογόνου και της αποανθρακοποιημένης Αγοράς Φυσικού Αερίου»¹⁵⁶ (“Hydrogen and Decarbonised Gas Market Package”) τον Δεκέμβριο του 2021. Το εν λόγω πακέτο αναθεωρεί τον Κανονισμό (ΕΚ) 715/2009¹⁵⁷ φυσικού αερίου και την Οδηγία 2009/73/ΕΚ¹⁵⁸ φυσικού αερίου με σκοπό να δημιουργήσει συγκεκριμένο ρυθμιστικό πλαίσιο για τα αέρια χαμηλού άνθρακα (π.χ. βιομεθάνιο) και τα αποανθρακοποιημένα αέρια (π.χ. υδρογόνο).

Το Πακέτο εισάγει κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά φυσικού αερίου, συμπεριλαμβανομένων κανόνων σε σχέση με την οργάνωση και λειτουργία του τομέα του υδρογόνου, πρόσβαση στην αγορά, κριτήρια και διαδικασίες αδειοδότησης για τα δίκτυα, προμήθεια και αποθήκευση υδρογόνου, καθώς και λειτουργία των συστημάτων μεταφοράς. Ταυτοχρόνως, ενισχύεται και ο διασυνοριακός συντονισμός κατ’ αντιστοιχία με την Οδηγία (ΕΕ) 2019/944¹⁵⁹ και τον Κανονισμό (ΕΕ) 2019/943¹⁶⁰ για τον ηλεκτρισμό.

Ειδικότερα, αναφορικά με τα κύρια σημεία της πρότασης Οδηγίας¹⁶¹ και Κανονισμού¹⁶² στο Πακέτο, σημειώνονται τα εξής:

1. Επέκταση της νομοθεσίας περί φυσικού αερίου σε αέρια χαμηλού άνθρακα και στο υδρογόνο

Η πρόταση αναθεωρημένης/αναδιατυπωμένης (recast) Οδηγίας περιλαμβάνει ορισμούς για διάφορα είδη αερίων, τα οποία μπορούν να μεταφερθούν μέσω του συστήματος μεταφοράς, **εισάγοντας για πρώτη φορά στο πεδίο εφαρμογής της τα αέρια χαμηλού άνθρακα (low-carbon gas) και το υδρογόνο**. Τα αέρια χαμηλού άνθρακα είναι μέρος των καυσίμων χαμηλού άνθρακα (δηλ. καύσιμα ανακυκλωμένου άνθρακα σύμφωνα με την Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001 για τις ΑΠΕ¹⁶³), υδρογόνο χαμηλού άνθρακα, συνθετικά αέρια και

¹⁵⁵ Αναφορά: ACER Report on NRA’s Survey, Hydrogen, Biomethane and Related Network Adaptations

¹⁵⁶ Αναφορά: https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/market-legislation/hydrogen-and-decarbonised-gas-market-package_en

¹⁵⁷ Αναφορά: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=celex%3A32009R0715>

¹⁵⁸ Αναφορά: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX:32009L0073>

¹⁵⁹ Αναφορά: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/el/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0944>

¹⁶⁰ Αναφορά: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0943>

¹⁶¹ Αναφορά: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0803&qid=1640002501099>

¹⁶² Αναφορά: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2021%3A804%3AFIN&qid=1640001545187>

¹⁶³ Αναφορά: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001>

υγρά καύσιμα που προέρχονται από υδρογόνο χαμηλού άνθρακα τα οποία ανταποκρίνονται στο ζητούμενο της μείωσης κατά 70% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (βλ. άρθρο 2 παρ. 10 και 11 πρότασης Οδηγίας).

2. Επιτάχυνση της αδειοδότησης

Σύμφωνα με την πρόταση αναθεωρημένης/αναδιατυπωμένης (recast) Οδηγίας (άρθρο 7), τα ΚΜ θα πρέπει να μειώσουν τη διάρκεια της αδειοδοτικής διαδικασίας, όσον αφορά στην κατασκευή νέων υποδομών υδρογόνου ή εγκαταστάσεων παραγωγής υδρογόνου σε δύο (2) έτη με δυνατότητα παράτασης ενός έτους, όπου αυτό δικαιολογείται λόγω εξαιρετικών συνθηκών υπό την επιφύλαξη υποχρεώσεων σύμφωνα με το Δίκαιο Περιβάλλοντος της Ένωσης και των ενστάσεων/προσφυγών ενώπιον δικαστηρίων και αρμοδίων αρχών. Περαιτέρω, οι άδειες που ισχύουν για την κατασκευή και λειτουργία των αγωγών φυσικού αερίου σύμφωνα με το εθνικό δίκαιο, θα ισχύουν και για τους αγωγούς και τα πάγια του δικτύου για τη μεταφορά υδρογόνου, σε περίπτωση μετατροπής. Επίσης, τα ΚΜ θα πρέπει να ορίσουν ένα ή περισσότερα σημεία επαφής (contact point(s)) για τη διευκόλυνση του συνόλου της αδειοδοτικής διαδικασίας, χωρίς οικονομική επιβάρυνση.

3. Κανόνες Διαχωρισμού (Unbundling Rules)

Ακόμα ένα βασικό στοιχείο της πρότασης είναι η αποφυγή σύγκρουσης συμφερόντων και η προώθηση του ανταγωνισμού. Στο πλαίσιο αυτό και κατ'αντιστοιχία με τους διαχειριστές του ηλεκτρισμού και του φυσικού αερίου, οι διαχειριστές των δικτύων υδρογόνου πρέπει να είναι διαχωρισμένοι και να πιστοποιούνται από τη Ρυθμιστική Αρχή (άρθρα 62 παρ.5, 65 πρότασης Οδηγίας). Προς αυτόν το σκοπό, τα ΚΜ θα πρέπει να διασφαλίσουν ότι από τον Δεκέμβριο του 2024 οι διαχειριστές θα είναι διαχωρισμένοι σύμφωνα με τους κανόνες που ισχύουν για τους διαχειριστές συστήματος μεταφοράς φυσικού αερίου (TSOs) (άρθρο 62 πρότασης Οδηγίας). Ωστόσο, δίδεται κάποια ευελιξία και τα ΚΜ μπορούν να εφαρμόσουν ιδιοκτησιακό διαχωρισμό, αλλά έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν το μοντέλο του Ανεξάρτητου Διαχειριστή (ISO) ή το μοντέλου του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς (ITO), αν το δίκτυο υδρογόνου ανήκει στην κάθετα ολοκληρωμένη επιχείρηση (άρθρο 62 παρ. 2 και 55). Σύμφωνα με το μοντέλο ISO, οι εταιρείες προμήθειας μπορούν να έχουν στην ιδιοκτησία τους συστήματα μεταφοράς φυσικού αερίου ή ηλεκτρισμού, αλλά η λειτουργία, η συντήρηση και οι επενδύσεις στο δίκτυο θα πρέπει να λαμβάνουν χώρα από ανεξάρτητη εταιρεία. Σύμφωνα με το μοντέλο ITO, οι εταιρείες προμήθειας μπορούν να έχουν στην ιδιοκτησία τους συστήματα μεταφοράς φυσικού αερίου ή ηλεκτρισμού, αλλά μέσω θυγατρικής και οι αποφάσεις ιδίως αναφορικά με τη λειτουργία, τη συντήρηση και τις επενδύσεις στο δίκτυο θα πρέπει να λαμβάνουν χώρα εντελώς ανεξάρτητα με τη μητρική. Ωστόσο, σημειώνεται ότι τα ΚΜ πρέπει να έχουν διαχειριστή

μεταφοράς υδρογόνου κατά το μοντέλο ΙΤΟ μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 2030 (άρθρο 62 παρ. 4).

4. Πρόσβαση τρίτων στα δίκτυα υδρογόνου-Σύστημα εισόδου-εξόδου

Σύμφωνα με την πρόταση αναθεωρημένης/αναδιατυπωμένης (recast) Οδηγίας (άρθρα 31 επ.), η πρόσβαση στο σύστημα μεταφοράς υδρογόνου θα υπόκειται σε καθεστώς ρυθμιζόμενης πρόσβασης (regulated third party access – rTPA) επί τη βάσει δημοσιευμένων τιμολογίων. Συνεπώς, η πρόσβαση θα υπόκειται σε αντικειμενικούς όρους και χωρίς διακρίσεις έναντι των χρηστών του συστήματος μεταφοράς υδρογόνου. Τα τιμολόγια ή οι μεθοδολογίες θα πρέπει να εγκρίνονται προηγουμένως από τις Ρυθμιστικές Αρχές. Ωστόσο μέχρι 31 Δεκεμβρίου 2030, τα ΚΜ δύνανται να εφαρμόζουν την πρόσβαση στο δίκτυο υδρογόνου κατόπιν διαπραγματεύσεων (negotiated third party access - nTPA) (άρθρο 31 παρ. 4). Αυτό σημαίνει ότι οι όροι πρόσβασης θα αποτελούν αντικείμενο διαπραγμάτευσης μεταξύ των μερών και δεν θα προκαθορίζονται με απόφαση της Ρυθμιστικής Αρχής. Η ανώτατη διάρκεια για συμβάσεις ισχύος (capacity contracts) σε σχέση με το υδρογόνο ορίζεται στα 20 έτη (άρθρο 6 παρ. 3 πρότασης Κανονισμού).

Επίσης στο σημείο αυτό θα πρέπει αναφερθεί ότι η πρόταση αναθεωρημένου /αναδιατυπωμένου (recast) Κανονισμού ορίζει το σύστημα εισόδου-εξόδου, διασφαλίζοντας την ένταξη του συστήματος διανομής στη ζώνη εξισορρόπησης. Ο σκοπός είναι προφανώς να εξασφαλισθούν συνθήκες ανταγωνισμού για τα ανανεώσιμα και τα αέρια χαμηλού άνθρακα που συνδέονται είτε στο σύστημα είτε στο δίκτυο. Επίσης, σύμφωνα με το άρθρο 6 παρ. 6 της πρότασης Κανονισμού, από 01.01.2031 τα δίκτυα υδρογόνου θα οργανώνονται σύμφωνα με το σύστημα εισόδου-εξόδου. Κατ' αρχήν οι χρήστες θα μπορούν να δεσμεύουν ισχύ (firm capacity) στα σημεία εισόδου-εξόδου του ίδιου συστήματος εισόδου-εξόδου. Οι χρήστες θα πρέπει να έχουν ευθύνη εξισορρόπησης.

5. Πιστοποίηση για ανανεώσιμα αέρια και αέρια χαμηλού άνθρακα

Η πρόταση Οδηγίας εισάγει υποχρεωτικό σύστημα πιστοποίησης τόσο των εγχώριων (εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης), όσο και των εισαγόμενων ανανεώσιμων αερίων και των αερίων χαμηλού άνθρακα σύμφωνα με τα άρθρα 29 και 30 της Οδηγίας (ΕΕ) 2018/2001, καθώς προκειμένου η σχετική αγορά να καταστεί βιώσιμη θα πρέπει να αναγνωρίζεται από τους συμμετέχοντες σε αυτήν. Η εν λόγω υποχρέωση σκοπό έχει να διασφαλίσει τη μείωση των εκπομπών ΑτΘ κατά 70% (άρθρο 8). Μέχρι τις 31.12.2024, η Επιτροπή θα υιοθετήσει μέτρα που θα προσδιορίζουν τη μεθοδολογία εκτίμησης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου οι οποίες αποφεύγονται λόγω των καυσίμων

χαμηλού άνθρακα. Η πιστοποίηση μπορεί να βασίζεται σε εθελοντικά εθνικά ή διεθνή προγράμματα αν αυτά είναι συμβατά με την παραπάνω μεθοδολογία.

6. Διαχωρισμός Ρυθμιζόμενων Περιουσιακών Βάσεων

Αν ο διαχειριστής δικτύου υδρογόνου παρέχει ρυθμιζόμενες υπηρεσίες για αέριο, υδρογόνο ή/και ηλεκτρισμό, θα πρέπει να τηρεί ξεχωριστές Ρυθμιζόμενες Περιουσιακές Βάσεις (ΡΠΒ) (Regulated Asset Bases – RAB). Γενικώς, η ΡΠΒ αφορά την αξία των κεφαλαίων που απασχολούνται για την εκτέλεση των ρυθμιζόμενων δραστηριοτήτων του Διαχειριστή, όπως αυτή η αξία καθορίζεται βάσει κανόνων που ορίζονται από τον Ρυθμιστή, προκειμένου να προσδιορισθούν τα έσοδα από τις ρυθμιζόμενες δραστηριότητες. Η ΡΠΒ στο πλαίσιο αυτό αποτελεί, μεταξύ άλλων, τη βάση για τον καθορισμό των τιμολογίων. Οι διαχωρισμένες ΡΠΒ σημαίνουν ότι η αξία των παγίων του αερίου αφενός και των παγίων του υδρογόνου αφετέρου, δεν θα συνδυάζονται, αλλά θα παραμένουν κεχωρισμένες. Προφανώς, η διαχωρισμένη ΡΠΒ σκοπό έχει να αποτρέψει του διαχειριστές που δραστηριοποιούνται συγχρόνως στο φυσικό αέριο και στο υδρογόνο από την ανακατανομή του (υψηλού) κόστους των χρηστών του νεοεισαχθέντος υδρογόνου στους λοιπούς χρήστες του συστήματος μεταφοράς φυσικού αερίου. Προκειμένου να μετριαστεί το ύψος των τιμολογίων του υδρογόνου λόγω αυτής της προσέγγισης, η πρόταση Οδηγίας περιλαμβάνει εκπτώσεις στα τιμολόγια του συστήματος σε διαφορά επίπεδα.

Ωστόσο, σύμφωνα με την πρόταση Κανονισμού (άρθρο 4), τα ΚΜ δύνανται να επιτρέπουν μεταφορές (financial transfer) από τη μία ΡΠΒ στην άλλη, μετά από εκτίμηση αυτών, ώστε να αποφεύγονται σταυροειδείς επιδοτήσεις (δηλ. μία δραστηριότητα να επιδοτείται από τα κέρδη μίας άλλης δραστηριότητας) και κατόπιν έγκρισης από τον Ρυθμιστή. Η πρόταση Κανονισμού προβλέπει ότι τα απαιτούμενα έσοδα για τη μεταφορά (financial transfer), θα εισπράττονται με τη μορφή συγκεκριμένης χρέωσης. Η χρέωση αυτή θα εισπράττεται μόνο στα σημεία εξόδου και θα επιβάλλεται στους χρήστες της ΡΠΒ (εντός του ΚΜ) που επωφελούνται από τη μεταφορά αυτή.

7. Εκπτώσεις στα τιμολόγια για ανανεώσιμα αέρια και αέρια χαμηλού άνθρακα

Προς το σκοπό αναβάθμισης της έγχυσης των ανανεώσιμων και των αερίου χαμηλού άνθρακα, η πρόταση Κανονισμού προβλέπει έκπτωση 75% στα capacity-based τιμολόγια στα σημεία εισόδου από εγκαταστάσεις παραγωγής αυτών των αερίων (άρθρο 16). Ωστόσο, οι Ρυθμιστικές Αρχές μπορούν να αποφασίζουν χαμηλότερες εκπτώσεις. Η Επιτροπή θα επανεξετάσει το μέτρο πέντε (5) έτη μετά τη θέση σε ισχύ του Κανονισμού. Περαιτέρω, από την 1^η Ιανουαρίου του έτους που έπεται της θέσης σε ισχύ του Κανονισμού, προβλέπεται έκπτωση 100% αναφορικά με τα ρυθμιζόμενα τιμολόγια από τον

Διαχειριστή Συστήματος στα διασυνδεδετικά σημεία συμπεριλαμβανομένων των σημείων εισόδου από και σημείων εξόδου προς τρίτες χώρες, καθώς και των σημείων εισόδου από σταθμούς ΥΦΑ για τα ανανεώσιμων και των αερίου χαμηλού άνθρακα.

8. Δυνατότητα Πρόσμιξης

Στην πρόταση Κανονισμού (άρθρο 20) παρέχεται περαιτέρω στα ΚΜ, η δυνατότητα να επιτρέπουν την πρόσμιξη υδρογόνου εντός των εθνικών συστημάτων φυσικού αερίου. Επίσης, οι Διαχειριστές Συστημάτων να δέχονται ροές φυσικού αερίου με υδρογόνο έως 5% κατ' όγκο στα διασυνδεδετικά σημεία μεταξύ ΚΜ της Ευρωπαϊκής Ένωσης από 1.10.2025 σύμφωνα με διαδικασία που προβλέπεται στο άρθρο 19 της πρότασης Κανονισμού. Ωστόσο, οι διασυνοριακές διαφορές σε επίπεδο όγκου υδρογόνου σε πρόσμιξη με φυσικό αέριο θα θεωρούνται ως περιορισμός των διασυνοριακών ροών.

9. ΕΔΔΣΥ και Ευρωπαϊού Διαχειριστή Δικτύων Διανομής

Η πρόταση Κανονισμού κατ' αντιστοιχία με τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο προβλέπει τη δημιουργία «European Network of Network Operators for Hydrogen» (ENNOH) με αντίστοιχα καθήκοντα με τους ENTSO-E και ENTSO-G. Επίσης προβλέπεται και η δημιουργία Ευρωπαϊού Διαχειριστή Δικτύων Διανομής.

Περαιτέρω, η πρόταση αναθεώρησης της Οδηγίας 2009/73/EK υιοθετεί την προσέγγιση ενός ενοποιημένου σχεδιασμού του συστήματος προβλέποντας την υποχρέωση των Διαχειριστών Συστήματος Μεταφοράς (TSOs) Φυσικού Αερίου να υποβάλουν στην αρμόδια Ρυθμιστική Αρχή το Δεκαετές Πρόγραμμα Ανάπτυξης μετά από διαβούλευση με όλους τους ενδιαφερομένους. Θα πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένα πρόγραμμα ανάπτυξης δικτύων ανά ΚΜ. Προς το σκοπό αυτό, οι διαχειριστές υποδομών συμπεριλαμβανομένων των διαχειριστών ΥΦΑ, εγκαταστάσεων αποθήκευσης ΦΑ, διαχειριστών δικτύων διανομής ΦΑ καθώς και των διαχειριστών συστημάτων ηλεκτρισμού θα πρέπει να παρέχουν και να ανταλλάσσουν πληροφορίες με τους Διαχειριστές Συστήματος Μεταφοράς φυσικού αερίου για την εκπόνηση ενιαίου προγράμματος.

7.1.3 Δημόσια έγγραφα ACER/CEER

Ο ACER και το CEER δημοσίευσαν τον Δεκέμβριο του 2021 το position paper σε σχέση με Βασικά Ρυθμιστικά Θέματα για την Επίτευξη της αποανθρακοποίησης του δικτύου αερίου¹⁶⁴.

Στο έγγραφο αυτό περιλαμβάνονται, μεταξύ άλλων, συστάσεις προς τους Ρυθμιστές σε σχέση με τη σταδιακή και ευέλικτη ρύθμιση της αγοράς του υδρογόνου. Οι εν λόγω συστάσεις επιγραμματικά αφορούν τα εξής:

- i. Την υιοθέτηση μίας **σταδιακής και ευέλικτης προσέγγισης για τη διευκόλυνση της ανάπτυξης ανταγωνιστικών αγορών υδρογόνου**, με τον προσδιορισμό των βασικών αρχών αγοράς και ρύθμισης, οι οποίες θα εγγυώνται τον ανταγωνισμό, τον ιδιοκτησιακό διαχωρισμό, την πρόσβαση τρίτων τη διαφάνεια και την ρυθμιστική εποπτεία.
- ii. Την **περιοδική παρακολούθηση των αγορών υδρογόνου** για τη διαπίστωση της ανάπτυξής τους και της ανάγκης για περαιτέρω ρύθμιση.
- iii. Την **εφαρμογή των αρχών της κοστοστρέφειας** και ότι «ο ωφελούμενος/χρήστης πληρώνει» στα δίκτυα υδρογόνου για αποφυγή σταυροειδών επιδοτήσεων.

Ειδικότερα, ως προς **την πρώτη σύσταση** σημειώνεται ότι καθώς ο τομέας του υδρογόνου¹⁶⁵ μένει κατά το μεγαλύτερο μέρος του να καθοριστεί, είναι σημαντικό να τεθούν οι βασικές ρυθμιστικές αρχές σε ένα αρχικό στάδιο, προκειμένου να περιορίζεται η ανασφάλεια των επενδυτών και να διασφαλίζεται η προστασία των καταναλωτών. Ωστόσο δεν υπάρχει ακόμα σαφής εικόνα ως προς το πως ο τομέας αυτός θα εξελιχθεί σε σχέση με την κατανάλωση, την παραγωγή και κατά συνέπεια και τις υποδομές. Ως εκ τούτου, μία σταδιακή προσέγγιση όσον αφορά τη ρύθμιση του τομέα αυτού θα συνέβαλε στην ανάπτυξή του.

Το Πακέτο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το Υδρογόνο και για την Αγορά Αποανθρακοποιημένου Φυσικού Αερίου θα πρέπει να προσδιορίσει της βασικές αρχές της αγοράς και τις αρχές της ρύθμισης και μπορεί να προβλέπει τις ελάχιστες απαιτήσεις για όλα τα ΚΜ.

- **Αρχές αγοράς:** Τη διατήρηση του Ευρωπαϊκού μοντέλου για τις ενεργειακές αγορές με την προώθηση ενός ανοικτού και ανταγωνιστικού χωρίς διακρίσεις πεδίου για τις μελλοντικές ανανεώσιμων και χαμηλού άνθρακα αγορές υδρογόνου που θα προσελκύει επενδύσεις και θα περιέχει σαφή διάκριση μεταξύ των ανταγωνιστικών

¹⁶⁴ Αναφορά: Position Paper on the Key Regulatory Requirements to Achieve Gas Decarbonisation dated 20 December 2021

¹⁶⁵ Εννοείται η αγορά και οι υποδομές «καθαρού» υδρογόνου όχι ως αποτέλεσμα προσμίξεων

(παραγωγή/προμήθεια) και των μονοπωλιακών (μεταφορά/διανομή) δραστηριοτήτων.

- **Κανόνες Κάθετου Διαχωρισμού:** Τη διατήρηση του ιδιοκτησιακού διαχωρισμού ως το μοντέλο-στόχο για τους διαχειριστές των συστημάτων υδρογόνου με την εισαγωγή διαχωρισμού μεταξύ ανταγωνιστικών και μονοπωλιακών δραστηριοτήτων, με τον λογιστικό διαχωρισμό ως το ελάχιστο και τη σταδιακή επίτευξη του μοντέλου-στόχου. Το είδος του μεταβατικού διαχωρισμού θα πρέπει να εξαρτάται από την ωριμότητα του τομέα του υδρογόνου (με λιγότερη αυστηρότητα για τα μικρά δίκτυα κάτω από κάποιο όριο), ανεξαρτήτως του τύπου του διαχωρισμού για τον τομέα του φυσικού αερίου. Προσωρινές εξαιρέσεις θα πρέπει να λαμβάνουν χώρα υπό αυστηρούς όρους, οι οποίοι θα εκτιμώνται από τον εθνικό Ρυθμιστή.
- **Κανόνες Οριζόντιου Διαχωρισμού:** Να επιτρέπεται στους διαχειριστές του δικτύου αερίου να είναι ταυτοχρόνως και διαχειριστές του δικτύου υδρογόνου, υπό την έγκριση της Ρυθμιστικής Αρχής και υποχρεωτικός λογιστικός διαχωρισμός μεταξύ των υποδομών και δραστηριοτήτων αερίου και υδρογόνου προς το σκοπό διασφάλισης της διαφάνειας και του αποτελεσματικού καθορισμού τιμολογίων.
- **Πρόσβαση Τρίτων (TPA):** Να εναπόκειται στην κρίση των ΚΜ ο τύπος και η εφαρμογή της χωρίς διακρίσεις πρόσβασης στις υποδομές υδρογόνου, σε αναλογία με την τρέχουσα ρύθμιση για την αποθήκευση (κατόπιν διαπραγμάτευσης vs ρυθμιζόμενη πρόσβαση).
- **Διαφάνεια:** Τη διασφάλιση ότι οι χρήστες των υποδομών υδρογόνου θα ενημερώνονται από τους αντίστοιχους διαχειριστές για τις προσφερόμενες υπηρεσίες και τους σχετικούς οικονομικούς και τεχνικούς όρους (συμπεριλαμβανομένων των τιμολογίων).

Περαιτέρω επισημαίνεται ότι λόγω της σταδιακής και ευέλικτης προσέγγισης, δικαιολογούνται προσωρινές εξαιρέσεις σε βασικές ρυθμιστικές αρχές της αγοράς. Όσον αφορά την πρόσβαση τρίτων, οι Ρυθμιστές μπορούν να εφαρμόζουν τις εξής εξαιρέσεις:

- Εξαιρέσεις για κλειστά δίκτυα διανομής από τη ρυθμιζόμενη πρόσβαση (αν αυτή εφαρμόζεται), κατ' αναλογία του άρθρου 28 της Οδηγίας 2009/73/ΕΕ
- Ειδικές προβλέψεις για τις απευθείας γραμμές κατ' αναλογία του άρθρου 88 της Οδηγίας 2009/73/ΕΕ.

Επίσης, ο ιδιοκτησιακός διαχωρισμός είναι το μοντέλο-στόχος για το σύστημα μεταφοράς υδρογόνου, ενώ θα απαιτείται η έγκριση της Ρυθμιστικής Αρχής για προσωρινές και χρονικά περιορισμένες εξαιρέσεις υπό αυστηρούς όρους

λαμβάνοντας υπόψη της συνθήκης της εθνικής αγοράς. Οι Ρυθμιστές θα μπορούσαν να εφαρμόσουν και τις εξής επιπρόσθετες εξαιρέσεις:

- › Να επιτρέπουν στους διαχειριστές συστήματος και δικτύου (TSOs/DSOs) να έχουν μικρής κλίμακας μη εμπορικά καινοτόμα έργα που να αφορούν και μη ρυθμιζόμενες δραστηριότητες προκειμένου να στηρίζουν την ανάπτυξη του τομέα του υδρογόνου.
- › Να θεωρούν τις επενδύσεις και τη διαχείριση εγκαταστάσεων power-to-gas ως ανταγωνιστική δραστηριότητα και να επιτρέπουν την ανάμειξη των διαχειριστών μόνο προς το σκοπό αξιόπιστης και ασφαλούς λειτουργίας των δικτύων για την ανάπτυξη και λειτουργία εγκαταστάσεων power-to-gas σε εξαιρετικές περιπτώσεις κατ' αναλογία των άρθρων 36 και 54 της Οδηγίας 2019/994 (βλ. και ACER-CEER Regulatory Treatment of Power-to-Gas "European Green Deal" Regulatory White Paper series (paper#2)¹⁶⁶).
- › Να επιτρέπουν προσωρινές εξαιρέσεις σε σχέση με τον ιδιοκτησιακό διαχωρισμό των Διαχειριστών Συστημάτων Φυσικού Αερίου (τόσο για ανάμεικτα όσο και για αποκλειστικά με υδρογόνο δίκτυα), επιτρέποντας την εταιρεία holding ενός ιδιοκτησιακά διαχωρισμένου Διαχειριστή Συστήματος φυσικού αερίου (gas TSO) να ελέγχει και την εταιρεία παραγωγής υδρογόνου μόνο για περιορισμένο χρονικό διάστημα και υπό ειδικούς όρους σύμφωνα με τον Ρυθμιστή, λαμβάνοντας υπόψη τη δομή της αγοράς και την πρόθεση της αγοράς για επενδύσεις.

Εν γένει, τα ΚΜ θα μπορούν περαιτέρω να προσδιορίζουν τη ρύθμιση ανάλογα με τις συνθήκες της αγοράς και να περιλάβουν μία ενότητα στο ΕΣΕΚ αναφορικά με τον πολιτικό σχεδιασμό προκειμένου να δοθεί η κατεύθυνση και ο ρυθμός αποανθρακοποίησης σε εθνικό επίπεδο.

Ως προς τη **δεύτερη σύσταση** επισημαίνεται ότι η ανάπτυξη της αγοράς υδρογόνου θα πρέπει να εποπτεύεται κατά περιόδους από τις Ρυθμιστικές Αρχές προκειμένου να εντοπίζονται τυχόν ανάγκες προσαρμογής του ρυθμιστικού πλαισίου. Οι Ρυθμιστικές Αρχές θα πρέπει να έχουν την αρμοδιότητα να εποπτεύουν τον τομέα ώστε να διασφαλίζεται η συμμόρφωση με τις διατάξεις περί διαχωρισμού (Unbundling), πρόσβασης τρίτων (TPA) και διαφάνειας καθώς και της χορήγησης εξαιρέσεων και της εφαρμογής προσωρινών μέτρων. Οι Ρυθμιστικές Αρχές θα πρέπει να επιφορτιστούν, με την υποστήριξη και των ΚΜ σε σχέση με την ανάλυση του τύπου της πρόσβασης τρίτων και του διαχωρισμού που θα πρέπει να εφαρμοστεί. Σε

¹⁶⁶ Αναφορά:

[https://documents.acer.europa.eu/Official_documents/Position_Papers/Position%20papers/ACER-CEER%20White%20Paper%20on%20the%20Regulatory%20Treatment%20of%20Power%20to%20Ga
s.pdf](https://documents.acer.europa.eu/Official_documents/Position_Papers/Position%20papers/ACER-CEER%20White%20Paper%20on%20the%20Regulatory%20Treatment%20of%20Power%20to%20Gas.pdf)

Ευρωπαϊκό επίπεδο είναι σημαντικό ο ACER να εποπτεύει το τομέα του υδρογόνου και να έχει ρόλο σε διασυνοριακά ζητήματα.

Για την καλή λειτουργία των αγορών και σε συνέπεια με την Οδηγία 20073/EC, το υδρογόνο θα πρέπει να θεωρείται ενεργειακό προϊόν χονδρικής, ακριβώς όπως ο ηλεκτρισμός και το φυσικό αέριο.

Ως προς την **τρίτη σύσταση** επισημαίνεται ότι παρότι κάποιες μορφές σταυροειδών επιδοτήσεων σαφώς στοχεύουν στην επίτευξη συγκεκριμένων ρυθμιστικών στόχων (π.χ. την πιο αποτελεσματική χρήση των δικτύων), ωστόσο η αποφυγή σταυροειδών επιδοτήσεων γίνεται πιο επιτακτική όταν εμπλέκονται διαφορετικού είδους χρήστες εντός του ίδιου ή μεταξύ διαφορετικών τομέων.

Οι αρχές της κοστοστρέφειας και ότι ο «ωφελούμενος πληρώνει» θα πρέπει να ισχύσουν για τα δίκτυα υδρογόνου, με την έννοια ότι το κόστος τους πρέπει να βαρύνει τους αντίστοιχους χρήστες. Μακροπρόθεσμα αυτή η προσέγγιση δημιουργεί ανάπτυξη ισότιμων όρων ανταγωνισμού μεταξύ των διάφορων φορέων ενέργειας δίδοντας ρεαλιστικά σήματα τιμών. Επισημαίνεται ότι υπό συγκεκριμένες συνθήκες (π.χ. όταν οι καταναλωτές υδρογόνου είναι κυρίως βιομηχανικοί, ενώ του φυσικού αερίου οικιακοί), οι σταυροειδείς επιδοτήσεις μεταξύ διαφορετικών φορέων ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε σταυροειδείς επιδοτήσεις μεταξύ διαφορετικού τύπου χρηστών.

Ωστόσο στο πλαίσιο του επείγοντος της αποανθρακοποίησης του ενεργειακού συστήματος, ενδέχεται να χρειάζεται κάποιου είδους υποστήριξη στα αρχικά στάδια ανάπτυξης του συστήματος αυτού. Όσον αφορά τον τομέα του υδρογόνου, τα ΚΜ δύνανται να αποφασίσουν την κατασκευή υποδομών υδρογόνου πριν η αντίστοιχη προσφορά και ζήτηση αναπτυχθούν πλήρως. Σε αυτό το αρχικό στάδιο, η ανάκτηση του κόστους της υποδομής μόνο από χρήστες υδρογόνου μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές τιμές και να δημιουργήσει εμπόδια στην ανάπτυξη του τομέα. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του αρχικώς υψηλού κόστους θα ήταν η εισαγωγή προσωρινών επιδοτήσεων δηλαδή ο σχεδιασμός μηχανισμών όπου ένα μέρος της ανάκτησης του κόστους να αναχθεί στο μέλλον και να επιβαρύνει μελλοντικούς χρήστες του δικτύου υδρογόνου. Επίσης, θα μπορούσαν να εισαχθούν φορολογικά κίνητρα που θα επιτρέπουν αποτελεσματική και ισότιμη διανομή του κόστους δεδομένου του περιβαλλοντικού οφέλους για την κοινωνία.

Κατά τον ACER και το CEER, αν και οι σταυροειδείς επιδοτήσεις μεταξύ των χρηστών διαφορετικών δικτύων θα πρέπει να αποφεύγονται, ωστόσο, θεωρούν ότι ένα κατάλληλο ρυθμιστικό πλαίσιο προσωρινών παρεκκλίσεων θα πρέπει να δημιουργηθεί αρχικώς και να ενισχυθεί. Το εν λόγω πλαίσιο θα πρέπει να

τελεί υπό την εποπτεία των Ρυθμιστικών Αρχών, να διέπεται από αυστηρώς δικαιολογημένους όρους περιορισμένης χρονικής διάρκειας και πλαισίου και να:

- ▶ περιλαμβάνει μία μεθοδολογία ανάλυσης για τον έλεγχο αν η υποδομή υδρογόνου θα ωφελήσει και τους σημερινούς καταναλωτές φυσικού αερίου στο μέλλον και αν θα έχει περιορισμένη επίπτωση στους οικιακούς καταναλωτές φυσικού αερίου.
- ▶ ενέχει διαφάνεια ως προς την οικονομική και πολιτική δικαιολογητική βάση του μέτρου για κάθε χρήστη του δικτύου σε σχέση με το ποσό της επιδότησης.
- ▶ εφαρμόζει καθεστώς διαχωρισμού (an unbundling regime) μεταξύ των δραστηριοτήτων του δικτύου που ωφελούνται από την επιδότηση και αυτών που συμβάλλουν στην επιδότηση (π.χ. μεθάνιο vs υδρογόνο), σε περίπτωση που ασκούνται από την ίδια οντότητα, προκειμένου να μπορούν να προσδιορίζονται διαφανώς τα αντίστοιχα κόστη, και να
- ▶ κατανέμονται τα κόστη από την ανάπτυξη του υδρογόνου προκειμένου να διασφαλίζεται ότι διασυνοριακά σημεία φυσικού αερίου δεν επηρεάζονται, για την εξασφάλιση της ολοκλήρωσης της αγοράς. Όσον αφορά στην ανάπτυξη του υδρογόνου με διασυνοριακή επίπτωση, οι Ρυθμιστικές Αρχές γειτονικών ΚΜ θα πρέπει να συμφωνήσουν σε κάποιου είδους μορφή αμοιβαίας επιδότησης επί τη βάσει μεθοδολογίας, παρόμοια με τη διασυνοριακή κατανομή κόστους, αλλά σε καμία περίπτωση αυτή η απόφαση δεν πρέπει να επηρεάζει τις ταρίφες των διασυνοριακών σημείων φυσικού αερίου.

Είναι σημαντικό για την ανωτέρω ανάλυση να προσδιορισθούν οι τομείς και οι δραστηριότητες που θα ωφεληθούν περισσότερο από τα προγράμματα (support schemes) για την αύξηση του ανταγωνισμού του αποανθρακοποιημένου φορέα ενέργειας. Επίσης, τα προγράμματα αυτά δεν πρέπει να ενέχουν ανεπιθύμητες επιπτώσεις (π.χ. η προώθηση του πράσινου υδρογόνου δεν πρέπει να θέτει σε κίνδυνο την απευθείας χρήση ΑΠΕ στον τομέα του ηλεκτρισμού).

Περαιτέρω, θα πρέπει να αποφασιστεί ποιες κατηγορίες χρηστών (π.χ. βιομηχανικοί vs οικιακοί, φυσικού αερίου vs ηλεκτρισμού) θα συμβάλλουν στα προγράμματα, μελετώντας αν και σε ποια έκταση οι εν λόγω χρήστες θα καταστούν επωφελούμενοι στο μέλλον. Επίσης θα πρέπει να αποφασιστεί η βέλτιστη μορφή των προγραμμάτων (π.χ. αν πρόσθετα τέλη θα χρεώνονται στους χρήστες του δικτύου ή απευθείας στους καταναλωτές κτλ).

Η διεξαγωγή μελετών κόστους -οφέλους (Cost Benefit Analysis – CBA) με την προοπτική ενός ενοποιημένου συστήματος ενέργειας είναι σημαντική για τον σχεδιασμό του μηχανισμού των σταυροειδών επιδοτήσεων, ο οποίος θα

επιτρέπει και την ανάπτυξη ισότιμων όρων ανταγωνισμού μεταξύ των διαφόρων φορέων ενέργειας.

7.2 Βασικά Στοιχεία Νομοθετικής Ρύθμισης

Είναι προφανές ότι το προτεινόμενο πλαίσιο θα πρέπει να συνέχεται με το ευρωπαϊκό Πακέτο «*Hydrogen and Decarbonised Gas Market Package*», το οποίο θα αποτελέσει και την κεντρική παράμετρο βάσει της οποίας θα θεσπιστούν οι εθνικές διατάξεις με την επιφύλαξη πάντοτε τυχόν παρεκκλίσεων ειδικώς για την Κυπριακή Δημοκρατία, οι οποίες τυχόν περιληφθούν στο τελικό και ισχύον κείμενο Κανονισμού ή/και Οδηγίας της ΕΕ.

Σε κάθε περίπτωση ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι **η θέσπιση σαφούς και συγκεκριμένης δέσμης διατάξεων/μέτρων στην Κυπριακή έννομη τάξη θα συμβάλει στη δημιουργία κλίματος βεβαιότητας στους επενδυτές**, ιδίως όσον αφορά τις υποδομές και ενδεχομένως να οδηγήσει στην εισαγωγή λοιπών πολιτικών, όπως π.χ. συστήματος πιστοποίησης αερίων κτλ.

Ειδικότερα οι **ελάχιστες ρυθμίσεις, οι οποίες προτείνεται να περιλαμβάνονται στην πρωτογενή νομοθεσία** (δηλ. σε επίπεδο νόμου) αφορούν τα εξής:

- › Σαφή κατανομή αρμοδιοτήτων μεταξύ ρυθμιζόμενων (μεταφορά, διανομή) και ανταγωνιστικών (παραγωγή, προμήθεια) δραστηριοτήτων.
- › Διατάξεις διαχωρισμού (Unbundling regime) για τους διαχειριστές μεταφοράς υδρογόνου.
- › Ισότιμη και χωρίς διακρίσεις πρόσβαση στα δίκτυα υδρογόνου.
- › Ολοκληρωμένο σχεδιασμό υποδομών ηλεκτρισμού, αερίου (μεθανίου και υδρογόνου) στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών περιβαλλοντικών στόχων.
- › Τρόπο/μεθοδολογία ανάκτησης κόστους των επενδύσεων στη ρυθμιζόμενη δραστηριότητα μεταφοράς υδρογόνου.
- › Διατάξεις που να αφορούν σε χρεώσεις στον ηλεκτρισμό που χρησιμοποιείται για ηλεκτρόλυση.
- › Δημιουργία αγοράς συμπεριλαμβανομένης της εξισορρόπησης.
- › Αρμοδιότητα του Ρυθμιστή να προβαίνει σε εκτιμήσεις της προόδου της αγοράς υδρογόνου σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Καθώς στην Κυπριακή Δημοκρατία δεν υφίστανται υποδομές αερίου και υδρογόνου, ο σχεδιασμός δύναται εισαχθεί χωρίς την ανάγκη μεταβατικών ρυθμίσεων, ωστόσο αυτό δεν αποκλείει σε πρώτο στάδιο την εισαγωγή γενικών μέτρων, η εφαρμογή των οποίων θα εξειδικευθεί σε μεταγενέστερο χρόνο όταν οι συνθήκες καταστούν ωριμότερες.

Σε κάθε περίπτωση σημειώνεται ότι το Πακέτο «*Hydrogen and Decarbonised Gas Market Package*» περιλαμβάνει διατάξεις αναγκαστικού χαρακτήρα σε σχέση με το Μοντέλο-Στόχο του Υδρογόνου, ωστόσο αφήνει και περιθώρια για λήψη αποφάσεων από το Κράτος Μέλος σε ορισμένα σημεία του (βλ. Ενότητα 0 ανωτέρω).

Στο πλαίσιο αυτό, θα μπορούσε να προστεθεί ξεχωριστή ενότητα αποκλειστικώς για το Υδρογόνο στο Νόμο περί Φυσικού Αερίου της Κυπριακής Δημοκρατίας με αναφορές στις διατάξεις περί φυσικού αερίου όπου προκρίνεται αναλογική εφαρμογή.

Επιμέρους ζητήματα τα οποία ενδείκνυται να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό των σχετικών διατάξεων αφορούν κυρίως τα εξής:

1. Ανάπτυξη υποδομών

Είναι προφανές, πέραν των αμιγώς νομοτεχνικών ζητημάτων, ότι οποιοσδήποτε σχεδιασμός θα πρέπει να λάβει χώρα σε συνάρτηση με την ανάπτυξη υποδομών φυσικού αερίου και τα αντίστοιχα προγράμματα ανάπτυξης του Διαχειριστή Συστήματος Φυσικού Αερίου, ώστε να αποφευχθεί τόσο το ενδεχόμενο να καταστούν υποδομές άχρηστες/αχρηστευμένες (stranded assets), όσο και της πιθανότητας εν τέλει να μην μπορέσει να αποανθρακοποιηθεί το φυσικό αέριο σε μεγάλο βαθμό (αυτό σε συνάρτηση με τους στόχους της ΕΕ για το κλίμα), καθώς και των επενδύσεων για προσμίξεις υδρογόνου. Επίσης, θα πρέπει να εξετασθεί η αλληλεπίδραση με τον τομέα του ηλεκτρισμού.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η πρόταση αναθεωρημένου Κανονισμού και Οδηγίας σύμφωνα με την οποία τα Προγράμματα Ανάπτυξης Συστήματος Φυσικού Αερίου που υποβάλλονται στους Ρυθμιστές θα πρέπει να εδράζονται σε από κοινού σενάρια-πλαίσια με τους σχετικούς διαχειριστές υποδομών (βλ. άρθρο 51 αναθεωρημένης Οδηγίας και Ενότητα 0 σημ. 9 ανωτέρω) με την πρόβλεψη παροχής σχετικών πληροφοριών και από τους διαχειριστές ΥΦΑ, Διαχειριστές Δικτύου και Διαχειριστές Ηλεκτρισμού προς το σκοπό ενιαίου προγράμματος ανάπτυξης φυσικού αερίου. Επίσης, οι διαχειριστές υδρογόνου θα πρέπει να υποβάλουν στο Ρυθμιστή επισκόπηση της υποδομής που σχεδιάζουν να αναπτύξουν (βλ. άρθρο 52 αναθεωρημένης Οδηγίας).

2. Πρόσβαση στο δίκτυο

Βάσει των δεδομένων της αγοράς θα πρέπει να επιλεγεί και ο τρόπος πρόσβασης στις υποδομές ώστε να αποφεύγονται διακρίσεις μεταξύ χρηστών (regulated vs negotiated third party access).

3. Κανόνες διαχωρισμού και πρόσβασης σύμφωνα με το «Hydrogen and Decarbonised Gas Market Package»

Όπως αναφέρθηκε αναλυτικώς και στις Ενότητες II και III, ο αναθεωρημένος Κανονισμός και η Οδηγία απαιτεί κάθετο διαχωρισμό των διαχειριστών υδρογόνου από την παραγωγή και την προμήθεια, απαιτεί νομικό και λογιστικό διαχωρισμό των διαχειριστών υδρογόνου από τους διαχειριστές μεταφοράς ή διανομής φυσικού αερίου ή ηλεκτρισμού. Επιτρέπει σταυροειδείς επιδοτήσεις των υποδομών υδρογόνου με τη χρήση τιμολογίων φυσικού αερίου υπό όρους. Απαιτεί ρυθμιζόμενη πρόσβαση (regulated third party access) στα δίκτυα υδρογόνου με δυνατότητα των ΚΜ να επιλέξουν πρόσβαση κατόπιν διαπραγμάτευσης (negotiated third party access) μέχρι το 2030. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα στις Ρυθμιστές Αρχές να χορηγούν εξαιρέσεις από την υποχρέωση διαχωρισμού, πρόσβασης τρίτων και ρύθμισης τιμολογίων σε ορισμένες περιπτώσεις.

Νοείται ότι σύμφωνα με το οικείο νομοθετικό πλαίσιο, οι δραστηριότητες παραγωγής και προμήθειας θα πρέπει να οριστούν ως ανταγωνιστικές και να προβλέπεται διαχωρισμός από δίκτυα ηλεκτρισμού. Επίσης ζητήματα αποθήκευσης και πρόσμιξης υδρογόνου θα πρέπει να εξεταστούν.

ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ενεργειακού συστήματος της Κύπρου, αλλά και η κομβική γεωπολιτική της θέση στην Νοτιοανατολική Μεσόγειο επιφέρουν σημαντική επιρροή σχετικά με τη ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου.

Η Κυπριακή Δημοκρατία είναι κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης που δεσμεύεται από διάφορους βραχυπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους στόχους για την ενέργεια και το κλίμα.

Το Κυπριακό ενεργειακό σύστημα είναι απομονωμένο από το ηπειρωτικό Ευρωπαϊκό σύστημα, και εξαρτάται επί του παρόντος σε μεγάλο βαθμό (>90%) από εισαγόμενα προϊόντα πετρελαίου. Ταυτόχρονα, ωστόσο, η Κύπρος έχει μεγάλες δυνατότητες όσον αφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ειδικότερα, η Κύπρος μπορεί εύκολα να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες της ηλιακής ενέργειας κυρίως και να επιτύχει τους σχετικούς στόχους που έχουν τεθεί στο ΕΣΕΚ. Επίσης, η χώρα διαθέτει εκμεταλλεύσιμα αποθέματα φυσικού αερίου και ήδη έχει εκπονήσει συγκεκριμένα σχέδια για την αξιοποίησή τους και την ανάπτυξη της αγοράς ΦΑ στην χώρα.

Με βάση τα παραπάνω, η Κύπρος μπορεί να απαλλαγεί σημαντικά από την εξάρτηση από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα και να καταστεί μακροπρόθεσμα ένα «νησί μηδενικών εκπομπών ΑτΘ» που θα μπορεί και να συμβάλει στον ενεργειακό εφοδιασμό και στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας για ολόκληρη την Ευρώπη.

Με βάση το παραπάνω πλαίσιο, οι κάτωθι κατευθυντήριες γραμμές αποτελούν τις αρχικές συστάσεις της ΡΑΕΚ σχετικά με την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου στη Κύπρο.

8.1 Συνιστώμενες κατευθυντήριες γραμμές

8.1.1 Αναγνώριση του υδρογόνου ως βασικού συστατικού του ενεργειακού μείγματος για το 2030 και μέχρι το 2050

Η ΕΕ έχει με τρόπο ξεκάθαρο καταλήξει ότι η επίτευξη της ενεργειακής μετάβασης της Ευρώπης για την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας το 2050, θα απαιτήσει συμμετοχή του υδρογόνου σε μεγάλη κλίμακα.

Το υδρογόνο, ως φορέας ενέργειας, δεν προσφέρεται μόνο ως ένα ευέλικτο και περιβαλλοντικά καθαρό καύσιμο, αλλά και ως βασικός μοχλός που μπορεί να

υποστηρίζει την απεξάρτηση του ενεργειακού συστήματος από τα ορυκτά καύσιμα, και άρα να το απαλλάξει από τις εκπομπές CO₂, καθώς:

- › καθιστά δυνατή τη μεγάλης κλίμακας ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, διότι επιτρέπει την αποθήκευση ενέργειας με την μορφή ανανεώσιμου αερίου,
- › μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλους τους τομείς της τελικής κατανάλωσης,
- › εξυπηρετεί τους σκοπούς ενεργειακής ασφάλειας, και
- › αποτελεί κατάλληλη τεχνολογική λύση για την αποανθρακοποίηση τομέων που είναι αλλιώς δύσκολο να απαλλαγούν από την χρήση των ορυκτών καυσίμων.

Η Κύπρος, όντας κράτος μέλος της ΕΕ, θα κληθεί να υπηρετήσει την γενικότερη ενεργειακή στρατηγική της Ένωσης, και επομένως να συμμετάσχει και στην επίτευξη των σχετικών κλιματικών και ενεργειακών στόχων για το 2030 και το 2050. Επιπλέον, καθώς το χρονικό περιθώριο για δράση απέναντι στην κλιματική αλλαγή γίνεται ολοένα και πιεστικότερο, η Κύπρος πρέπει άμεσα να αναγνωρίσει το υδρογόνο ως βασικό συστατικό του ενεργειακού μείγματος και να προετοιμαστεί κατάλληλα για την εισαγωγή του στην Κυπριακή ενεργειακή αγορά.

Κατά το Ευρωπαϊκό πρότυπο, το υδρογόνο αποτελεί ήδη επιλεγμένη λύση για να υποκαταστήσει μέρος του φυσικού αερίου στη ηλεκτροπαραγωγή και τη βιομηχανία, μέρος των υγρών πετρελαϊκών προϊόντων (βενζίνη, πετρέλαιο κίνησης, ναυτικά και αεροπορικά καύσιμα) στον τομέα των μεταφορών καθώς και μέρος του υγραερίου (LPG) στα κτήρια. Παράλληλα, το υδρογόνο είναι βασικός παράγοντας που θα επιτρέψει την σύζευξη των τομέων (sector coupling) με σκοπό την μέγιστη εκμετάλλευση των ΑΠΕ, όντας και σε αρκετά μεγάλο βαθμό συμβατό με την μέχρι τώρα επικρατούσα λογική για την αξιοποίηση του φυσικού αερίου ως καύσιμο ενεργειακής μετάβασης προς την κλιματική ουδετερότητα.

Η προετοιμασία και η έγκαιρη αναγνώριση του κομβικού ρόλου του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα στις επόμενες δεκαετίες, θα αποτελέσει ουσιαστικά το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα πρέπει να εφαρμοστούν πιο συγκεκριμένα μέτρα υποβοήθησης ανάπτυξης της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου, όπως ενδεικτικά παρουσιάζονται παρακάτω.

Συνιστώμενες Ενέργειες:

1. Ουσιαστική συμμετοχή σε διαβουλεύσεις και Ευρωπαϊκά fora που αφορούν στην ένταξη του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα της χώρας.

2. Ενημέρωση των ενδιαφερόμενων μερών (stakeholders) για τις επικείμενες εξελίξεις σχετικά με τη διείσδυση του υδρογόνου.

8.1.2. Δημιουργία μακροχρόνιας εθνικής ενεργειακής στρατηγικής λαμβάνοντας υπόψη το υδρογόνο

Υπάρχει η ανάγκη η Κύπρος να προχωρήσει άμεσα στην δημιουργία μιας μακροχρόνιας εθνικής ενεργειακής στρατηγικής η οποία θα προσδιορίζει συγκεκριμένους στόχους για την εισαγωγή του υδρογόνου στο ενεργειακό μείγμα. Οι στόχοι για την εισαγωγή του υδρογόνου στην ενεργειακή αγορά θα πρέπει να λάβουν υπόψη τους επιμέρους στόχους για την αξιοποίηση του εγχώριου φυσικού αερίου και των ΑΠΕ καθώς είναι σημαντικό να μπορεί να προσδιοριστεί και τυχόν ενεργειακό πλεόνασμα (δηλαδή πέραν των ποσοτήτων που απαιτούνται για την κάλυψη των εγχώριων ενεργειακών αναγκών) για κάθε έναν από τους προαναφερθέντες ενεργειακούς φορείς.

Σημειώνεται ότι τόσο το πλεονάζον αέριο, όσο και ο πλεονάζων ηλεκτρισμός από ΑΠΕ μπορούν να εξαχθούν ως τελικά προϊόντα με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές, αλλά μπορούν επίσης να αποτελέσουν και πηγή ενέργειας για παραγωγή μπλε (εφόσον αναπτυχθούν παράλληλα εγκαταστάσεις CCUS) ή πράσινου υδρογόνου.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η μακροχρόνια εθνική ενεργειακή στρατηγική θα πρέπει να λάβει υπόψη της τους σχετικούς στόχους που τίθενται από τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες για το ενεργειακό μείγμα στους τομείς τελικής κατανάλωσης, όπως για παράδειγμα στις μεταφορές όπου το υδρογόνο συμμετέχει ως φορέας ενέργειας σε ένα μείγμα αποτελούμενο από διάφορα υγρά και αέρια καύσιμα χαμηλών εκπομπών ΑτΘ όπως το βιομεθάνιο, τα ανανεώσιμα καύσιμα μη-βιολογικής προέλευσης και τα συνθετικά καύσιμα.

Συνιστώμενες Ενέργειες:

3. επικαιροποίηση του ΕΣΕΚ που θα περιλαμβάνει την εισαγωγή του υδρογόνου
4. Δημοσιοποίηση των εκτιμώμενων αναγκαίων ποσοτήτων υδρογόνου μέχρι το 2030 προς τα ενδιαφερόμενα μέρη (stakeholders) και την ευρύτερη ενεργειακή κοινότητα της Κύπρου.

8.1.3. Δημιουργία πλαισίου που θα επιτρέψει την εισαγωγή συμμετεχόντων σε μια αγορά υδρογόνου

Προϋπόθεση για την επιτυχή και εύρυθμη λειτουργία της υπο σχηματισμό αγοράς υδρογόνου, αποτελεί η ενεργή συμμετοχή των εμπλεκόμενων σχετικών

μερών και φορέων. Η δημιουργία πλαισίου που θα επιτρέψει την ικανοποίηση της παραπάνω αναγκαιότητας, κρίνεται σκόπιμο να πραγματοποιηθεί παράλληλα με την ενσωμάτωση του υδρογόνου στην εθνική ενεργειακή στρατηγική.

Ανάμεσα σε άλλα, το πλαίσιο θα πρέπει να αναδεικνύει τους ακόλουθους άξονες:

- › Παρουσίαση των ωφελειών (περιβαλλοντικών, οικονομικών, ενεργειακής ασφάλειας, τεχνολογικών, κοινωνικών) που απορρέουν από την δημιουργία της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου τόσο συνολικά, όσο και σε κάθε επιμέρους στάδιο. Ειδικότερα, η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο μπορούν να ανταποκριθούν διαφορετικές ομάδες ενδιαφερομένων που επηρεάζονται από μια αναδυόμενη αγορά υδρογόνου αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ενεργή συμμετοχή τους.
- › Διασφάλιση ότι οι καταναλωτές και οι επιχειρήσεις κατανοούν τις δυνατότητες του υδρογόνου και του τρόπου χρήσης του. Είναι σημαντικό οι διαφορετικοί συμμετέχοντες κατά μήκος της αλυσίδας αξίας να είναι ενήμεροι για τις δυνατότητες ανάπτυξης που θα υποστηρίζεται από συστήματα και πλαίσια κατάλληλα για κάθε φορέα ενέργειας και συναφείς τεχνολογίες.
- › Δημιουργία ενός συμμετοχικού πλαισίου που θα υποστηρίζει την διεξαγωγή εκτεταμένης δημοσίας διαβούλευσης και που θα προβλέπει την εφαρμογή σχετικών εργαλείων όπως: (α) σχηματισμό συμβουλευτικού οργάνου από αναγνωρισμένους εμπειρογνώμονες, (β) τεχνικές συζητήσεις στρογγυλής τραπέζης, (γ) διαδραστικά εργαστήρια με συμμετοχή πολιτών/καταναλωτών, κ.α.

Συνιστώμενες Ενέργειες:

5. Δημιουργία μιας εθνικής πλατφόρμας συνεργασίας (Forum) με αντιπροσωπευτική συμμετοχή από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς (κατόχους αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, διαχειριστές συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργεια και φυσικού αερίου, διαχειριστή συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, δυνητικούς παραγωγούς υδρογόνου, δυνητικούς διαχειριστές δικτύων υδρογόνου, δυνητικούς καταναλωτές υδρογόνου), από αναγνωρισμένους εμπειρογνώμονες και με την υποστήριξη των εμπλεκόμενων Υπουργείων και κυβερνητικών τμημάτων (Υπηρεσία Ενέργειας, Τμήμα Περιβάλλοντος, κλπ.) και της ΡΑΕΚ, η οποία στόχο θα έχει την ανταλλαγή απόψεων επί των βέλτιστων δράσεων για προώθηση της ανάπτυξης αγοράς υδρογόνου στην ΚΔ.

6. Οργάνωση υπό την αιγίδα του Forum συμμετοχικών ημερίδων με στόχο την ευαισθητοποίηση και την ενημέρωση πιθανών χρηστών και του τεχνικού δυναμικού.

8.1.4. Εναρμόνιση εθνικού ρυθμιστικού πλαισίου με τις σχετικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες

Μετά την αύξηση του στόχου μείωσης των συνολικών εκπομπών CO₂, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κατέθεσε μια σειρά από ρυθμιστικές προτάσεις οι οποίες περιλαμβάνουν ποικίλες διατάξεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου. Τα Κράτη Μέλη θα πρέπει να εναρμονίσουν τα εθνικά δίκαια με τη λεγόμενη δέσμη μέτρων Fit-for-55 μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 2020 – 2030. Η Κύπρος θα πρέπει να εναρμονίσει χωρίς καθυστερήσεις το εθνικό δίκαιο με τις προβλέψεις του πακέτου Fit-for-55 με σκοπό την δημιουργία ενός ξεκάθਾਰου και σταθερού πλαισίου που θα αποτελέσει την βάση της ανάπτυξης όλων των δραστηριοτήτων γύρω από το υδρογόνο.

Οι νομοθετικές ρυθμίσεις που θα υποστηρίξουν την εισαγωγή του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα θα πρέπει να ακολουθούν το ευρωπαϊκό «Hydrogen and Decarbonised Gas Market Package», το οποίο θα αποτελέσει και την κεντρική παράμετρο βάσει της οποίας θα θεσπιστούν οι εθνικές διατάξεις με την επιφύλαξη πάντοτε τυχόν παρεκκλίσεων ειδικώς για την Κυπριακή Δημοκρατία, οι οποίες θα ήταν δυνατό να περιληφθούν στο τελικό και ισχύον κείμενο Κανονισμού ή/και Οδηγίας της ΕΕ. Σε κάθε περίπτωση, απαιτούνται παρεμβάσεις σε επίπεδο νόμου σχετικά με (α) την ανάπτυξη υποδομών, (β) την πρόσβαση στο δίκτυο, και (γ) τους κανόνες διαχωρισμού. Ακόμη, θα απαιτηθεί και η ανάπτυξη δευτερογενούς νομοθεσίας που θα καθορίζει τις διάφορες εξειδικευμένες τεχνικές και ρυθμιστικές διατάξεις, καθώς και πρότυπα ασφαλείας, που απαιτούνται για την εύρυθμη λειτουργία του τομέα.

Παράλληλα με το εξειδικευμένο ρυθμιστικό πλαίσιο για το υδρογόνο, θα πρέπει να εξεταστεί κάθε ενδεχόμενη ανάγκη τροποποίησης του κανονιστικού πλαισίου σε άλλους ενεργειακούς τομείς, και κυρίως στον ηλεκτρισμό και τις ΑΠΕ. Ο σκοπός είναι να διαμορφωθεί ένα πλαίσιο ρύθμισης, σχεδιασμού, και υποστήριξης που να καθιστά δυνατό τον συντονισμό των διαφόρων τμημάτων της ενεργειακής αγοράς για να επιτρέψει την ανάπτυξη και χρήση της αναγκαίας υποδομής υδρογόνου.

Συνιστώμενες Ενέργειες:

7. Αναγνώριση των κενών της πρωτογενούς Κυπριακής νομοθεσίας σε σχέση με το Ευρωπαϊκό κεκτημένο για την ένταξη του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα και ανάλογη νομοθέτηση με Νόμο

8. Θέσπιση όλων των αναγκαίων Κανονισμών (δευτερογενής νομοθεσία) για την εφαρμογή του Νόμου
9. Τροποποίηση των υπαρχόντων Κανονισμών των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου, υγρών καυσίμων ώστε να διευκολύνεται η διείσδυση και χρήση του υδρογόνου.

8.1.5. Υιοθέτηση στοχευμένων μέτρων για την επίλυση προβλημάτων στα επιμέρους τμήματα της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου

Για την υποστήριξη της ανάπτυξης της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου, αναμένεται ότι θα χρειαστούν συγκεκριμένες παρεμβάσεις σε κάθε τμήμα της αλυσίδας ανάλογα με τις ανάγκες και τον ρυθμό ανάπτυξης της αγοράς.

Παραγωγή

Η Κύπρος σχεδιάζει να εκμεταλλευτεί τα δικά της αποθέματα φυσικού αερίου και επομένως θα μπορούσε να εξετάσει την παραγωγή μπλε υδρογόνου μέσω αναμόρφωσης του φυσικού αερίου (SMR) με ταυτόχρονη δέσμευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα¹⁶⁷. Όμως, υπάρχει περιορισμένη δυνατότητα για την εφαρμογή των τεχνολογιών CCUS, και οι υπάρχουσες σχετικές έρευνες και μελέτες ενισχύουν την άποψη ότι η δυνατότητα εφαρμογής αυτών των λύσεων αναμένεται να παραμείνει περιορισμένη τουλάχιστον μέχρι το 2030, καθώς εξαρτάται από την ύπαρξη κατάλληλων γεωλογικών δομών για αποθήκευση CO₂ και από τις τιμές του φυσικού αερίου.

Εν αντιθέσει, η Κύπρος διαθέτει σημαντικό δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυρίως ηλιακής. Αυτό το δυναμικό θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου, το οποίο είναι και αυτό που μπορεί να συνεισφέρει τα μέγιστα στους κλιματικούς στόχους.

Επομένως, έμφαση θα πρέπει να δοθεί στην παραγωγή του πράσινου υδρογόνου, χωρίς ωστόσο να δημιουργούνται εμπόδια στην παραγωγή του μπλε υδρογόνου εφόσον οι τεχνολογικές και οικονομικές συνθήκες το επιτρέψουν.

Τυπικά μέτρα που θα επέτρεπαν την αξιόπιστη, προσιτή και βιώσιμη παραγωγή υδρογόνου αποτελούν τα ακόλουθα:

¹⁶⁷ Σημειώνεται ότι επειδή οι σχετικές υποδομές για την παραγωγή, μεταφορά και αποθήκευση υδρογόνου απαιτούν υψηλές κεφαλαιουχικές επενδύσεις, απαιτείται η πραγματοποίηση στοχευμένων τεχνοοικονομικών μελετών.

- › Εκπόνηση σχεδίου για περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς ΑΠΕ με σκοπό την διοχέτευση της πιθανής περίσσειας ενέργειας για παραγωγή πράσινου υδρογόνου
- › Δημιουργία πλαισίου για την αποτελεσματική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ώστε να δημιουργηθούν μεγαλύτερες δυνατότητες για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου (πιθανή απαίτηση για αλλαγή κανόνων λειτουργίας αγοράς ηλεκτρισμού). Το πλαίσιο θα λαμβάνει υπόψη τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων και μοντέλων συνεργασίας διαχειριστών ηλεκτρολυτών και διαχειριστών δικτύων ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου.
 - Εξασφάλιση κανόνων προσθετικότητας με την παράλληλη υποστήριξη της μεγάλης κλίμακας ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
 - Μείωση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας μέσω παροχής υποστηρικτικών εργαλείων σε τομείς τελικής χρήσης του υδρογόνου
- › Δημιουργία χρηματοδοτικού μηχανισμού για το υδρογόνο αίροντας, παράλληλα, τα διοικητικά εμπόδια και επιταχύνοντας τις διαδικασίες αδειοδότησης.

Παράλληλα με τα προαναφερθέντα μέτρα που κυρίως αναφέρονται στην παραγωγή πράσινου υδρογόνου, προτείνεται και η εκπόνηση σχεδίου που να επιτρέπει την δημιουργία των συνθηκών για ανάπτυξη και χρήση τεχνολογιών CCUS προς παραγωγή μπλε υδρογόνου.

Μεταφορά και αποθήκευση

Στην Κύπρο δεν υπάρχουν υποδομές για τη μεταφορά ή τη διανομή υδρογόνου, ενώ στο υπάρχον σχέδιο για την ανάπτυξη δικτύου Φυσικού Αερίου δεν υπάρχει καμία πρόβλεψη για υδρογόνο. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να κατασκευαστεί όλη η απαιτούμενη υποδομή, περιορίζοντας την ελκυστικότητα του υδρογόνου ως λύση για την απεξάρτηση από τον άνθρακα βραχυπρόθεσμα. Διαφορετικά, η μεταφορά και η διανομή του υδρογόνου θα πρέπει να περιοριστεί στα φορτηγά και στα πλοία ή οι εγκαταστάσεις παραγωγής υδρογόνου θα πρέπει να βρίσκονται κοντά στα σημεία χρήσης του.

Έρευνες δείχνουν πως στην περίπτωση μικρών αποστάσεων, δηλαδή και στην περίπτωση της Κύπρου, οικονομικότερη λύση μεταφοράς του υδρογόνου αποτελεί το δίκτυο αγωγών, για μεγάλες ποσότητες υδρογόνου, και τα φορτηγά, για μικρές ποσότητες υδρογόνου.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι και το Πακέτο της Αποανθρακοποιημένης Αγοράς Φυσικού Αερίου καλεί για μετασχηματισμό των δικτύων με σκοπό να μπορεί να εισαχθεί και υδρογόνο, αλλά και το γεγονός ότι ο Αδειούχος Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς Φυσικού Αερίου δεν έχει ακόμη υποβάλει το Δεκαετές

Πρόγραμμα Ανάπτυξης Δικτύου, προτείνεται αρχικά η διενέργεια σχετικής τεχνικής διερεύνησης για το υπό ανάπτυξη δίκτυο ΦΑ στη Κύπρο.

Ωστόσο, σε περίπτωση που λόγω πλεονάσματος ενέργειας μετά την κάλυψη των εγχώριων αναγκών η Κύπρος στοχεύσει στην εξαγωγή υδρογόνου, άλλες λύσεις μεταφοράς θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως η μεταφορά του υδρογόνου ως υγροποιημένο υδρογόνο, μέσω φορέα αμμωνίας ή μέσω υγρού οργανικού φορέα υδρογόνου (LOHC). Επομένως, θα πρέπει σε αυτή τη περίπτωση να κατασκευαστούν και σταθμοί υγροποίησης ή μετατροπής σε φορέα υδρογόνου.

Σημειώνεται τέλος ότι απαιτείται περαιτέρω μελέτη για την ύπαρξη κατάλληλων υποδομών για την αποθήκευση υδρογόνου στην επικράτεια της Κυπριακής Δημοκρατίας, καθώς δεν διαφαίνεται να υπάρχουν σπήλαια άλατος στο νησί.

Χρήση στους τομείς τελικής κατανάλωσης

Η ενδυνάμωση της ζήτησης υδρογόνου από τους τομείς τελικής κατανάλωσης αποτελεί σημαντική παράμετρο για την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου. Προτεραιότητα θα πρέπει να δοθεί στους τομείς στους οποίους η χρήση υδρογόνου είναι κοντά στο να είναι οικονομικά βιώσιμη βραχυπρόθεσμα ή μεσοπρόθεσμα, και σε αυτούς για τους οποίους δεν υπάρχουν εναλλακτικές επιλογές για την απαλλαγή από τα ορυκτά καύσιμα.

Ως ενδεικτικά μέτρα παροχής κινήτρων για την ανάπτυξη της ζήτησης υδρογόνου αναφέρονται τα ακόλουθα:

- Ανάπτυξη «Κοιλάδων υδρογόνου» (hydrogen valleys)
 - Προσδιορισμός βιομηχανικών δομών ή περιοχών όπου η προσφορά και η ζήτηση υδρογόνου μπορούν να συνυπάρχουν
 - Συγκέντρωση βασικών εκπροσώπων του κλάδου και υπευθύνων χάραξης πολιτικής για την ανάπτυξη στρατηγικής
 - Αξιολόγηση της κατάλληλης τεχνολογίας για την απαλλαγή από τα αέρια θερμοκηπίου συμπεριλαμβανομένου του υδρογόνου, της δέσμευσης, χρήσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCUS) της αποδοτικότητας του συστήματος και της κυκλικότητας
 - Καθορισμός και συμφωνία στόχων για την περιοχή και τους τομείς τελικής εφαρμογής σύμφωνα με τους εθνικούς στόχους για κλιματική ουδετερότητα
- Στόχοι αλλαγής καυσίμου (fuel switch)
 - Συμπερίληψη του υδρογόνου ως πιθανού φορέα ενέργειας για βιομηχανικές εγκαταστάσεις σε βιομηχανικές πολιτικές και στρατηγικές απαλλαγής από τους ρύπους

- Θέσπιση ειδικών μέτρων για την προώθηση αλλαγής καυσίμων στη βιομηχανία, όπως:
 - Ποσοστώσεις που να αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου
 - Παροχή δανείων ή κεφαλαίων με ευνοϊκούς όρους
 - Εισαγωγή εμπορεύσιμων πιστοποιητικών μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου¹⁶⁸
- Θέσπιση συγκεκριμένων στόχων για την εισαγωγή υδρογόνου στις μεταφορές κατά τις επιταγές της Οδηγίας RED II και της σχεδιαζόμενης της αναθεώρησης στα πλαίσια του Πακέτου μέτρων Fit-for-55.

Δημιουργία πιλοτικών «Κοιλάδων Υδρογόνου»

Η στρατηγική υδρογόνου της Κύπρου θα μπορούσε να στοχεύσει στην δημιουργία σχεδίων για την παραγωγή, την αποθήκευση και την διανομή υδρογόνου καθώς και την ανάπτυξη τεχνολογιών με εφαρμογή το υδρογόνο. Πιλοτικά έργα με προσανατολισμό προς όλα τα τμήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας του υδρογόνου και τις συνέργειες μεταξύ αυτών θα μπορούσαν να αποτελέσουν πρόδρομο δημιουργίας μιας κοιλάδας υδρογόνου στην Κυπριακή Δημοκρατία.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως οι κοιλάδες υδρογόνου αποτελούν ένα καθοριστικό βήμα προς τη δημιουργία τοπικά ολοκληρωμένων οικοσυστημάτων υδρογόνου, καθώς όχι μόνο μπορούν να παρέχουν βιώσιμη ενέργεια, αλλά αποτελούν και κινητήριες δυνάμεις βιομηχανικής ανάπτυξης και δημιουργίας θέσεων εργασίας. Άλλωστε, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προτρέπει την αξιοποίηση τέτοιων πρωτοβουλιών με στόχο τη διάδοση τεχνογνωσίας καθώς και την παροχή κινήτρων για την αύξηση των επενδύσεων και τη δημιουργία αγοράς υδρογόνου.

Η Κύπρος αποτελεί ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον παράδειγμα προς μελέτη για τη δημιουργία κοιλάδας υδρογόνου αρχικά ως πιλοτικό έργο και στη συνέχεια με προοπτικές εδραίωσής της. Αρχικά, η γεωγραφική της θέση, νησιωτικό κράτος στην Ανατολική Μεσόγειο, σε συνδυασμό με τις ευνοϊκές προοπτικές αξιοποίησης τόσο των κοιτασμάτων φυσικού αερίου αλλά και αιολικής και ηλιακής ενέργειας, δημιουργούν πρόσφορες συνθήκες για τη δημιουργία κοιλάδας υδρογόνου. Η ύπαρξη διαφορετικών βιομηχανιών που θα λειτουργήσουν ως τομείς τελικής κατανάλωσης του υδρογόνου (όπως η τσιμεντοβιομηχανία και τα κεραμικά), καθώς και η ανερχόμενη δημιουργία νομοθετικού και ρυθμιστικού πλαισίου στον τομέα αυτό αποτελούν δικλείδα ασφαλείας προς αυτή την κατεύθυνση. Τέλος, το ασφαλές επενδυτικό περιβάλλον της χώρας εγγυάται την εύρυθμη λειτουργία και την

¹⁶⁸ Τέτοια πιστοποιητικά αναφέρονται συνήθως στις αποφευγόμενες εκπομπές CO₂ ή στη μείωση της έντασης εκπομπών CO₂ σε όρους grCO₂/MJ καυσίμου (καύσιμα μεταφορών)

ελαχιστοποίηση κινδύνων που θα καταστήσουν την Κύπρο πόλο έλξης επενδύσεων.

Συνιστώμενες Ενέργειες:

10. Συμμετοχή των ερευνητικών ιδρυμάτων σε πιλοτικά και επιδεικτικά έργα με ευρύτερη Ευρωπαϊκή και περιφερειακή διάσταση.
11. Εκτέλεση τεχνικών μελετών που να αξιολογούν την οικονομική βιωσιμότητα και την εφαρμοσιμότητα των τεχνολογιών παραγωγής υδρογόνου στην Κύπρο καθώς και την αβεβαιότητα λόγω των τιμών των ορυκτών καυσίμων.
12. Εκτέλεση τεχνικών μελετών που θα αξιολογήσουν το βέλτιστο σύστημα εσωτερικής μεταφοράς/αποθήκευσης καθώς και την ανάπτυξη υποδομών για εισαγωγές/εξαγωγές υδρογόνου.
13. Μελέτη των αναγκαίων μέτρων για την ανάπτυξη της ζήτησης υδρογόνου σε στοχευμένους τομείς της τελικής κατανάλωσης.
14. Μελέτη σκοπιμότητας για δημιουργία «Κοιλάδων Υδρογόνου».

8.2 Χρονική διάσταση των κατευθυντήριων γραμμών

Η ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου αρχικά θα πρέπει να στοχεύει το 2030, βάζοντας όμως τις βάσεις για την ανάπτυξη της σχετικής αγοράς μέχρι και το 2050, η οποία είναι χρονιά ορόσημο για την Ευρώπη σε σχέση με την πολιτική Κλιματικής Ουδετερότητας.

Γενικά, η ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου μπορεί να πραγματοποιηθεί σε δύο μεγάλες φάσεις μέχρι το 2030.

- **Φάση 1, 2022 – 2025:** σχεδιασμός της αλυσίδας και δημιουργία των βάσεων για την εύρυθμη λειτουργία της ενεργειακής αγοράς θεωρώντας το υδρογόνο ως βασικό ενεργειακό φορέα.
- **Φάση 2, 2026 – 2030:** σταθεροποίηση της νεοεμφανιζόμενης εγχώριας αγοράς, και εφαρμογή στοχευμένων δράσεων για την ενίσχυση της παραγωγής και χρήσης του υδρογόνου.

Στη Φάση 1, προτεραιότητα θα πρέπει να δοθεί στην εξειδίκευση της εθνικής ενεργειακής πολιτικής ως προς το υδρογόνο, καθώς έτσι θα καθοριστούν οι βασικές αρχές για τον τρόπο εμπλοκής όλων των ενδιαφερόμενων φορέων, αλλά και η προσέγγιση της εναρμόνισης του εθνικού ρυθμιστικού πλαισίου με τις σχετικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες. Με δεδομένο το στρατηγικό και ρυθμιστικό πλαίσιο αλλά και την απαιτούμενη προετοιμασία των ενδιαφερόμενων μερών (stakeholders), η αλυσίδα αξίας του υδρογόνου θα μπορέσει να ξεκινήσει την ανάπτυξή της και οι πρώτες πιλοτικές ποσότητες να χρησιμοποιηθούν σε επιλεγμένες εφαρμογές.

Κατόπιν, η Φάση 2, η οποία εξελίσσεται στην ουσία παράλληλα με την ανάπτυξη της ίδιας της αγοράς υδρογόνου, αποσκοπεί στον σχεδιασμό και την εφαρμογή στοχευμένων μέτρων για την επίλυση προβλημάτων στα επιμέρους τμήματα της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου, όπως αυτά θα εμφανίζονται. Είναι τέλος σημαντικό κατά τη δεύτερη φάση να υπάρξει εναρμόνιση με την ευρωπαϊκή και διεθνή πρακτική σχετικά με την ανάπτυξη του τομέα του υδρογόνου. Κατά την περίοδο της Φάσης 2 το υδρογόνο θα αρχίσει να συμμετέχει στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Κύπρου.

Ο παρακάτω Πίνακας 0-1 παρουσιάζει τον ενδεικτικό χρονισμό, με διάκριση στις δύο φάσεις, των συνιστώμενων δράσεων για την ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου στη Κύπρο.

**Πίνακας 0-1 Ενδεικτικός χρονισμός των συνιστώμενων δράσεων για την
ανάπτυξη της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου στη Κύπρο**

No	Δράσεις	Χρόνος
Φάση 1		
1	Ουσιαστική συμμετοχή σε διαβουλεύσεις και Ευρωπαϊκά και περιφερειακά fora που αφορούν στην ένταξη του υδρογόνου στο Κυπριακό ενεργειακό σύστημα	2022-2024
2	Ενημέρωση των ενδιαφερόμενων μερών (stakeholders) για τις επικείμενες εξελίξεις σχετικά με τη διείσδυση του υδρογόνου	2022-2023
3	Επικαιροποίηση του ΕΣΕΚ που θα περιλαμβάνει την εισαγωγή του υδρογόνου	2022
4	Δημοσιοποίηση των εκτιμώμενων αναγκών ποσοτήτων υδρογόνου μέχρι το 2030 προς τα ενδιαφερόμενα μέρη (stakeholders) και την ευρύτερη ενεργειακή κοινότητα της Κύπρου	2023
5	Δημιουργία εθνικού Forum Υδρογόνου με αντιπροσωπευτική συμμετοχή από όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς και με την υποστήριξη των σχετικών κρατικών οργανισμών (ΡΑΕΚ, ΥΕΕΒ, κλπ.)	2022
6	Οργάνωση υπό την αιγίδα του Forum συμμετοχικών ημερίδων με στόχο την ευαισθητοποίηση και την ενημέρωση πιθανών χρηστών και του τεχνικού δυναμικού	2023-2030
7	Αναγνώριση των κενών της πρωτογενούς Κυπριακής νομοθεσίας σε σχέση με το Ευρωπαϊκό κεκτημένο για την ένταξη του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα και ανάλογη νομοθέτηση με Νόμο	2022-2023
9	Τροποποίηση των υπαρχόντων Κανονισμών των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου, υγρών καυσίμων ώστε να διευκολύνεται η διείσδυση και χρήση του υδρογόνου	2024-2025
10	Συμμετοχή των ερευνητικών ιδρυμάτων σε πιλοτικά και επιδεικτικά έργα με ευρύτερη Ευρωπαϊκή και περιφερειακή διάσταση	2022-2025
11	Εκτέλεση τεχνικών μελετών που να αξιολογούν την οικονομική βιωσιμότητα και την δυνατότητα εφαρμογής των τεχνολογιών παραγωγής υδρογόνου στην Κύπρο καθώς και την αβεβαιότητα λόγω των τιμών των ορυκτών καυσίμων	2023-2025
Φάση 2		
12	Θέσπιση όλων των αναγκών Κανονισμών (δευτερογενής νομοθεσία) για την εφαρμογή του Νόμου	2024-2028
13	Εκτέλεση τεχνικών μελετών που θα αξιολογήσουν το βέλτιστο σύστημα εσωτερικής μεταφοράς/αποθήκευσης καθώς και την ανάπτυξη υποδομών για εισαγωγές/εξαγωγές υδρογόνου	2024-2027
14	Μελέτη των αναγκών μέτρων για την ανάπτυξη της ζήτησης υδρογόνου σε στοχευμένους τομείς της τελικής κατανάλωσης	2024-2028
15	Μελέτη σκοπιμότητας ανάπτυξης πιλοτικών «Κοιλιάδων Υδρογόνου»	2024-2027

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1: Κωδικοποίηση χρωμάτων υδρογόνου

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι παραγωγής υδρογόνου, σε κάθε έναν από τους οποίους χρησιμοποιούνται και διαφορετικές πηγές ενέργειας. Ανάλογα με την πηγή ενέργειας υπάρχει και διαφορετική κωδικοποίηση χρωμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται εν συντομία τα εννιά (9) βασικότερα χρώματα.

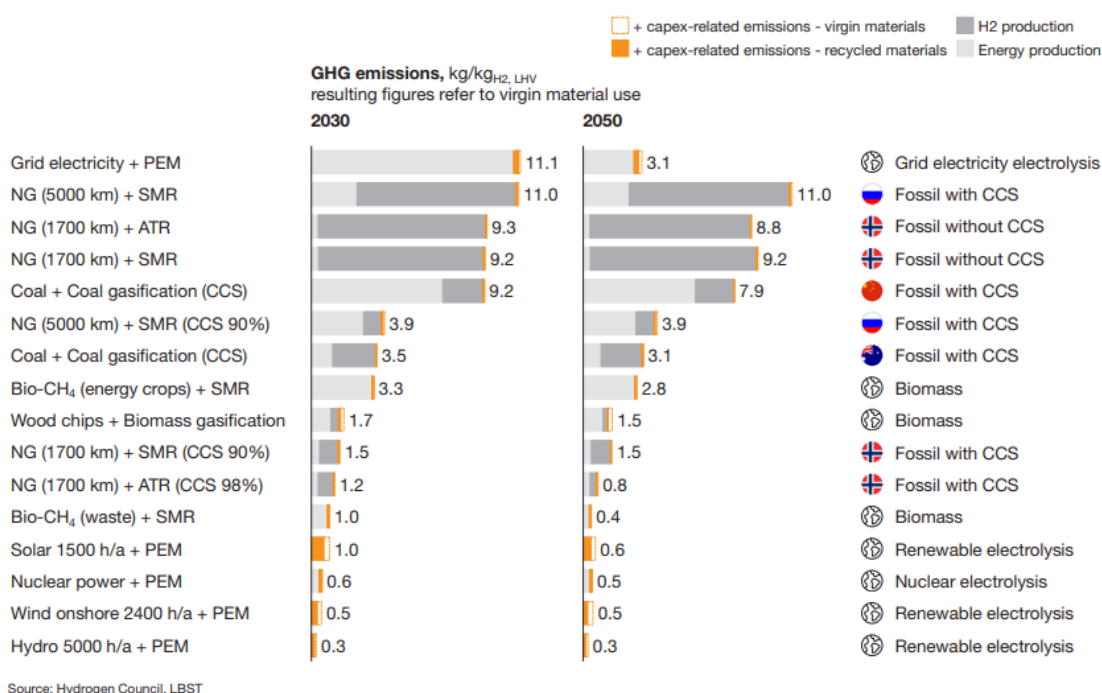
- Το **πράσινο υδρογόνο** παράγεται μέσω της διαδικασίας της ηλεκτρόλυσης νερού με τη χρήση ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας. Ο λόγος που ονομάζεται πράσινο είναι ότι δεν υπάρχει εκπομπή CO₂ κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Η ηλεκτρόλυση του νερού είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να αποσυνθέσει το νερό σε αέριο υδρογόνο και οξυγόνο.
- Το **μπλε υδρογόνο** προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, το CO₂ συλλαμβάνεται και αποθηκεύεται υπόγεια (δέσμευση άνθρακα - carbon sequestration). Κατά τη διαδικασία γίνεται προσπάθεια επίσης να χρησιμοποιηθεί ο συλληφθέντας άνθρακας, διεργασία που γενικά ονομάζεται δέσμευση, αποθήκευση και χρήση άνθρακα (CCSU). Η χρήση δεν είναι απαραίτητη για να πληρούνται οι προϋποθέσεις για τον χαρακτηρισμό ως μπλε υδρογόνο. Δεδομένου ότι οι εκπομπές CO₂ περιορίζονται σημαντικά, το μπλε υδρογόνο θεωρείται ως υδρογόνο χαμηλής έντασης ανθρακούχων εκπομπών (σε όρους kgCO₂/kgH₂).
- Το **γκρι υδρογόνο** παράγεται από ορυκτά καύσιμα και συνήθως χρησιμοποιεί τη μέθοδο αναμόρφωση του μεθανίου με ατμό (SMR). Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, το CO₂ παράγεται και τελικά απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Το γκρι υδρογόνο θεωρείται ως υδρογόνο υψηλής έντασης ανθρακούχων εκπομπών (σε όρους kgCO₂/kgH₂).
- Το **μαύρο ή καφέ υδρογόνο** παράγεται από άνθρακα. Τα μαύρα και καφέ χρώματα αναφέρονται στον τύπο άνθρακα που χρησιμοποιείται: ασφαλτικού (μαύρου) και λιγνίτη (καφέ). Η αεριοποίηση του άνθρακα είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται στη περίπτωση αυτή για την παραγωγή υδρογόνου. Ωστόσο, είναι μια πολύ ρυπογόνα διαδικασία και το CO₂ και το μονοξείδιο του άνθρακα παράγονται ως υποπροϊόντα και απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα.
- Το **τιρκουάζ υδρογόνο** μπορεί να εξαχθεί με τη χρήση του θερμικού διαχωρισμού του μεθανίου μέσω πυρόλυσης. Η διαδικασία, αν και σε πειραματικό στάδιο, αφαιρεί τον άνθρακα σε στερεά μορφή αντί για αέριο CO₂.
- Το **μωβ υδρογόνο** γίνεται χρησιμοποιώντας την πυρηνική ενέργεια και τη θερμότητα που παράγεται εκεί, μέσω της συνδυασμένης χημικής και θερμικής ηλεκτρόλυσης του νερού.

- Το **ροζ υδρογόνο** παράγεται μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από έναν πυρηνικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το **κόκκινο υδρογόνο** παράγεται μέσω της διεργασίας καταλυτικής διάσπασης του νερού σε υψηλή θερμοκρασία χρησιμοποιώντας την πυρηνική ενέργεια ως πηγή θερμικής ενέργειας.
- **Λευκό υδρογόνο** είναι το φυσικό υδρογόνο στη φύση.

Η ένταση των εκπομπών CO₂ ποικίλλει μεταξύ των προαναφερθέντων οδών παραγωγής, αλλά ακόμη και εντός της ίδιας οδού όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα: λόγω των διαφορετικών ενεργειακών μειγμάτων και της αποδοτικότητας των παραγωγικών δραστηριοτήτων, το υδρογόνο που προέρχεται από φυσικό αέριο που παράγεται στη Νορβηγία έχει διαφορετικές εκπομπές από το φυσικό αέριο που παράγεται στη Ρωσία κ.ο.κ.

Το Σχήμα Π-0-1 παρουσιάζει εκπομπές ισοδύναμου CO₂ (CO₂ equivalent) για διάφορες οδούς παραγωγής υδρογόνου το 2030 και το 2050¹⁶⁹.

Σχήμα Π-0-1 Εκπομπές ισοδύναμου CO₂ για διάφορες οδούς παραγωγής υδρογόνου το 2030 και το 2050



¹⁶⁹ Πηγή: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/01/Hydrogen-Council-Report-Decarbonization-Pathways-Part-1-Lifecycle-Assessment.pdf>

Παράρτημα 2: Χαρακτηριστικά καυσίμων

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του υδρογόνου ως καύσιμο, σε σύγκριση με τα χαρακτηριστικά άλλων αερίων και υγρών καυσίμων¹⁷⁰.

Καύσιμο	Πυκνότητα (15°C) (kg/m ³)	Κατώτερα θερμογόνος δύναμη (MJ/kg) ¹⁷¹	Κατώτερα θερμογόνος δύναμη (MJ/L)	Wobbe index (MJ/Nm ³)	Θέματα ασφάλειας
Υδρογόνο	0.0841	119.96	0.011	40.65-48.23	Σημείο ανάφλεξης ¹⁷² : δεν ορίζεται Θερμοκρασία ανάφλεξης ¹⁷³ : 560 °C
Φυσικό Αέριο	0.7-0.9	47.13	0.037	48.52-53.71	Σημείο ανάφλεξης: -188 °C Θερμοκρασία ανάφλεξης: 537 °C
LNG	430-470	48.62	20,8	-	Σημείο ανάφλεξης: -136 °C Θερμοκρασία ανάφλεξης: 537 °C
Βενζίνη	715-780	43.44	32.0	-	Σημείο ανάφλεξης: -23 °C Θερμοκρασία ανάφλεξης: >247 °C
Πετρέλαιο	875-959	42.78	36.0	-	Σημείο ανάφλεξης: 55 °C Θερμοκρασία ανάφλεξης: 210 °C
Μεθανόλη	792	20.09	15.8	-	Σημείο ανάφλεξης: 12 °C
LPG	0.525-0.580	46.60	24,4	79.94-86.84	Σημείο ανάφλεξης: -104 °C

¹⁷⁰ <http://www.engineeringtoolbox.com/>, accessed in July 2022

¹⁷¹ Αναφέρονται τυπικές τιμές (https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html). Οι μετατροπές από κατά μάζα σε κατόγκο θερμογόνος δύναμη έχει γίνει με βάση μια μέση πυκνότητα.

¹⁷² Σημείο ανάφλεξης: Flash Point

¹⁷³ Θερμοκρασία ανάφλεξης: Ignition Temperature