



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## Σενάρια και προοπτικές διείσδυσης του υδρογόνου στην εγχώρια ενεργειακή αγορά

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΑΡΜΠΟΥΝΙΩΤΗ ΑΝΔΡΕΑ

**Επιβλέπων:**

ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ ΚΟΣΜΑΣ

ΤΖΕΛΕΠΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

Αθήνα, Μάρτιος 2024

## Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/a</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ ΚΟΣΜΑΣ	Αναπληρωτής Καθηγητής	
2	ΚΟΝΔΥΛΗ ΑΙΜΙΛΙΑ	Καθηγήτρια	
3	ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	Επίκουρος Καθηγητής	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος Αρμπουνιώτης Ανδρέας του Χαριλάου, με αριθμό μητρώου 272017093 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής του Τμήματος Μηχανολόγων μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα

Αρμπουνιώτης Ανδρέας

**\* Ονοματεπώνυμο /Ιδιότητα**

**Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα**

## Πίνακας περιεχομένων

<b>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>6</b>
1.1 Γενικά για το υδρογόνο .....	6
1.2 Το υδρογόνο H <sub>2</sub> ως χημικό στοιχείο .....	8
1.3 Οι ιδιότητες του υδρογόνου.....	10
1.4 Το υδρογόνο ως φορέας ενέργειας.....	10
1.5 Τα Χρώματα του Υδρογόνου και οι Εφαρμογές του .....	11
1.6 Ο ρόλος του υδρογόνου στην παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση .....	13
<b>2. Εφαρμογές του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα ευρωπαϊκών χωρών .....</b>	<b>15</b>
2.1 Παραδείγματα παραγωγής Πράσινου H <sub>2</sub> στην Ευρώπη. ....	16
2.1.1 Το σχέδιο PUERTOLLANO Πράσινο Υδρογόνο .....	16
2.1.2. Το έργο Πράσινο Υδρογόνου της Plug Power βελγικό λιμάνι της Αμβέρσας – Μπριζ.....	18
2.2 Η προτεραιότητα της Ε.Ε. για την ανάπτυξη του ανανεώσιμου υδρογόνου. ....	19
2.2.1 Η Στρατηγική της Ε.Ε. για το Υδρογόνο.....	19
2.3 Επιταχυντής υδρογόνου .....	21
2.4 Ευρωπαϊκή Τράπεζα Υδρογόνου.....	22
2.5 Δίκτυο Ενέργειας Υδρογόνου.....	23
2.6 Πρωτοβουλίες της ΕΕ για το υδρογόνο .....	23
<b>3. Εφαρμογές του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα χωρών εκτός Ευρώπης .....</b>	<b>24</b>
3.1 Η εξάπλωση του υδρογόνου για ενεργειακή χρήση στη Μέση Ανατολή .....	24
3.2 Η εξάπλωση του υδρογόνου για ενεργειακή χρήση στις ΗΠΑ.....	27
3.2.1 Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις ΗΠΑ.....	28
3.2.2 Χρήση υδρογόνου στα οχήματα .....	30
3.3 Η εξάπλωση του υδρογόνου για ενεργειακή χρήση στη Ρωσία .....	31
3.3.1 Η στρατηγική της Ρωσίας για την ενεργειακή αξιοποίηση του υδρογόνου... ..	31
3.3.2. Στρατηγική.....	33
3.4 Η ανάπτυξη τεχνολογιών του υδρογόνου στη Κίνα .....	35
3.4.1 Τα μεσοπρόθεσμα σχέδια της Κίνας για την ανάπτυξη ενέργειας υδρογόνου .....	36
3.4.2. Η πολιτική προώθησης της Κίνας του υδρογόνου για τη βιομηχανική ενεργειακή εφαρμογή του. ....	36
<b>4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΛΛΑΔΑΣ.....</b>	<b>38</b>
4.1 Αναλυτική περιγραφή ενεργειακής κατάστασης της Ελλάδας σήμερα.....	38
4.1.2 Ενέργεια και ελληνική οικονομία .....	38
<b>5. Παρουσία υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας σήμερα .....</b>	<b>47</b>

5.1. Προοπτικές διείσδυσης του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας .	48
5.2 Ο οδικός χάρτης για τη διείσδυση του H <sub>2</sub> στην Ελλάδα. ....	50
5.3 Η νομοθεσία σχετικά με το H <sub>2</sub> στην Ελλάδα.....	52
5.3.1 Σύνομη περιγραφή του σχεδίου Εθνικής Στρατηγικής για το Υδρογόνο. ...	54
<b>6. ΠΙΘΑΝΟΤΕΡΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ .....</b>	<b>57</b>
6.1 Ο νέος αγωγός που κατασκευάζει ο ΔΕΣΦΑ.....	57
6.2 Το Πάρκο Υδρογόνου στην Πτολεμαΐδα .....	60
6.3 Παραγωγή “Μπλέ Υδρογόνου” στη Δ. Μακεδονία.....	61
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>62</b>
<b>8. ΠΗΓΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>63</b>

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά για το υδρογόνο

Το υδρογόνο είναι το ελαφρύτερο χημικό στοιχείο του περιοδικού πίνακα και η πιο άφθονη χημική ουσία στο σύμπαν. Σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος, δηλαδή σε θερμοκρασία 25°C, το υδρογόνο είναι άχρωμο, άοσμο, άγευστο, μη τοξικό, αμέταλλο και πολύ εύφλεκτο διατομικό αέριο, με μοριακό τύπο H<sub>2</sub>. Μπορεί να συνδυαστεί χημικά με σχεδόν κάθε άλλο στοιχείο δίνοντας τις περισσότερες χημικές ενώσεις από οποιοδήποτε άλλο χημικό στοιχείο. (Dawood et al., 2020) Το στοιχειακό υδρογόνο «H<sub>2</sub>» παράχθηκε για πρώτη φορά τεχνητά στις αρχές του 16ου αιώνα, με ανάμειξη μετάλλων και ισχυρών οξέων. Τη χρονική περίοδο 1766-1781, ο Άγγλος χημικός και φυσικός Henry Cavendish αναγνώρισε πρώτος ότι το αέριο υδρογόνο είναι χημική ουσία που παρήγαγε νερό όταν καιγόταν. Με βάση αυτή τη βασική του ιδιότητα, το ονόμασε «υδρογόνο», συνενώνοντας τις ελληνικές λέξεις «ὔδωρ» και «γεννώ».

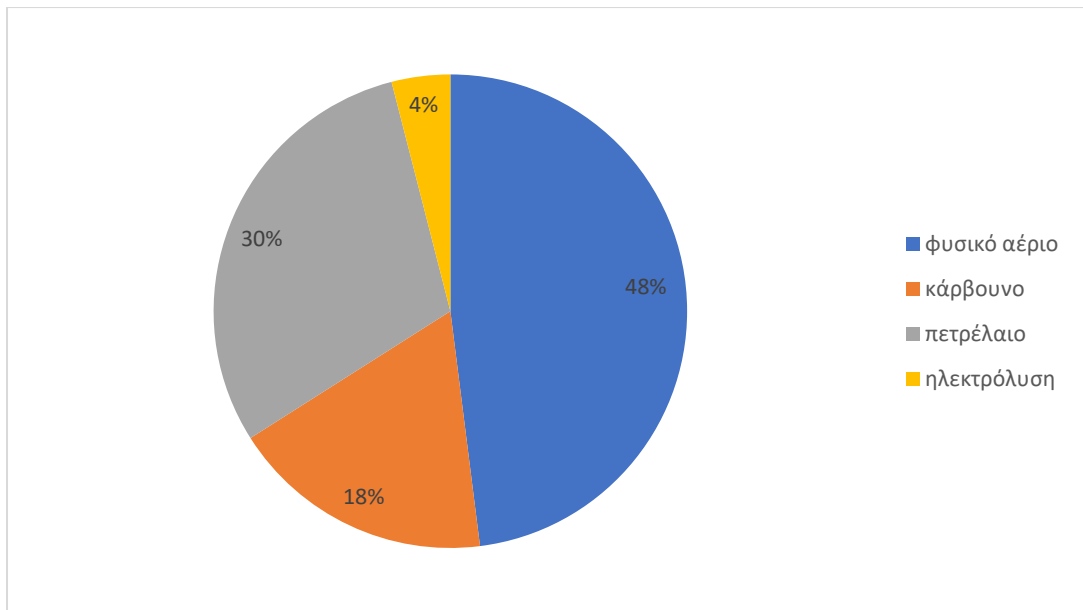
Ωστόσο, το υδρογόνο βρίσκεται στην φύση ενωμένο με άλλα χημικά στοιχεία σχηματίζοντας χημικές ενώσεις πχ (H<sub>2</sub>O). Καθώς υπεισέρχεται στη σύσταση των πολυάριθμων οργανικών ενώσεων το υδρογόνο συναντάται σε όλους τους φυτικούς και ζωικούς ιστούς καθώς και στο πετρέλαιο. Έτσι όπως και ο άνθρακας σχηματίζει τεράστιο αριθμό χημικών ενώσεων ενώ ενώνεται με όλα τα χημικά στοιχεία εκτός από τα ευγενή αέρια. Είναι μάλιστα πολύ πιθανό οι ενώσεις του υδρογόνου να είναι περισσότερες ακόμη κι απ' αυτές του άνθρακα. **(ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΝΙΚΟΛΕΤΟΠΟΥΛΟΣ 2020)**

Τα τελευταία χρόνια, έχουν παρατηρηθεί αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα και η ρύπανση του περιβάλλοντος έχουν σηματοδοτήσει την αφύπνιση της επιστημονικής κοινότητας με στόχο την εξομάλυνση της κατάστασης. Οι καταστροφές που έχουν προκληθεί από μεγάλης έντασης καιρικά φαινόμενα, η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη (φαινόμενο του θερμοκηπίου), φαινόμενα όπως η διαβρωτική όξινη βροχή και το λιώσιμο των πάγων στους πόλους αποτελούν τις αποδείξεις του περιβαλλοντικού εγκλήματος που συντελείται στις μέρες μας. Κυριότερη αιτία της κατάστασης αυτής θεωρείται η αλόγιστη χρήση των καυσίμων για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών σε παγκόσμιο επίπεδο. Το υδρογόνο συχνά

προτείνεται ως το καύσιμο του μέλλοντος, αλλά η μεταπήδηση της τρέχουσας παγκόσμιας οικονομίας από τα ορυκτά καύσιμα σε οικονομία υδρογόνου θα χρειαστεί τη λύση πολλών πολύπλοκων επιστημονικών και τεχνολογικών ζητημάτων, τα οποία θα απαιτήσουν αρκετές δεκαετίες για να ολοκληρωθούν.

Σήμερα, το 85% της παγκόσμιας ενεργειακής ανάπτυξης και χρήσης προέρχεται από ορυκτές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Η καύση ορυκτών καυσίμων οδηγεί σε μαζικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο έχει σοβαρό αντίκτυπο στο παγκόσμιο οικοσύστημα και το κλίμα. Δεύτερον, καθώς η ορυκτή ενέργεια εξαντλείται και δεν είναι ανανεώσιμη, το ενεργειακό σύστημα που βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα αντιμετωπίζει σοβαρή κρίση. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα, ανανεώσιμων πηγών και καθαρών πηγών ενέργειας είναι ένας απαραίτητος τρόπος για την επίλυση της οικολογικής και ενεργειακής κρίσης.

Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί με πολλές τεχνικές και τρόπους. Οι τρόποι παραγωγής υδρογόνου έχουν κατηγοριοποιηθεί σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες είναι η ηλεκτρόλυση, φωτόλυση, βιόλυση και θερμόλυση. Ακόμα, καθώς το υδρογόνο είναι ένα πολύ ελαφρύ αέριο στοιχείο δεν υπάρχει ελεύθερο στην φύση αλλά υπάρχει άφθονο σε ενώσεις όπως είναι το νερό, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο κ.α. Εκτός από τις τέσσερις τεχνικές παραγωγής υδρογόνου που προαναφέρθηκαν, το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί και από υδρογονάνθρακες, αεριοποίηση στερεών καυσίμων όπως το κάρβουνο, πυρηνική ενέργεια και θερμοχημική επεξεργασία βιομάζας (Dawood et al., 2020). Σε παγκόσμια κλίμακα, η σημερινή παραγωγή υδρογόνου, σε μεγάλο ποσοστό της, φαίνεται και στο σχήμα 1



Σχήμα 1. Πρώτες ύλες για την παραγωγή υδρογόνου σήμερα σε παγκόσμια κλίμακα.

Γενικά, λόγω της σταδιακής εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με τα οικολογικά προβλήματα που έχει προκαλέσει αυτή η αλόγιστη κατανάλωση καυσίμων, πολλές ευρωπαϊκές αλλά και μη χώρες έχουν αρχίσει να ψάχνουν εναλλακτικές λύσεις για την κάλυψη των αναγκών της ανθρωπότητας, φιλικές προς το περιβάλλον αλλά και χωρίς την μείωση των ήδη υπάρχοντων βιομηχανιών. Η λύση σταδιακά φαίνεται να είναι το υδρογόνο, καθώς χαρακτηρίζεται ήδη από πολλές χώρες ως το καύσιμο του μέλλοντος. Ορισμένες εφαρμογές εκμετάλλευσης του υδρογόνου έχουν διεισδύσει αποτελεσματικά στο ενεργειακό σύστημα μερικών χωρών, αφυπνίζοντας έτσι την επιστημονική κοινότητα και των υπολοίπων χωρών.

## 1.2 Το υδρογόνο H<sub>2</sub> ως χημικό στοιχείο

Όπως γνωρίζουμε από την βασική χημεία το υδρογόνο είναι ένα χημικό στοιχείο, το οποίο αποτελεί βασικό συστατικό του νερού. Είναι επίσης κύριο συστατικό των υδρογονανθράκων, των υδατανθράκων (σάκχαρα), της αμμωνίας σε κάποια λιπάσματα, των βιομηχανικών αερίων και των υδρογονωμένων ελαίων. Πολλά επίσης έχουμε κατά καιρούς ακούσει για το θέμα της βόμβας υδρογόνου. Κατά κόρον χρησιμοποιείται επίσης στη διαστημική βιομηχανία.



Όλοι γνωρίζουμε την μεγάλη σημασία που δίνεται τα τελευταία 20 χρόνια στον περιορισμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, και ιδιαίτερα σε ότι αφορά στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Εξ' αυτού το υδρογόνο έχει αποκτήσει ξεχωριστή θέση ως ενεργειακός πόρος ή και πρώτη ύλη, αφού έχει χαμηλό έως μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα.

Επειδή το υδρογόνο δεν βρίσκεται σε ελεύθερη μορφή στη φύση, είναι προφανές ότι για να διαδοθεί η ενεργειακή του χρήση σε μεγάλη έκταση, θα εξαρτηθεί από τις ενεργειακές απαιτήσεις και την πρώτη ύλη που απαιτούνται για τη παραγωγή του. Οι γνωστές μέχρι σήμερα τεχνικές από τις οποίες παράγεται το υδρογόνο είναι οι εξής : α) από το φυσικό αέριο (η κύρια πηγή σήμερα δηλαδή μεθάνιο και άνθρακα), β) μέσω της ηλεκτρόλυσης νερού και με την αξιοποίηση των ΑΠΕ και γ) το βιοαέριο και τα οργανικά και βιομηχανικά απόβλητα.

Ανάλογα με το αν κατά τη διαδικασία σύνθεσης υδρογόνου παράγεται διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ή αν αυτό που παράγεται συλλέγεται και αποθηκεύεται (CCS) ή επαναχρησιμοποιείται, το υδρογόνο χαρακτηρίζεται και κατηγοριοποιείται σε “μαύρο”, “γκρίζο”, “μπλέ” ή “πράσινο”. “Μαύρο” είναι το υδρογόνο που παράγεται από λιγνίτη ενώ “πράσινο” αυτό που παράγεται από την ηλεκτρόλυση του νερού με τη χρήση ΑΠΕ. Το “γκρίζο” υδρογόνο είναι εκείνο που προέρχεται από το φυσικό αέριο με την χρήση αναμόρφωσης ατμού-μεθανίου και “μπλε” υδρογόνο εξάγεται με τον ίδιο τρόπο όπως το γκρί υδρογόνο αλλά με εκπομπές CO<sub>2</sub>.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι το υδρογόνο αποτελεί αποθηκευτικό μέσο και μέσο εξισορρόπησης των δικτύων διανομής ενέργειας. Δηλαδή σε περίπτωση περίσσειας παραγωγής ενέργειας ( αιολικής ή ηλιακής), το υδρογόνο μπορεί και έχει την ικανότητα να ανακτήσει την ενέργεια σε επόμενο χρόνο, για να παραχθεί πρώτα ηλεκτρική ενέργεια και θερμική ενέργεια με την χρήση κυψελών καυσίμου. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω αυτής της διαδικασίας βρίσκει μεγάλο ενδιαφέρον. (ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΝΙΚΟΛΕΤΟΠΟΥΛΟΣ 2020)

### 1.3 Οι ιδιότητες του υδρογόνου

Το H<sub>2</sub> βρίσκεται στο σύμπαν σε ποσοστό 90% στη συνολική του μάζα. Είναι το πιο απλό στοιχείο αφού έχει 1 πρωτόνιο και 1 ηλεκτρόνιο. Η πλέον κοινή του χημική ένωση στην γη είναι το νερό. Μια άλλη κατηγορία ενώσεων που το συναντάμε είναι οι υδρογονάνθρακες και οι υδατάνθρακες. Έχει μοριακό βάρος 2,016, πυκνότητα 0,0899 g/l και σημείο βρασμού στους 257,77 °C. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων περιλαμβάνει πολύ μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας αναλογικά προς το βάρος από κάθε άλλο καύσιμο. Ένα άλλο πλεονέκτημα του υδρογόνου είναι ότι μπορεί να αναμειγνύεται με τον αέρα πολύ πιο γρήγορα από ότι το μεθάνιο ή άλλους υδρογονάνθρακες.

Με βάση την πυκνότητα κατά βάρος και κατ' όγκο του υδρογόνου αλλά και των άλλων ενεργειακών φορέων, βλέπουμε στον επόμενο πίνακα μία συγκριτική έρευνα.

Ενεργειακός φορέας	Υδρογόνο	Φ.Α.	LPG (προπάνιο)	Μεθανόλη	Βενζίνη	Μπαταρίες Μολύβδου
Ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα βάρους (kWh/kg)	33,3	13,9	12,9	5,6	12,7	0,03
Ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα όγκου (kWh/l)	0,53	2,6	7,5	4,4	8,7	0,09

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.** Συγκριτική έρευνα του υδρογόνου αλλά και των άλλων ενεργειακών φορέων με την πυκνότητα κατά βάρος και κατ' όγκο.

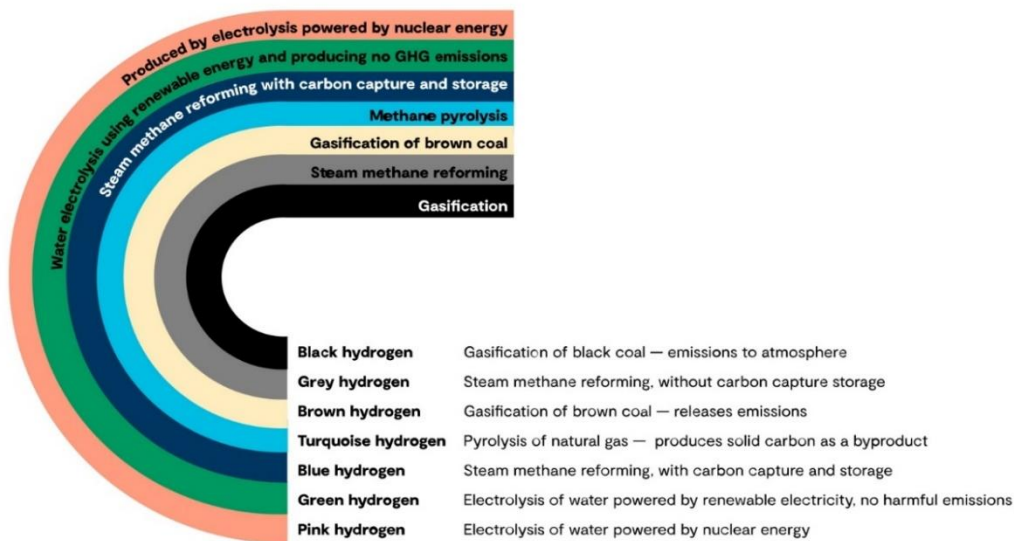
Το υδρογόνο παρουσιάζει μεγάλη τάση διαρροής και δραπετεύει σχετικά εύκολα και γρήγορα εάν βρει διέξοδο. Μπορεί να διαρρεύσει κατά 1,26 έως και 2,6 φορές πιο γρήγορα από το φυσικό αέριο. Εάν κάποια στιγμή είχαμε κάποια διαρροή, το υδρογόνο θα διασκορπιζόταν πολύ πιο γρήγορα από οποιοδήποτε άλλο καύσιμο.

### 1.4 Το υδρογόνο ως φορέας ενέργειας

Το υδρογόνο ως ενεργειακή πηγή μπορεί να καλύψει τομείς μεγάλης κατανάλωσης όπως τον κτιριακό, τις μεταφορές και την βιομηχανία. Τα ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας διαθέτουν συγκριτικά πλεονεκτήματα δηλαδή ευρύ φάσμα χρήσης, μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, ευχέρεια μεταφοράς και αποθήκευσης. Από την άλλη έχουν και σημαντικά μειονεκτήματα ως προς το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και το πεπερασμένο των αποθεμάτων. Λόγω της συνεχώς αυξανόμενης τιμής των συμβατικών (ορυκτών) καυσίμων και της πανδημίας του κορωνοϊού η ενεργειακή κατάσταση παγκοσμίως έχει φθάσει σε κομβικό σημείο. Έτσι αναδείχτηκε ως ισχυρή εναλλακτική λύση το υδρογόνο. Φαίνεται ότι με την εξέλιξη της τεχνολογίας μπορεί να εξελιχθεί μια οικονομικά συμφέρουσα μορφή ενέργειας και ταυτόχρονα φιλική για το περιβάλλον. (CORNELIUS MATTHES, VALERIA ARUFFO, LOUIS RETBY-PRADEAU 2020)

### 1.5 Τα Χρώματα του Υδρογόνου και οι Εφαρμογές του

Με τα δεδομένα που έχουμε μέχρι σήμερα το 96% του υδρογόνου παράγεται από ορυκτά καύσιμα με την εντατική ανθρακοποίηση (carbon-intensive), την αναμόρφωση ατμού μεθανίου (SMR). Από αυτές τις διεργασίες όταν έχουμε ταυτόχρονη χρήση και αποθήκευση άνθρακα παίρνει το όνομα γκρίζο υδρογόνο. Όταν γίνεται μέσω της αεριοποίησης άνθρακα παίρνει το όνομα μαύρο υδρογόνο. Είναι δηλαδή η ποσότητα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η διαδικασία παραγωγής, βάσει των οποίων δίνεται το όνομα (χρώμα) στο υδρογόνο. Το πράσινο υδρογόνο συντίθεται με την ηλεκτρόλυση, όπου συνήθως χρησιμοποιούνται και ΑΠΕ. Η παραγωγή γκρι υδρογόνου χρησιμοποιεί φυσικό αέριο ενώ το μαύρο υδρογόνο χρησιμοποιεί άνθρακα ως κύρια πηγή. (CORNELIUS MATTHES, et.al.,2020).



Σχήμα 2: Κατάταξη του H<sub>2</sub> ανάλογα με το χρώμα του

Η διαδικασία σύνθεσης μπλε υδρογόνου είναι παρόμοια με αυτή για το γκριζό υδρογόνο, με τη διαφορά ότι εκπεμπόμενος άνθρακας παγιδεύεται με τη διαδικασία CCUS για μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Ως κίτρινο υδρογόνο θεωρούμε αυτό που παράγεται με μια διαδικασία ηλεκτρόλυσης που αξιοποιεί είτε ηλεκτρική ενέργεια από συμβατικά μέσα είτε από πυρηνική ενέργεια. Για το ονομαζόμενο τουρκουάζ υδρογόνο χρησιμοποιείται Φ.Α. ή βιομάζα. Ενώ η πυρόλυση για τη βιομάζα είναι μια σχετικά ρυπογόνος διαδικασία από περιβαλλοντική άποψη, η διαδικασία πυρόλυσης μέσω φυσικού αερίου μπορεί να είναι πιο συμφέρουσα, υπό την προϋπόθεση ότι η ενέργεια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

Η πλέον φιλική προς το περιβάλλον κατηγορία είναι το πράσινο υδρογόνο, που φαίνεται ότι θα παίξει τον σπουδαιότερο ρόλο στην ενεργειακή μετάβαση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι στη παραγωγή χάλυβα, όπου αξιοποιείται η διαδικασία άμεσης αναγωγής. Το 2022 το 55% του υδρογόνου που παράγεται σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιείται για τη σύνθεση αμμωνίας, το 25% σε διυλιστήρια και

περίπου το 10% για την παραγωγή μεθανόλης. Οι υπόλοιπες εφαρμογές παγκοσμίως αντιπροσωπεύουν μόνο το 10% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής υδρογόνου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι περίπου τα δύο τρίτα του υδρογόνου παράγονται επί τόπου για άμεση χρήση, επομένως δεν απαιτείται μεταφορά και δεν υπάρχει αγορά ή αύξηση στις τιμές. Επιπλέον, το υδρογόνο έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σήμερα και το πράσινο υδρογόνο θα μπορούσε να αναλάβει πλήρως μακροπρόθεσμα για να υποστηρίξει τη διαδικασία απανθρακοποίησης. (CORNELIUS MATTHES, VALERIA ARUFFO, LOUIS RETBY-PRADEAU 2020)

### 1.6 Ο ρόλος του υδρογόνου στην παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση

Προϋπόθεση για να επιταχυνθεί η ενεργειακή μετάβαση είναι η γρήγορη προώθηση καθαρών τεχνολογιών, η ψηφιοποίηση των ενεργειακών διαδικασιών και τέλος η αποκέντρωση παραγωγής με την ανάπτυξη των ΑΠΕ. Η ανάπτυξη του υδρογόνου είναι σε στενή εξάρτηση με την ενεργειακή μετάβαση της παγκόσμιας οικονομίας. Το πράσινο υδρογόνο μπορεί να καλύψει αυτό ακριβώς το κομμάτι μέσω του οποίου θα επιτευχθεί η από-ανθρακοποίηση σε όλους τους τομείς. Η χρήση του υδρογόνου θα προσφέρει θετικό ενεργειακό αποτύπωμα και ταυτόχρονα φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια. Το πράσινο υδρογόνο ως φορέας ενέργειας είναι επίσης σημαντικά ευέλικτο, αφού μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις και έχει υψηλή ενέργεια όταν συμπιέζεται ή υγροποιείται.

Ως μελλοντική πρόβλεψη το υδρογόνο αναμένεται να καλύψει το 24% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών έως το 2050 με ένα τζίρο αξίας 700 δισεκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ και πολλά δισεκατομμύρια επιπλέον σε πωλήσεις εξοπλισμού τελικής χρήσης. Πιο αναλυτικές και πολύ πρόσφατες εκτιμήσεις προβλέπουν ότι μέχρι του 2100 μπορεί η παγκόσμια αγορά H<sub>2</sub> να φθάσει έως και 11,7 τρισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ, αποκαλώντας αυτό το γεγονός ως «μια ευκαιρία στη ζωή».

Χώρες με πολύ φθηνές ηλιακές και αιολικές πηγές θα μπορούσαν κάλλιστα να αναδειχθούν ως παγκόσμιοι κόμβοι παραγωγής, αποθήκευσης και μεταφοράς

πράσινου H<sub>2</sub> αλλά και διαιτητές μεταξύ άλλων αγορών, κάπως παρόμοια με το LNG. Σε πρόσφατες εκθέσεις αναφέρεται ως εφικτός μελλοντικός στόχος να κλιμακωθεί το δυναμικό ανανεώσιμων πηγών υδρογόνου αρκετών χωρών, λαμβάνοντας υπόψη τρεις παραμέτρους τις οποίες ταξινομεί με βάση τη διαθεσιμότητα των πόρων τους (άνεμος, ήλιος, νερό) αλλά και την ποιότητα των υποδομών τους για παραγωγή, μεταφορά και διανομή υδρογόνου. Η έκθεση αυτή υπογραμμίζει τη θέση του Μαρόκου και της Αυστραλίας ως πιθανών πρωταθλητών στις εξαγωγές, καθώς είναι πλούσιες σε νερό και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και διαθέτουν σαφή ικανότητα στην ανάπτυξη των απαιτούμενων υποδομών. **(CORNELIUS MATTHES, et.al., 2020).**

Μαζί με το Μαρόκο και την Αυστραλία, οι χώρες της MENA γενικά και οι χώρες του Κόλπου ειδικότερα, θα μπορούσαν επίσης να αναδειχθούν ως βασικοί παράγοντες της μετάβασης. Στην πραγματικότητα, παρόλο που οι περισσότερες χώρες του Κόλπου σχεδιάζουν ήδη να στραφούν από τα ορυκτά σε μια πράσινη οικονομία μέσω διαφορετικών κυβερνητικών σχεδίων, μόνο πολύ λίγα έργα εμφανίζονται και τα σχέδια θα μπορούσαν να είναι πιο τολμηρά και πιο γρήγορα σε όλες αυτές τις χώρες.

Σε περίπτωση που οι μεγάλοι παραγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου δεν αποδεχτούν την μεγάλη αυτή αλλαγή, σε μια περίοδο ιστορικής κρίσης του ενεργειακού τομέα, ενδέχεται να διακυβευτεί η σταθερότητά του τομέα αυτού. Στην ανατολική Μεσόγειο, η Κύπρος και η Ελλάδα θα μπορούσαν επίσης να είναι οι πιθανοί ωφελημένοι όχι τόσο για την παραγωγή H<sub>2</sub>, αλλά τη διαμετακόμιση του. Πράγματι, η συμφωνία για τον αγωγό East-Med που υπογράφηκε τον Ιανουάριο του 2020 μεταξύ Ισραήλ, Κύπρου και Ελλάδας θα μπορούσε να μειώσει τον ρόλο της Τουρκίας και των χωρών της Κοινοπολιτείας Ανεξάρτητων Κρατών (CIS ή KAK) και να τοποθετήσει π.χ. χώρες της νότιας Μεσογείου σε σημαντικότερη θέση στην κλίμακα ενέργειας. **(CORNELIUS MATTHES, et.al., 2020).**

## 2. Εφαρμογές του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα ευρωπαϊκών χωρών

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη, ως καύσιμο ή ως φορέας ενέργειας και ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας. Έχει πολλές δυνητικές εφαρμογές στους τομείς της βιομηχανίας, των μεταφορών, της ενέργειας και των κτιρίων. Το σημαντικότερο είναι ότι δεν εκπέμπει CO<sub>2</sub> και κατά τη χρήση του εκλύονται σχεδόν μηδενικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι. Σήμερα, η ποσότητα υδρογόνου που χρησιμοποιείται στην ΕΕ παραμένει περιορισμένη και το υδρογόνο παράγεται κατά κύριο λόγο από ορυκτά καύσιμα. Στόχος της Ευρωπαϊκής ένωσης είναι η επέκταση της χρήσης του υδρογόνου σε τομείς στους οποίους μπορεί να αντικαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα έτσι ώστε να περιοριστούν σε μεγάλο βαθμό οι εκπομπές βλαβερών ρύπων από τις βιομηχανίες.

Αξίζει να σημειωθεί πως στην Γερμανία, η εταιρία χαρτιού Essity κατάφερε να παράγει χαρτί χωρίς να απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που βλάπτει το κλίμα. Το εργοστάσιο στο Mainz-Kostheim της Γερμανίας άλλαξε από τη χρήση φυσικού αερίου ως καύσιμο σε χρήση πράσινου υδρογόνου για την παραγωγή και τη διαδικασία ξήρανσης χαρτιού. Το ανανεώσιμο υδρογόνο μπορεί να διαδραματίσει εξέχοντα ρόλο στην απαλλαγή από τις υψηλά ενεργόβορες σε άνθρακα βιομηχανίες καθώς και στις μεταφορές. Διαθέτει επίσης σημαντικές δυνατότητες να συμβάλει στον στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της ΕΕ αντικαθιστώντας τη σημερινή παραγωγή υδρογόνου με βάση τα ορυκτά καύσιμα και την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία και στον τομέα των μεταφορών. Η παραγωγή υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές από ηλιακούς και αιολικούς πόρους θα υποστηρίξει επίσης την ενοποίηση των ενεργειακών συστημάτων. Με μια ταχεία ανάπτυξη, το μερίδιο του υδρογόνου στο ενεργειακό μείγμα της ΕΕ θα μπορούσε να φτάσει το 13-20% το 2050.

Μια πρώτη ολοκληρωμένη στρατηγική της ΕΕ για το υδρογόνο εγκρίθηκε τον Ιούλιο του 2020, η οποία θεωρούσε τις επενδύσεις υδρογόνου ως κρίσιμες για την επιτάχυνση της ενεργειακής μετάβασης και στο πλαίσιο της ανάκαμψης από την κρίση του COVID-19. Δεδομένου ότι η υπάρχουσα παραγωγή υδρογόνου βασίζεται

σε εισαγόμενο φυσικό αέριο, ο πόλεμος της Ρωσίας εναντίον της Ουκρανίας έχει θέσει το υδρογόνο και ειδικότερα τις ανανεώσιμες πηγές υδρογόνου σε ακόμη πιο εξέχουσα θέση στην επιταχυνόμενη μετάβαση της ΕΕ για την απομάκρυνση από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα και τη διαφοροποίηση των ενεργειακών της αποθεμάτων.

## 2.1 Παραδείγματα παραγωγής Πράσινου H<sub>2</sub> στην Ευρώπη.

### 2.1.1 Το σχέδιο PUERTOLLANO Πράσινο Υδρογόνο

Η εταιρεία Iberdrola κατασκεύασε τη μεγαλύτερη μονάδα πράσινου υδρογόνου για βιομηχανική χρήση στην Ευρώπη. Η μονάδα που βρίσκεται στο Puertollano (Ισπανία) αποτελείται από μια μονάδα φωτοβολταϊκών ισχύος 100 MW, ένα σύστημα μπαταριών ιόντων λιθίου με χωρητικότητα αποθήκευσης 20 MWh και ένα από τα μεγαλύτερα συστήματα παραγωγής ηλεκτρολυτικού υδρογόνου στον κόσμο (20 MW). Όλα από 100% ανανεώσιμες πηγές. (**Iberdrola 2022**). Είναι μια επένδυση 150 εκατομμυρίων ευρώ, που θα δημιουργήσει έως και 1.000 θέσεις εργασίας και θα αποτρέψει εκπομπές 48.000 tCO<sub>2</sub>/έτος. Το πράσινο υδρογόνο που παράγεται εκεί θα χρησιμοποιηθεί στο τοπικό εργοστάσιο αμμωνίας της Fertiberia.

Πρόκειται ήδη για ένα από τα πιο αποδοτικά εργοστάσια στην Ευρωπαϊκή Ένωση με παραγωγική δυναμικότητα άνω των 200.000 t/έτος. Η Fertiberia θα εκσυγχρονιστεί και θα τροποποιηθεί το εργοστάσιο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιεί το πράσινο υδρογόνο που παράγεται για την παραγωγή πράσινων λιπασμάτων. Χάρη σε αυτή την τεχνολογία, θα είναι σε θέση να μειώσει τις απαιτήσεις φυσικού αερίου στο εργοστάσιο κατά περισσότερο από 10% και θα είναι η πρώτη ευρωπαϊκή εταιρεία στον τομέα που θα αναπτύξει τεχνογνωσία στη μεγάλης κλίμακας παραγωγή πράσινης αμμωνίας. Χάρη στις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του εργοστασίου, βραβεύτηκε με το βραβείο για το καλύτερο Έργο Υδρογόνου της χρονιάς 2022, που απονεμήθηκε από την AAE Spain Chapter, κατά τη διάρκεια του 4ου Διεθνούς Συνεδρίου Ενεργειακής Μηχανικής iENER23, που πραγματοποιήθηκε στη Βαλένθια.



Το νέο εργοστάσιο, το οποίο τέθηκε σε λειτουργία το 2022, αναπτύσσεται στον δήμο Puertollano, μια προνομιακή τοποθεσία που είναι σημαντικός βιομηχανικός κόμβος. Είναι επίσης η τοποθεσία του Εθνικού Κέντρου Υδρογόνου, το οποίο παρέχει συμβουλές για το έργο από την έναρξή του. Επιπλέον, το έργο θα συμβάλει στην προώθηση της τεχνολογικής ωριμότητας του πράσινου υδρογόνου και θα το καταστήσει μεσοπρόθεσμα λύση για αποτελεσματική απαλλαγή από τον άνθρακα. Η Iberdrola επέλεξε την ευρωπαϊκή εταιρεία Nel Hydrogen Electrolyser τμήμα της Nel ASA ως τον καταλληλότερο προμηθευτή της για την κατασκευή του συστήματος παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση, το οποίο βασίζεται στη λύση Proton PEM.

### **Τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας.**

Η ηλιακή μονάδα (100 MW) έχει αρκετές καινοτομίες:

- Η εγκατάσταση έχει δίπλευρα πάνελ, που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ποτέ στο παρελθόν σε εταιρικά έργα, τα οποία επιτρέπουν μεγαλύτερη παραγωγή αφού έχουν δύο φωτοευαίσθητες επιφάνειες και παρέχουν μεγαλύτερη ωφέλιμη ζωή.
- Το έργο διαθέτει σύστημα αποθήκευσης, το οποίο διευκολύνει τη διαχείριση της μονάδας. Το σύστημα μπαταριών (με ισχύ 5 MW) έχει χωρητικότητα αποθήκευσης 20 MWh.

Η συμμαχία μεταξύ Iberdrola και Fertiberia στοχεύει να τοποθετήσει την Ισπανία στην πρώτη γραμμή του πράσινου υδρογόνου στην Ευρώπη και να την καταστήσει τεχνολογικό σημείο αναφοράς στην παραγωγή και χρήση αυτού του πόρου, ειδικά στον τομέα της ηλεκτρόλυσης. Για το σκοπό αυτό, και οι δύο εταιρείες έχουν ξεκινήσει ένα ολοκληρωμένο έργο που περιλαμβάνει την ανάπτυξη 830 MW πράσινου υδρογόνου με επένδυση 1,8 δισ. ευρώ έως το 2027. Η πρωτοβουλία καινοτομίας του συγκροτήματος Puertollano, θα μπορούσε να ολοκληρωθεί με ένα σχέδιο πολλαπλασιασμού της δυναμικότητας αυτής της πρώτης μονάδας κατά 40 με την ανάπτυξη τριών άλλων έργων μεταξύ 2023 και 2027, τα οποία θα πραγματοποιηθούν στο Εργοστάσιο Fertiberia σε αυτόν τον δήμο της Ciudad Real και στο εργοστάσιο Palos de la Frontera στην Huelva.

Το σχέδιο θα επιτύχει 830 MW ηλεκτρόλυσης, που ισοδυναμεί με το 20% του εθνικού στόχου των 4 GW που θα εγκατασταθούν έως το 2030, και θα διασφαλίσει ότι περίπου το 25% του υδρογόνου που καταναλώνεται σήμερα στην Ισπανία δεν θα παράγει εκπομπές CO<sub>2</sub>. Η ετήσια παραγωγή υδρογόνου, το οποίο χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη στις βιομηχανίες διύλισης, χημικών και λιπασμάτων, είναι 0,5 Mt H<sub>2</sub>/έτος και αυτό δημιουργεί εκπομπές 5 Mt CO<sub>2</sub>/έτος. Παγκοσμίως το ποσοστό αυτό αυξάνεται σε 830 Mt CO<sub>2</sub>/έτος (πάνω από το 2% των παγκόσμιων εκπομπών). Επιπλέον, η πρωτοβουλία, η οποία αντιπροσωπεύει μια επένδυση ή 1,8 δισ. ευρώ, θα συμβάλει στην ανάπτυξη ολόκληρης της αλυσίδας αξίας, δημιουργώντας σχεδόν 4.000 θέσεις εργασίας ειδικευμένων (2.000 από αυτές ήδη το 2023) μέσω 500 τοπικών προμηθευτών.

#### 2.1.2. Το έργο Πράσινου Υδρογόνου της Plug Power βελγικό λιμάνι της Αμβέρσας Μπριζ

Η κατασκευάστρια εταιρεία Plug Power κατασκευάζει ένα εργοστάσιο πράσινου υδρογόνου 100 MW στο βελγικό λιμάνι της Αμβέρσας-Μπριζ πιθανότατα το μεγαλύτερο της Βόρειας Ευρώπης που θα τεθεί σε λειτουργία το 2025. Η εγκατάσταση θα παράγει 12.500 τόνους πράσινου υδρογόνου ετησίως σε πλήρη δυναμικότητα, προμηθεύοντας υδρογόνο για «πολλαπλούς πελάτες» στο λιμάνι, δήλωσε η Plug Power, σημειώνοντας ότι η Αμβέρσα-Μπριζ βρίσκεται στο κέντρο του μεγαλύτερου συμπλέγματος χημικής βιομηχανίας στην Ευρώπη. Το εργοστάσιο, το οποίο θα βρίσκεται στο «πρωτοπόρο» βιομηχανικό πάρκο NextGen του λιμανιού, επιδιώκει να αναπτύξει ένα κυκλικό σχέδιο για τη χρήση του νερού που χρησιμοποιείται στις συσκευές ηλεκτρολύσεων και επί του παρόντος διερευνά συνεργασίες για το σκοπό αυτό.

Το έργο αυτό σκοπεύει επίσης να κατασκευάσει έναν αποκλειστικό αγωγό υδρογόνου ανοιχτής πρόσβασης κατά μήκος της τοποθεσίας (υπάρχει συμφωνία με τον βελγικό φορέα εκμετάλλευσης αγωγών φυσικού αερίου Fluxys) που θα αποτελέσει μέρος του προτεινόμενου European Hydrogen Backbone. Η κατασκευή του έργου ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2023, και πιθανόν να είναι ένα από τα

μεγαλύτερα στη Βόρεια Ευρώπη. Σε επίπεδο Ε.Ε. πιθανόν να είναι δεύτερο σε μέγεθος από αυτά που κατασκευάζονται στη Ιβηρική χερσόνησο και θα τροφοδοτούν με ενέργεια την ΝΔ Ευρώπη. Παράλληλα περίπου 500 MW του έργου «2GW SHYNE» αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία έως το 2025, η πρώτη φάση των 500 MW του Έργου «Catalina 2GW» της Vestas και της Copenhagen Infrastructure Partners (CIP) , θα μπορούσε να τεθεί σε λειτουργία εντός του 2023. Αναμένονται επιπλέον να ξεκινήσει το 2025 η κατασκευή μεγάλης μονάδας Η<sub>2</sub> στο πορτογαλικό λιμάνι Sines, που αναπτύχθηκε από την CIP και τον Πορτογάλο προγραμματιστή Madoqua Renewables και την ολλανδική εταιρεία συμβούλων Power2X. (Rachel Parkes 2002)

## 2.2 Η προτεραιότητα της Ε.Ε. για την ανάπτυξη του ανανεώσιμου υδρογόνου.

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντικατάσταση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων για τις μεταφορές και τις βιομηχανικές διεργασίες και για την έναρξη νέων βιομηχανικών προϊόντων, όπως πράσινα λιπάσματα και χάλυβας. Όταν παράγεται σε περιόδους που οι πόροι ηλιακής και αιολικής ενέργειας είναι άφθονα διαθέσιμοι, το ανανεώσιμο υδρογόνο μπορεί επίσης να υποστηρίξει τον τομέα ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ, παρέχοντας μακροπρόθεσμη και μεγάλης κλίμακας αποθήκευση. Το δυναμικό αποθήκευσης υδρογόνου είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο για τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επιτρέπει τη διατήρηση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές όχι μόνο σε μεγάλες ποσότητες αλλά και για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτό σημαίνει ότι το ανανεώσιμο υδρογόνο μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ευελιξίας των ενεργειακών συστημάτων εξισορροπώντας την προσφορά και τη ζήτηση όταν παράγεται είτε υπερβολική είτε όχι αρκετή ενέργεια, συμβάλλοντας στην ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης σε ολόκληρη την ΕΕ. (European Commission 2022)

### 2.2.1 Η Στρατηγική της Ε.Ε. για το Υδρογόνο

Η στρατηγική της ΕΕ για το υδρογόνο (COM/2020/301) εγκρίθηκε το 2020 και προτείνει πολιτικές δράσεις σε 5 σημεία: στήριξη των επενδύσεων, υποστήριξη της

παραγωγής και της ζήτησης, δημιουργία αγοράς και υποδομής υδρογόνου, έρευνα, συνεργασία και διεθνής συνεργασία.

Ο πλήρης κατάλογος των 20 βασικών δράσεων εφαρμόστηκε μέχρι το πρώτο τρίμηνο του 2022. Το υδρογόνο αποτελεί επίσης σημαντικό μέρος της στρατηγικής της ΕΕ για την ενοποίηση των ενεργειακών συστημάτων. Έκτοτε, μέσω του πακέτου Fit-for-55 (Ιούλιος 2021) έχει υποβάλει ορισμένες νομοθετικές προτάσεις που ερμηνεύουν την ευρωπαϊκή στρατηγική για το υδρογόνο σε συγκεκριμένο ευρωπαϊκό πλαίσιο πολιτικής για το υδρογόνο. Αυτό περιλαμβάνει προτάσεις για τον καθορισμό στόχων για την απορρόφηση του ανανεώσιμου υδρογόνου στη βιομηχανία και τις μεταφορές έως το 2030. Περιλαμβάνει επίσης τη δέσμη για την αγορά υδρογόνου και απανθρακωμένου αερίου (COM/2021/803 τελικό και COM/2021/804 τελικό), η οποία υποβάλλει προτάσεις για υποστήριξη της δημιουργίας της βέλτιστης και αποκλειστικής υποδομής για το υδρογόνο, καθώς και μιας αποτελεσματικής αγοράς υδρογόνου.

Επιπλέον, το σχέδιο ανάκαμψης Next Generation EU συμπεριλαμβάνει για όλες τις χώρες της ΕΕ σημαντικές επενδύσεις σε έργα υδρογόνου σε όλη την αλυσίδα αξίας. Επενδυτική υποστήριξη έχει επίσης παρασχεθεί μέσω των Σημαντικών Έργων Κοινού Ευρωπαϊκού Ενδιαφέροντος (IPCEI) για το υδρογόνο. Το πρώτο IPCEI, με την ονομασία «IPCEI Hy2Tech», το οποίο περιλαμβάνει 41 έργα και εγκρίθηκε τον Ιούλιο του 2022, στοχεύει στην ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών για την αλυσίδα αξίας του υδρογόνου για την απαλλαγή των βιομηχανικών διεργασιών και τον τομέα της κινητικότητας, με έμφαση στους τελικούς χρήστες. **(European Commission 2022)**

Τον Σεπτέμβριο του 2022, η Επιτροπή ενέκρινε το "IPCEI Hy2Use", το οποίο συμπληρώνει το IPCEI Hy2Tech και το οποίο θα υποστηρίξει την κατασκευή υποδομών που σχετίζονται με το υδρογόνο και την ανάπτυξη καινοτόμων και πιο βιώσιμων τεχνολογιών για την ενσωμάτωση του υδρογόνου στον βιομηχανικό τομέα. Τέλος, η εταιρική σχέση καθαρού υδρογόνου ιδρύθηκε τον Νοέμβριο του 2021 (αναλαμβάνοντας την FCH 2 JU) για την υποστήριξη της έρευνας και της καινοτομίας στο οικοσύστημα του υδρογόνου. Το πλαίσιο πολιτικής ολοκληρώθηκε με την υιοθέτηση δύο διευκρινιστικών κανόνων της ΕΕ που ισχύουν για το ανανεώσιμο

υδρογόνο σύμφωνα με την οδηγία του 2018 για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η πρώτη πρόταση καλύπτει τα ανανεώσιμα καύσιμα μη βιολογικής προέλευσης και θέτει τα κριτήρια για τα προϊόντα που εμπίπτουν στην κατηγορία «ανανεώσιμο υδρογόνο». Η δεύτερη πρόταση προτείνει ένα λεπτομερές σχέδιο για τον υπολογισμό των εκπομπών του ανανεώσιμου υδρογόνου και των καυσίμων ανακυκλωμένου άνθρακα κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής για την επίτευξη του ορίου μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που ορίζεται στην οδηγία.

### 2.3 Σχέδιο ανάπτυξης της αγοράς υδρογόνου

Με τη δημοσίευση του σχεδίου REPower EU τον Μάιο του 2022, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συμπληρώνει την εφαρμογή της στρατηγικής της ΕΕ για το υδρογόνο για να αυξήσει περαιτέρω τις ευρωπαϊκές φιλοδοξίες για το ανανεώσιμο υδρογόνο ως σημαντικό φορέα ενέργειας, με τελικό στόχο να απομακρυνθεί από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων της Ρωσίας. Στο έγγραφο εργασίας του προσωπικού (SWD/2022/230) που συνοδεύει το σχέδιο, η Επιτροπή περιγράφει μια ιδέα «The hydrogen accelerator» για την κλιμάκωση της ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών υδρογόνου, η οποία θα συμβάλει στην επιτάχυνση της ενεργειακής μετάβασης και στην απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές του ενεργειακού συστήματος της ΕΕ. Η φιλοδοξία είναι να παραχθούν 10 εκατομμύρια τόνοι και να εισαχθούν 10 εκατομμύρια τόνοι ανανεώσιμου υδρογόνου στην ΕΕ έως το 2030. **(European Commission 2022)**



### Σχήμα 3: The hydrogen accelerator

Το επίκεντρο αυτών των δράσεων είναι η επιτάχυνση της απορρόφησης ανανεώσιμων πηγών υδρογόνου, αμμωνίας και άλλων παραγώγων σε τομείς που είναι δύσκολο να απελευθερωθούν από τον άνθρακα, όπως οι μεταφορές, και σε βιομηχανικές διεργασίες με ένταση ενέργειας. Η κλιμάκωση της ανάπτυξης υποδομών υδρογόνου και η υποστήριξη των επενδύσεων υδρογόνου προσδιορίζονται επίσης ως βασικοί τομείς για τη στήριξη της πρόσληψης υδρογόνου στην ΕΕ.

#### 2.4 Ευρωπαϊκή Τράπεζα Υδρογόνου

Στο πλαίσιο των μέτρων για την ανάπτυξη της αγοράς υδρογόνου, η Επιτροπή πρότεινε τη δημιουργία μιας παγκόσμιας ευρωπαϊκής εγκατάστασης υδρογόνου για τη δημιουργία επενδυτικής ασφάλειας και επιχειρηματικών ευκαιριών για την ευρωπαϊκή και παγκόσμια παραγωγή υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές. Η Πρόεδρος Von der Leyen ανακοίνωσε μια Ευρωπαϊκή Τράπεζα Υδρογόνου και η πρωτοβουλία αυτή περιλαμβάνεται στο πρόγραμμα εργασίας της Επιτροπής για το 2023. Η ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Υδρογόνου (COM(2023)156), που δημοσιεύθηκε στις 16 Μαρτίου 2023, περιγράφει την ιδέα, τα καθήκοντα και τη δομή της. Ο κύριος στόχος της διευκόλυνσης αυτής είναι να ξεκλειδώσει τις ιδιωτικές επενδύσεις σε αλυσίδες αξίας υδρογόνου, τόσο στο εσωτερικό όσο και σε τρίτες χώρες, συνδέοντας την προσφορά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ζήτηση της ΕΕ και αντιμετωπίζοντας τις αρχικές επενδυτικές προκλήσεις. Θα δημιουργήσει μια αρχική αγορά για ανανεώσιμες πηγές υδρογόνου, προσφέροντας νέες ευκαιρίες ανάπτυξης και θέσεις εργασίας, και το φθινόπωρο του 2023 θα ξεκινήσει μια δημοπρασία (στο πλαίσιο του Ταμείου Καινοτομίας) για την υποστήριξη της παραγωγής ανανεώσιμου υδρογόνου για τους ευρωπαίους καταναλωτές. **(European Commission 2022)**

Επιπλέον, οι εταιρικές σχέσεις για το πράσινο υδρογόνο θα διευκολύνουν την προώθηση της εισαγωγής ανανεώσιμου υδρογόνου από τρίτες χώρες και θα συμβάλουν στην παροχή κινήτρων για την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές.

Μαζί, η παγκόσμια Ευρωπαϊκή Τράπεζα Υδρογόνου και οι εταιρικές σχέσεις πράσινου υδρογόνου στοχεύουν στη δημιουργία ενός πλαισίου που θα διασφαλίζει ότι οι συνεργασίες που έχουν δημιουργηθεί από τις χώρες της ΕΕ και τη βιομηχανία παρέχουν ίσους όρους ανταγωνισμού μεταξύ της παραγωγής της ΕΕ και των εισαγωγών τρίτων χωρών.

## 2.5 Δίκτυο Ενέργειας Υδρογόνου

Το Δίκτυο Ενέργειας Υδρογόνου είναι μια άτυπη ομάδα εκπροσώπων από τα υπουργεία ενέργειας των χωρών της ΕΕ που στοχεύει να βοηθήσει τις εθνικές αρχές ενέργειας να αξιοποιήσουν τις ευκαιρίες που προσφέρει το υδρογόνο ως φορέας ενέργειας. Λειτουργεί ως μια άτυπη πλατφόρμα για την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τις καλές πρακτικές, την εμπειρία και τις τελευταίες εξελίξεις στο υδρογόνο και για την από κοινού εργασία σε συγκεκριμένα θέματα.

## 2.6 Πρωτοβουλίες της ΕΕ για το υδρογόνο

Η ΕΕ έχει ξεκινήσει και προωθεί πολλές βιομηχανικές πρωτοβουλίες, χρηματοδότηση και έρευνα και καινοτομία για το υδρογόνο.

### *Συνεργασία Clean Hydrogen*

Η εταιρική σχέση καθαρού υδρογόνου (2021-2027) είναι μια κοινή σύμπραξη δημόσιου-ιδιωτικού τομέα που υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, μέσω του Horizon Europe. Περιλαμβάνει επίσης την πλατφόρμα Hydrogen Valleys, μια πρωτοβουλία υπό την ηγεσία της ΕΕ στο πλαίσιο της Mission Innovation. Την 1η Μαρτίου 2023, η Επιτροπή και τα βασικά ενδιαφερόμενα μέρη υπέγραψαν κοινή δήλωση σχετικά με την έρευνα και την καινοτομία για ανανεώσιμες πηγές υδρογόνου, με τη δέσμευση να εντείνουν και να επιταχύνουν την κοινή δράση στην έρευνα, την ανάπτυξη, την επίδειξη και την ανάπτυξη των κοιλάδων υδρογόνου.

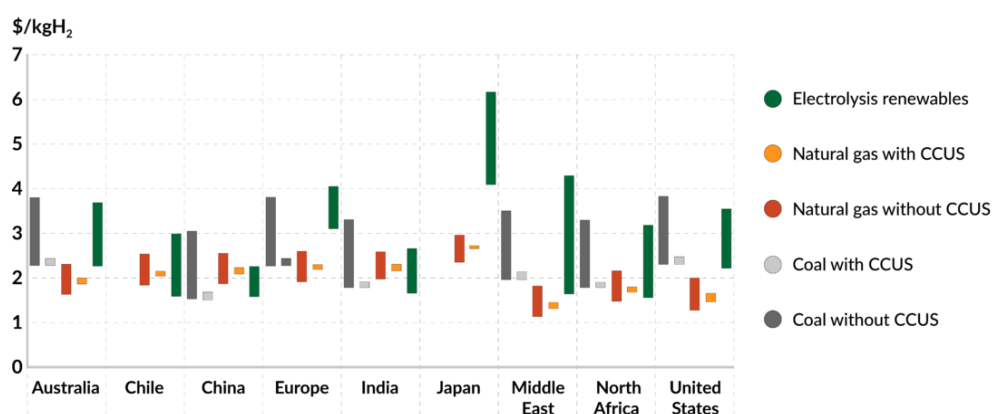
Η European Clean Hydrogen Alliance ξεκίνησε παράλληλα με τη στρατηγική της ΕΕ για το υδρογόνο το 2020 ως μέρος της νέας βιομηχανικής στρατηγικής για την ΕΕ. Συγκεντρώνει τη βιομηχανία, τις εθνικές και τοπικές αρχές, την κοινωνία των πολιτών και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς. Στόχος της συμμαχίας είναι να επιτύχει μια

φιλόδοξη ανάπτυξη τεχνολογιών υδρογόνου έως το 2030, συνδυάζοντας την παραγωγή υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές και χαμηλές εκπομπές άνθρακα, τη ζήτηση στη βιομηχανία, τις μεταφορές και άλλους τομείς και τη μεταφορά και διανομή υδρογόνου. Ξεκίνησε με 6 θεματικές στρογγυλές τράπεζες σε βασικούς τομείς παραγωγής, μεταφοράς και χρήσης υδρογόνου και δημοσίευσε έναν αγωγό έργου υδρογόνου τον Νοέμβριο του 2021. Φιλοξενεί επίσης τη «Συνεργασία Electrolyser» για να συγκεντρώσει κατασκευαστές και προμηθευτές εξαρτημάτων και υλικών για την επίτευξη συνδυασμένης ετήσιας παραγωγικής ικανότητας ηλεκτρολύτη 17,5 GW έως το 2025 στην Ευρώπη. **(European Commission 2022)**

### 3. Εφαρμογές του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα χωρών εκτός Ευρώπης

#### 3.1 Η εξάπλωση του υδρογόνου για ενεργειακή χρήση στη Μέση Ανατολή

Το υδρογόνο έχει γίνει ο βασικός άξονας των στρατηγικών μετάβασης της πράσινης ενέργειας σε πολλά μέρη του κόσμου. Ωστόσο, δεν υπάρχει ακόμη υποδομή που να μπορεί να φιλοξενήσει ευρεία χρήση υδρογόνου και τα ορυκτά καύσιμα παραμένουν η πιο κοινή πηγή ενέργειας για παραγωγή.



Notes: Bars indicate range between near- and long-term hydrogen production costs, which include a CO<sub>2</sub> price of \$ 25/t CO<sub>2</sub> in the near term and \$ 100/t CO<sub>2</sub> in the long term. For options from coal and natural gas, the higher value indicates the long-term costs (due to the increasing CO<sub>2</sub> price), whereas for hydrogen from renewable electricity the lower value indicates the long-term costs.

**Σχήμα 4:** Οι χώρες με πηγές υδρογονανθράκων και η δυνατότητα πρόσβασης σε καύσιμο χαμηλού κόστους με την παραγωγή υδρογόνου.



Οι συνεχώς αυξανόμενοι ρυθμοί αξιοποίησης του υδρογόνου ως ενεργειακό πόρο, απασχολεί όλο και περισσότερο τα κράτη. Το 2014, η Ιαπωνία υιοθέτησε έναν οδικό χάρτη για να γίνει μια «κοινωνία υδρογόνου». Στη δική της Εθνική Στρατηγική για το Υδρογόνο του 2019, η Αυστραλία περιέγραψε στόχους να γίνει σημαντικός παραγωγός και εξαγωγέας έως το 2030. Όπως προαναφέραμε το σχέδιο οικονομικής ανάκαμψης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το 2020 «NextGenerationEU» περιγράφει το υδρογόνο ως «επενδυτική προτεραιότητα για την τόνωση της οικονομικής ανάπτυξης και ανθεκτικότητας, τη δημιουργία τοπικών θέσεων εργασίας και την εδραίωση του υδρογόνου παγκόσμια ηγεσία της ΕΕ». Στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου το ενδιαφέρον της κυβέρνησης για τον πόρο ανάγεται στη δεκαετία του 1970, τον Ιούνιο του 2021 η υπουργός Ενέργειας Jennifer Granholm ξεκίνησε το πλαίσιο πολιτικής «Hydrogen Shot», το οποίο επιδιώκει να μειώσει το κόστος του καθαρού υδρογόνου κατά 80% σε μια δεκαετία. **(AMOT industries 2022)**.

Οι παραγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου της Μέσης Ανατολής έχουν επίσης ενταχθεί στην κούρσα του υδρογόνου. Τον Αύγουστο του 2020, η Σαουδική Αραβία ανακοίνωσε ένα εργοστάσιο υδρογόνου 5 δισεκατομμυρίων δολαρίων το μεγαλύτερο εργοστάσιο καθαρού υδρογόνου στον κόσμο μέχρι σήμερα. Στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, το Ντουμπάι σχεδιάζει να εγκαινιάσει την πρώτη μονάδα πράσινου υδρογόνου στην περιοχή με ηλιακή ενέργεια. Δίπλα, η αστυνομία του Άμπου Ντάμπι θέλει να μετατρέψει μέρος του στόλου των οχημάτων της σε κυψέλες καυσίμου τα επόμενα χρόνια. Το Ομάν σχεδιάζει επίσης έργα υδρογόνου μεγάλης κλίμακας.

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), η ζήτηση για υδρογόνο έχει τριπλασιαστεί περισσότερο από το 1975. Αυτός ο αριθμός αναμένεται να αυξηθεί πολύ πιο γρήγορα εάν επιτύχουν τα τρέχοντα σχέδια. Επιπλέον, το υδρογόνο θα μπορούσε να γίνει παγκόσμιο εμπορεύσιμο εμπόρευμα, ιδιαίτερα εάν γίνει σημαντική πηγή ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά ότι μόνο το καθαρό υδρογόνο θα μπορούσε να καλύψει το 24% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης έως το 2050, με ετήσιες πωλήσεις που κυμαίνονται στα 630 δισεκατομμύρια ευρώ. Αυτό, ωστόσο, θα ισοδυναμούσε με ένα κβαντικό άλμα. Η τρέχουσα χρήση του υδρογόνου

για ενεργειακούς σκοπούς εκτιμάται ότι είναι μεταξύ 1 και 2% της συνολικής κατανάλωσης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, είτε για την παραγωγή γκρι, είτε μπλε είτε πράσινου υδρογόνου, η Μέση Ανατολή φαίνεται να βρίσκεται σε πλεονέκτημα, αν και εξακολουθούν να υπάρχουν διαφορές στα ευρήματα. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τον ΔΟΕ, η Μέση Ανατολή έχει ένα σαφές πλεονέκτημα στην παραγωγή γκρι και μπλε υδρογόνου, δεδομένου των μεγάλων αποθεμάτων υδρογονανθράκων χαμηλού κόστους καθώς και των κατάλληλων γεωλογικών σχηματισμών για την αποθήκευση CO<sub>2</sub>. Ο οργανισμός υποστηρίζει ότι τα ορυκτά καύσιμα είναι το βασικό συστατικό παραγωγής υδρογόνου και ότι, βραχυπρόθεσμα, η παραγωγή υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα θα παραμείνει η πιο ανταγωνιστική από πλευράς κόστους επιλογή στις περισσότερες περιπτώσεις. Μια άλλη μελέτη της Strategy& διαπιστώνει ότι η Μέση Ανατολή είναι επίσης σε πλεονέκτημα όσον αφορά το πράσινο υδρογόνο χάρη στους τεράστιους πόρους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδιαίτερα την ηλιακή ενέργεια.

Εάν η Μέση Ανατολή πρόκειται να μετατραπεί σε προμηθευτή καθαρού υδρογόνου, τότε το μπλε υδρογόνο θα επιτρέψει στην περιοχή να κεφαλαιοποιήσει τα περιουσιακά της στοιχεία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αυτό, ωστόσο, δεν θα είναι φθηνό δεδομένου του πρόσθετου κόστους δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα μια τεχνολογία που εξακολουθεί να αναπτύσσεται. **(AMOT industries 2022).**

Λόγω της έλλειψης τεχνολογίας παραγωγής πράσινου υδρογόνου, φαίνεται να είναι το λιγότερο οικονομικά βιώσιμο. Το κόστος είναι τουλάχιστον τριπλάσιο από αυτό του μπλε υδρογόνου και η χρηματοδότηση θα ήταν ένα σοβαρό ζήτημα. Δεδομένης της σημαντικής εξάρτησης των κρατικών εσόδων από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο στην περιοχή, το πράσινο υδρογόνο, αν και η παραγωγή του δεν απαιτεί πετρέλαιο και φυσικό αέριο, θα πρέπει να χρηματοδοτείται από έσοδα από ορυκτά καύσιμα. Η ειρωνεία είναι ότι όσο πιο φιλόδοξα είναι τα πράσινα σχέδια της Μέσης Ανατολής, τόσο περισσότερα έσοδα από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο θα

χρειαστεί για να χρηματοδοτήσει αυτά τα σχέδια εάν η τρέχουσα οικονομική δομή παραμείνει σε ισχύ.

Είναι ενδιαφέρον ότι το Κατάρ, το οποίο βρίσκεται στα τρίτα μεγαλύτερα αποδεδειγμένα αποθέματα φυσικού αερίου στον κόσμο μετά τη Ρωσία και το Ιράν, ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα μέλη του Συμβουλίου Συνεργασίας του Κόλπου και έχει δηλώσει ανοιχτά ότι το υδρογόνο δεν είναι επί του παρόντος στην ατζέντα του. Σε συνέντευξη που δόθηκε στην S&P Platts τον Μάιο του 2020, ο Υπουργός Ενέργειας του Κατάρ Saad Sherida al-Kaabi, δήλωσε ότι το Κατάρ παρακολουθούσε τις εξελίξεις στην καθαρή ενέργεια, ιδιαίτερα στο υδρογόνο. Ωστόσο, προειδοποίησε επίσης ότι υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις χρηματοδότησης και τεχνολογίας πριν μπορέσουν να αναπτυχθούν τέτοιες λύσεις σε εμπορική κλίμακα.

Πράγματι, υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους το υδρογόνο ένα τόσο απλό και ευρέως διαθέσιμο στοιχείο δεν έχει καταλάβει τα παγκόσμια ενεργειακά συστήματα μέχρι σήμερα. Το κόστος είναι ίσως ο μεγαλύτερος παράγοντας. Η αβεβαιότητα για τη ζήτηση είναι άλλη. Μια ευρεία αλλαγή θα απαιτούσε επίσης την κατασκευή και την προσαρμογή μεγάλης κλίμακας υποδομών, καθώς και κανονιστικές αλλαγές. **(AMOT industries 2022).**

### 3.2 Η εξάπλωση του υδρογόνου για ενεργειακή χρήση στις ΗΠΑ

Σχεδόν όλο το υδρογόνο που καταναλώνεται στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία για τη διύλιση του πετρελαίου, την επεξεργασία μετάλλων, την παραγωγή λιπασμάτων και την επεξεργασία τροφίμων. Τα διυλιστήρια πετρελαίου των ΗΠΑ χρησιμοποιούν υδρογόνο για να μειώσουν την περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο. Η Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA) άρχισε να χρησιμοποιεί υγρό υδρογόνο τη δεκαετία του 1950 ως καύσιμο πυραύλων και η NASA ήταν μία από τις πρώτες που χρησιμοποίησε κυψέλες καυσίμου υδρογόνου για να τροφοδοτήσει τα ηλεκτρικά συστήματα στα διαστημικά σκάφη.



Εικόνα 1: Χρήση H<sub>2</sub> στην αεροναυτική και στις αποστολές διαστήματος

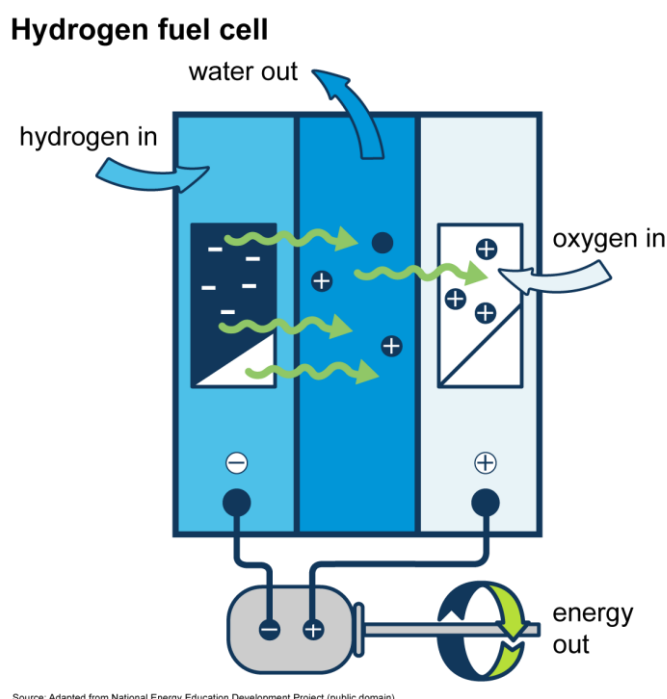
3.2.1 Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις ΗΠΑ.

Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου παράγουν ηλεκτρική ενέργεια συνδυάζοντας υδρογόνο και οξυγόνο. Το υδρογόνο αντιδρά με το οξυγόνο σε ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο παρόμοιο με αυτό μιας μπαταρίας για να παράγει ηλεκτρισμό, νερό και μικρές ποσότητες θερμότητας. Πολλοί διαφορετικοί τύποι κυψελών καυσίμου είναι διαθέσιμοι για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Οι μικρές κυψέλες καυσίμου μπορούν να τροφοδοτήσουν φορητούς υπολογιστές, ακόμη και κινητά τηλέφωνα, καθώς και στρατιωτικές εφαρμογές. Οι μεγάλες κυψέλες καυσίμου μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, να παρέχουν εφεδρική ή έκτακτη ισχύ σε κτίρια και να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε μέρη που δεν είναι συνδεδεμένα με δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. **(CAROLE NAKHLE June 2021).**

Στα τέλη Οκτωβρίου 2021, λειτουργούσαν περίπου 166 γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας με κυψέλες καυσίμου σε 113 εγκαταστάσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες με συνολική δυναμικότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περίπου 260 (MW). Η μεγαλύτερη μεμονωμένη κυψέλη καυσίμου είναι η Bridgerport (Connecticut) Fuel Cell, LLC με δυναμικότητα παραγωγής περίπου 16 MW. Οι επόμενες δύο μεγαλύτερες κυψέλες καυσίμου λειτουργίας έχουν 6 MW ισχύος παραγωγής. Ένα από αυτά

βρίσκεται στο Red Lion Energy Center στο Ντέλαγουερ, το οποίο διαθέτει άλλες πέντε μικρότερες κυψέλες καυσίμου για συνολική δυναμικότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένης εγκατάστασης 25 MW. Η πλειονότητα όλων των λειτουργικών κυψελών καυσίμου χρησιμοποιούν φυσικό αέριο αγωγών ως πηγή υδρογόνου, αλλά τρεις χρησιμοποιούν αέριο υγειονομικής ταφής και τρεις χρησιμοποιούν βιοαέριο από την επεξεργασία λυμάτων.

Το έργο San Diego Gas and Electric, power-to-gas-to power, θα χρησιμοποιήσει το ηλεκτρικό δίκτυο για την παραγωγή υδρογόνου με ηλεκτρόλυση και τη χρήση του σε κυψέλη καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 5: Χρήση υδρογόνου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω κυψελών καυσίμου.

Το ενδιαφέρον για τη χρήση υδρογόνου ως καύσιμο σταθμών παραγωγής ενέργειας αυξάνεται. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, αρκετοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής έχουν ανακοινώσει σχέδια να λειτουργήσουν με μείγμα καυσίμου φυσικού αερίου-υδρογόνου σε αεριοστρόβιλους καύσης. Ένα παράδειγμα είναι η 485 MW Long Ridge Energy Generation Project στο Οχάιο με τουρμπίνα καύσης αερίου που θα λειτουργεί με μείγμα 95% φυσικού αερίου και 5% καυσίμου υδρογόνου σε αεριοστρόβιλο με

σχέδιο να χρησιμοποιήσει τελικά 100% πράσινο υδρογόνο παράγονται από ανανεώσιμες πηγές. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η προγραμματισμένη μετατροπή της Intermountain Power Agency μιας υπάρχουσας μονάδας παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα στη Γιούτα σε μια εγκατάσταση συνδυασμένου κύκλου με αέριο που θα χρησιμοποιούσε αρχικά έως και 30% υδρογόνο και τελικά θα χρησιμοποιούσε 100% πράσινο υδρογόνο. **(CAROLE NAKHLE June 2021)**

### 3.2.2 Χρήση υδρογόνου στα οχήματα

Το υδρογόνο θεωρείται εναλλακτικό καύσιμο οχημάτων σύμφωνα με τον Νόμο για την Ενεργειακή Πολιτική του 1992. Το ενδιαφέρον για το υδρογόνο ως εναλλακτικό καύσιμο μεταφοράς πηγάζει από την ικανότητά του να τροφοδοτεί κυψέλες καυσίμου σε οχήματα μηδενικών εκπομπών (οχήματα χωρίς εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων), εγχώρια παραγωγή και τη δυνατότητα της κυψέλης καυσίμου για υψηλή απόδοση. Μια κυψέλη καυσίμου μπορεί να είναι δύο έως τρεις φορές πιο αποδοτική από έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης που λειτουργεί με βενζίνη. Το υδρογόνο μπορεί επίσης να τροφοδοτήσει κινητήρες εσωτερικής καύσης, αλλά η καύση υδρογόνου έχει ως αποτέλεσμα εκπομπές οξειδίων του αζώτου και είναι λιγότερο αποδοτική από τη χρήση σε κυψέλες καυσίμου. Αρκετοί κατασκευαστές οχημάτων διαθέτουν οχήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου ελαφρού τύπου διαθέσιμα προς μίσθωση ή πώληση στην Καλιφόρνια όπου υπάρχουν δημόσιοι σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου. Τα οχήματα δοκιμής είναι επίσης διαθέσιμα σε περιορισμένο αριθμό σε οργανισμούς με πρόσβαση σε σταθμούς ανεφοδιασμού υδρογόνου.

Το υψηλό κόστος των κυψελών καυσίμου και η περιορισμένη διαθεσιμότητα σταθμών ανεφοδιασμού οχημάτων υδρογόνου έχουν περιορίσει τον αριθμό των οχημάτων με υδρογόνο που χρησιμοποιούνται σήμερα. Η παραγωγή οχημάτων με υδρογόνο είναι περιορισμένη επειδή οι άνθρωποι δεν θα αγοράσουν αυτά τα οχήματα εάν οι σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου δεν είναι εύκολα προσβάσιμοι και οι εταιρείες δεν θα κατασκευάσουν σταθμούς ανεφοδιασμού εάν δεν έχουν

πελάτες με οχήματα με καύσιμα υδρογόνου. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, υπάρχουν περίπου 48 σταθμοί ανεφοδιασμού οχημάτων υδρογόνου και σχεδόν όλοι βρίσκονται στην Καλιφόρνια. Το Πρόγραμμα Καθαρών Μεταφορών της Πολιτείας της Καλιφόρνια περιλαμβάνει βοήθεια για τη δημιουργία δημόσιας πρόσβασης σταθμών ανεφοδιασμού οχημάτων υδρογόνου σε όλη την Καλιφόρνια για την προώθηση μιας καταναλωτικής αγοράς για οχήματα κυψελών καυσίμου μηδενικών εκπομπών. **(CAROLE NAKHLE June 2021).**

### 3.3 Η εξάπλωση του υδρογόνου για ενεργειακή χρήση στη Ρωσία

#### 3.3.1 Η στρατηγική της Ρωσίας για την ενεργειακή αξιοποίηση του υδρογόνου.

Πρωταρχικός στόχος της Ρωσίας είναι να γίνει παγκοσμίως κορυφαίος παραγωγός και εξαγωγέας ενέργειας υδρογόνου. Οι επίσημοι στόχοι της είναι να εξάγει 0,2 εκατομμύρια μετρικούς τόνους έως το 2024 και 2 εκατομμύρια έως το 2035. Ως ένας από τους σημαντικότερους παραγωγούς υδρογονανθράκων, η Ρωσία επιδιώκει να κεφαλαιοποιήσει την τρέχουσα υποδομή και τις τεχνικές δυνάμεις της για να διαχειριστεί τους σημαντικούς κινδύνους που αντιμετωπίζει, καθώς πολλοί από τους πελάτες της εργάζονται για την απαλλαγή των οικονομιών τους από τον άνθρακα.

Η Ρωσία αντιμετωπίζει τους ενεργειακούς πόρους της, τη μεγάλη και ώριμη βιομηχανία φυσικού αερίου και την επιστημονική/ακαδημαϊκή της τεχνογνωσία ως κατάλληλα πλεονεκτήματα για να γίνει παγκόσμιος ηγέτης στο υδρογόνο. Πολλά από τα τρέχοντα στρατηγικά έγγραφα της Ρωσίας αποτελούν ουσιαστικά εκκλήσεις για δράση. Η Ρωσία δεν έχει ακόμη καθορίσει σταθερά τις προτεραιότητες, τη σκοπιμότητα και τα πραγματικά βήματα που απαιτούνται για την ανάπτυξη του τομέα υδρογόνου.

Τον Ιούνιο του 2020, η Ρωσική Ομοσπονδία δημοσίευσε την Ενεργειακή Στρατηγική της έως το 2035. Αυτό το έγγραφο περιγράφει τα γενικά, μεσοπρόθεσμα σχέδια της Ρωσίας για τον ενεργειακό της τομέα, ένα ζωτικό τμήμα της οικονομίας της. Η στρατηγική περιλαμβάνει μια ευρεία επισκόπηση του σχεδίου της για το υδρογόνο: εξαγωγή 0,2 εκατομμυρίων μετρικών τόνων υδρογόνου έως το 2024 και 2

εκατομμυρίων τόνων έως το 2035. Στο πλαίσιο αυτό, η παγκόσμια παραγωγή υδρογόνου ήταν περίπου 70 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι το 2019. (NASA 2021). Η στρατηγική της Ρωσίας για το υδρογόνο ενισχύθηκε περαιτέρω με την έκδοση του Οδικού Χάρτη για την Ανάπτυξη του Υδρογόνου τον Οκτώβριο του 2020 έως το 2024. Το έγγραφο περιγράφει, ακόμη σε γενικές γραμμές αλλά με ορισμένες λεπτομέρειες, ένα πολυετές σχέδιο δράσης για την ανάπτυξη ενός τομέα ενέργειας υδρογόνου στη Ρωσία. Η πιο πρόσφατη και πιο λεπτομερής έκδοση της ρωσικής κυβέρνησης, η έννοια για την ανάπτυξη της ενέργειας υδρογόνου στη Ρωσία (Αύγουστος 2021), είναι το πρώτο βήμα στο μακροσκελές σχέδιο δράσης που περιγράφεται στον οδικό χάρτη.

Η ενεργειακή στρατηγική της Ρωσίας ορίζει δύο γενικούς στόχους: (1) την αύξηση της κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης και (2) τη διατήρηση μιας κυρίαρχης θέσης στην παγκόσμια ενέργεια. Η στρατηγική που περιγράφεται στο έγγραφο περιλαμβάνει δομική διαφοροποίηση, διπλασιασμό της εγχώριας υποδομής ενέργειας ορυκτών καυσίμων σε βασικές περιοχές, αυξανόμενη παρουσία της Ρωσίας στις αγορές Ασίας-Ειρηνικού και μη δεσμευτικές εκκλήσεις για δράση για το κλίμα. Η Ρωσία πιστεύει ότι έχει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στο υδρογόνο λόγω των τεράστιων πόρων ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με μια παγκόσμια, ώριμη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο είναι σήμερα η κυρίαρχη πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας υδρογόνου παγκοσμίως. Η Ρωσία παραμένει ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός παγκοσμίως, ένα δυνητικό όφελος από την άποψη της ανταγωνιστικότητας κόστους. Επιπλέον, η συμβατική σοφία κατατάσσει τον τομέα του πετρελαίου και του φυσικού αερίου (και το εργατικό του δυναμικό) μεταξύ των υψηλότερων όσον αφορά τις μεταβιβάσιμες δεξιότητες για την παραγωγή ενέργειας υδρογόνου. Ο οδικός χάρτης απαριθμεί επίσης την ήδη υπάρχουσα τεχνογνωσία της Ρωσίας στα καύσιμα υδρογόνου στην παραγωγή, τη μεταφορά και την αποθήκευση.

Η στρατηγική της Ρωσίας για το υδρογόνο δεν βασίζεται αποκλειστικά στις δυνάμεις της χώρας. Όλα τα έγγραφα στρατηγικής αναγνωρίζουν την αλλαγή της παγκόσμιας ζήτησης ενόψει της ενεργειακής μετάβασης και η στρατηγική της Ρωσίας για το υδρογόνο είναι ξεκάθαρα μια προσπάθεια προσαρμογής. Ως σημαντικός



παραγωγός υδρογονανθράκων, η Ρωσία αντιμετωπίζει επίσης αυξητικούς κινδύνους σε μια απανθρακοποιημένη παγκόσμια οικονομία. Τόσο η ιδέα όσο και ο οδικός χάρτης υπογραμμίζουν τις αμυντικές πτυχές των σχεδίων της Ρωσίας, με νεύματα στην κλιματική αλλαγή, την παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση και την αυξανόμενη ζήτηση για προϊόντα χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Μια ποικιλία από στοιχεία/τακτικές δράσης που αναφέρονται στα έγγραφα αποδεικνύουν την αναγνώριση ότι οι εκπομπές από τη μελλοντική παραγωγή καυσίμου υδρογόνου ενδέχεται να ελέγχονται περισσότερο από ξένους αγοραστές. Για παράδειγμα, η στρατηγική της Ρωσίας περιγράφει ρητά τη δημιουργία χαμηλών εκπομπών άνθρακα, εξαγωγικές εγκαταστάσεις παραγωγής υδρογόνου στο βορειοδυτικό σύμπλεγμα, με προσανατολισμό στη ζήτηση χαμηλών εκπομπών άνθρακα από την Ευρώπη. Αν και δεν είναι σαφές πόση προσπάθεια θα καταβληθεί για το πράσινο υδρογόνο, αναφέρεται πολλές φορές τόσο στον οδικό χάρτη όσο και στην ιδέα ως πιθανή προτεραιότητα. **(NASA 2021)**.

### 3.3.2. Στρατηγική της Ρωσίας για το υδρογόνο

Η ιδέα περιγράφει τρεις φάσεις ανάπτυξης:

**Στάδιο 1 (2021–2024):** Να προσεγγίσει τους 0,2 εκατομμύρια μετρικούς τόνους εξαγωγών δημιουργώντας συστάδες υδρογόνου και ένα ερευνητικό οικοσύστημα, αναπτύσσοντας τεχνολογίες και κατασκευή βιομηχανικών προϊόντων για υδρογόνο, εφαρμόζοντας πιλοτικά έργα και δημιουργώντας εγχώρια ζήτηση για υδρογόνο.

**Στάδιο 2 (2025–2035):** Να προσεγγίσει τους 2 εκατομμύρια μετρικούς τόνους εξαγωγών ξεκινώντας εμπορικά έργα για την παραγωγή υδρογόνου, ιδιαίτερα μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής με εξαγωγικό προσανατολισμό. Συνέχιση της επέκτασης και της ενσωμάτωσης της ενέργειας υδρογόνου στην εγχώρια αγορά. Κλιμακώστε την παραγωγή και την εξαγωγή εξοπλισμού υδρογόνου εγχώριας παραγωγής.

**Στάδιο 3 (2036–2050):** Να καταστεί ο σημαντικότερος παίκτης σε μια παγκόσμια αγορά ενέργειας υδρογόνου σε μεγάλη κλίμακα. Εξάγοντας 15–50 εκατομμύρια μετρικούς τόνους στην παγκόσμια αγορά έως το 2050.

Η ουσία της στρατηγικής φαίνεται να βρίσκεται στην ανάπτυξη κυψελών καυσίμου υδρογόνου. Τα στρατηγικά έγγραφα έχουν αποφύγει μέχρι στιγμής να ορίσουν αυτές τις ομάδες. Πέρα από τις συναγόμενες εξαγωγικές και παραγωγικές εγκαταστάσεις και τη ρητή αναφορά μόχλευσης πανεπιστημιακών συστημάτων, δεν είναι σαφές ποια άλλα ιδρύματα και εγκαταστάσεις που αναφέρονται θα αποτελούν μέρος αυτών των ομάδων.

Εκτός από αυτές τις ομάδες, η ιδέα είναι περισσότερο ένα σχέδιο τακτικών παρά ένα συνεκτικό σύνολο κατευθυντήριων αρχών, στόχων ή οδηγιών. Υπάρχει ελάχιστα η αίσθηση της προτεραιότητας.

Ο οδικός χάρτης προσφέρει περισσότερη δομή, συμπεριλαμβανομένων διακριτών βημάτων και χρονοδιαγραμμάτων για διάφορες πτυχές της στρατηγικής. Οι οκτώ πτυχές περιλαμβάνουν στρατηγικό σχεδιασμό, κρατική υποστήριξη, παραγωγική ικανότητα, πιλοτικά έργα, έρευνα και ανάπτυξη, ρυθμιστική ανάπτυξη, ανάπτυξη εργατικού δυναμικού και διεθνή δέσμευση. Λαμβάνοντας αυτό υπ' όψη, τα χρονοδιαγράμματα του οδικού χάρτη φτάνουν μόνο στο 2024 και μεγάλο μέρος του εγγράφου είναι ουσιαστικά μια εισαγωγή για να γίνει ένα σχέδιο. Τα περισσότερα βήματα απαιτούν απλώς από τις κρατικές οντότητες να αναφέρουν διάφορες γενικές πτυχές της στρατηγικής (π.χ. η κατάσταση του εργατικού δυναμικού).

Σύμφωνα με την ιδέα, η Ρωσία σχεδιάζει να δημιουργήσει τρεις κόμβους υδρογόνου ένα βορειοδυτικό, ένα ανατολικό και ένα στην Αρκτική. Το έγγραφο αφήνει επίσης τη δυνατότητα για ένα τέταρτο νότιο σύμπλεγμα. Τα βορειοδυτικά και ανατολικά σμήνη ανταποκρίνονται άμεσα στα αναμενόμενα κέντρα ζήτησης για υδρογόνο. Η Ρωσία σκοπεύει να χρησιμοποιήσει το βορειοδυτικό σύμπλεγμα για εξαγωγές στις ευρωπαϊκές αγορές με το βλέμμα προς τα προϊόντα χαμηλών εκπομπών άνθρακα (και, θεωρητικά, μηδενικού άνθρακα) και το ανατολικό σύμπλεγμα για εξαγωγές στις ασιατικές αγορές. Το αρκτικό σύμπλεγμα ευθυγραμμίζεται με την προσφορά. Το σύμπλεγμα πιθανότατα θα αντιστοιχεί στην ανάπτυξη νέων πόρων φυσικού αερίου. Αυτό το σύμπλεγμα εντάσσεται επίσης στο ευρύτερο στρατηγικό συμφέρον της Ρωσίας για τη διατήρηση μιας ισχυρής οικονομικής (και στρατιωτικής) παρουσίας στην Αρκτική. (Ένα νότιο σύμπλεγμα θα

εξαρτηθεί πιθανώς από την αύξηση της ζήτησης για καύσιμο υδρογόνου, αλλά η ιδέα προσφέρει λίγα σε αυτό, γεωγραφικά ή διαφορετικά.)

Με βάση την τρέχουσα οικονομική πραγματικότητα και την πραγματικότητα των υποδομών, μπορεί κανείς να συμπεράνει πιθανούς υποψηφίους για τα βορειοδυτικά, τα ανατολικά και τα αρκτικά συμπλέγματα: την Περιφέρεια Λένινγκραντ, την περιοχή Primorsky και την Αυτόνομη Περιφέρεια Yamalo-Nenets, αντίστοιχα. Η ιδέα αναφέρει επίσης τη δημιουργία ενός εγχώριου ερευνητικού οικοσυστήματος και τοπικών και περιφερειακών αγορών—η δημιουργία εγχώριας ζήτησης και οι κόμβοι έρευνας αναφέρονται σε όλη τη στρατηγική. Ωστόσο, πέρα από τα συμπλέγματα και τις αστικές μεταφορές με καύσιμα υδρογόνου, η γεωγραφική εικόνα για το ερευνητικό οικοσύστημα της Ρωσίας και την εγχώρια ζήτηση παραμένει ασαφής. **(NASA 2021)**

### 3.4 Η ανάπτυξη τεχνολογιών του υδρογόνου στη Κίνα

Η κινεζική κυβέρνηση έχει προσδιορίσει την ενέργεια υδρογόνου ως μία από τις έξι βιομηχανίες του μέλλοντος και πρόσφατα δημοσίευσε σχέδια που υπογραμμίζουν τη σημασία της τόσο για την ενέργεια όσο και για τη βιομηχανική ανάπτυξη. Η Κίνα είναι ήδη ο μεγαλύτερος προμηθευτής υδρογόνου στον κόσμο, παράγοντας περίπου 25 εκατομμύρια τόνους υδρογόνου - το ένα τέταρτο της παγκόσμιας παραγωγής. Η China Hydrogen Alliance προβλέπει ότι η ζήτηση υδρογόνου της Κίνας θα φτάσει τους 35 εκατομμύρια τόνους έως το 2030, αντιπροσωπεύοντας τουλάχιστον το 5% του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας, πριν αυξηθεί σε 60 εκατομμύρια τόνους και 10 τρις εκατό έως το 2050 και 100 εκατομμύρια τόνους και 20 τρις εκατό έως το 2060. Ο όμιλος αναμένει ότι η αξία παραγωγής του κλάδου θα φτάσει το 1 τρισεκατομμύριο RMB (157,44 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ) σε αξία ήδη από το 2025. **[Ian Barlow & Nikos Tsafos 2021]**

Ωστόσο, ενώ η Κίνα επενδύει σε μεγάλο βαθμό στην ενέργεια υδρογόνου, η κριτική επιτροπή εξακολουθεί να μην εξετάζει εάν θα εκπληρώσει την υπόσχεσή της ως πηγή πράσινης ενέργειας κατάλληλη για μαζική υιοθέτηση. Δεδομένης αυτής της έντασης, τι επιφυλάσσει η βιομηχανία ενέργειας υδρογόνου στην Κίνα;

#### 3.4.1 Τα μεσοπρόθεσμα σχέδια της Κίνας για την ανάπτυξη ενέργειας υδρογόνου

Στο μέλλον, η κινεζική κυβέρνηση έχει δημοσιεύσει σχέδια για την παραγωγή περισσότερου υδρογόνου και για την κάλυψη αυτής της αυξανόμενης ζήτησης με πιο πράσινη παραγωγή. Η σημασία που δίνουν οι Κινέζοι ηγέτες στην ενέργεια υδρογόνου μπορεί να φανεί από την εξέχουσα θέση της στο 14ο Πενταετές Σχέδιο, το οποίο διέπει την αναπτυξιακή κατεύθυνση της χώρας για την περίοδο 2021-2025. Οι σχεδιαστές πολιτικής έχουν κατατάξει τη βιομηχανία υδρογόνου ως συνοριακή περιοχή και μία από τις έξι βιομηχανίες της Κίνας του μέλλοντος, εν μέρει λόγω του ρόλου της στη δέσμευση της Κίνας να γίνει ουδέτερη από τον άνθρακα πριν από το 2060.

Η ανάπτυξη της βιομηχανίας υδρογόνου εντάσσεται στην ευρύτερη ενεργειακή στρατηγική της Κίνας. Στις 22 Μαρτίου 2022, η Εθνική Επιτροπή Ανάπτυξης και Μεταρρυθμίσεων και η Εθνική Διοίκηση Ενέργειας κυκλοφόρησαν από κοινού το 14ο Πενταετές Σχέδιο για ένα Σύγχρονο Ενεργειακό Σύστημα. Αυτό το σχέδιο στοχεύει στην Κίνα να εξασφαλίσει τον ενεργειακό εφοδιασμό της, να επιταχύνει τις προσπάθειες απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές και να υιοθετήσει πιο αποτελεσματικές πρακτικές χρήσης ενέργειας έως το 2025 – και η ενέργεια υδρογόνου πρόκειται να διαδραματίσει βασικό ρόλο.

#### 3.4.2. Η πολιτική προώθησης της Κίνας του υδρογόνου για τη βιομηχανική ενεργειακή εφαρμογή του.

Εκτός από τα σχέδια για την αύξηση της παραγωγής και της υιοθέτησης ενέργειας από υδρογόνο, η κινεζική κυβέρνηση έχει δημοσιεύσει σχέδια για να ενθαρρύνει τη βιομηχανική εφαρμογή της ενέργειας υδρογόνου. Στις 23 Μαρτίου 2022, η Εθνική Επιτροπή Ανάπτυξης και Μεταρρυθμίσεων δημοσίευσε το Μεσοπρόθεσμο και Μακροπρόθεσμο Σχέδιο για την Ανάπτυξη της Βιομηχανίας Ενέργειας Υδρογόνου (2021-2035). Αυτό το σχέδιο καθορίζει μια εθνική στρατηγική για την ανάπτυξη της βιομηχανίας ενέργειας υδρογόνου, συμπληρώνοντας τα τοπικά σχέδια που έχουν δημιουργηθεί από μια σειρά επαρχιών και πόλεων για την

ανάπτυξη της βιομηχανίας. Σύμφωνα με το σχέδιο, η Κίνα θα πρέπει να δημιουργήσει ένα υγιές περιβάλλον για την ανάπτυξη της ενέργειας υδρογόνου με συστήματα και πολιτικές μέχρι το 2025. Μέχρι το 2035, η Κίνα θα πρέπει να δημιουργήσει ένα βιομηχανικό σύστημα για την ενέργεια υδρογόνου και ένα σύστημα για την εφαρμογή ενέργειας υδρογόνου, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών και αποθήκευση ενέργειας.

Η ενέργεια υδρογόνου επηρεάζει επίσης τα σχέδια της Κίνας για μια σειρά άλλων βιομηχανιών, όπως τα νέα ενεργειακά οχήματα (NEV). Για παράδειγμα, το Σχέδιο Ανάπτυξης Νέας Ενεργειακής Βιομηχανίας Οχημάτων προβλέπει ότι η χωρητικότητα του σταθμού ανεφοδιασμού υδρογόνου (HRS) θα αυξηθεί από 72 μονάδες στα μέσα του 2020 σε 2.000 μονάδες έως το 2035, αποδεικνύοντας τη στενή σχέση μεταξύ της ανάπτυξης ενέργειας υδρογόνου και της ανάπτυξης NEV. **(Ian Barlow & Nikos Tsafos 2021)**. Η επένδυση στην πράσινη ενέργεια στην Κίνα προσφέρει σημαντικές, αλλά συχνά δύσκολο να αξιοποιηθούν, ευκαιρίες. Από τη μία πλευρά, η Κίνα έχει φιλόδοξα σχέδια να απελευθερώσει τον άνθρακα και να γίνει παγκόσμιος ηγέτης στην πράσινη τεχνολογία, οδηγώντας σε πολυάριθμες επενδύσεις και κίνητρα για την ανάπτυξη σχετικών βιομηχανιών. Από την άλλη πλευρά, η ενέργεια κυριαρχείται παραδοσιακά από κρατικές επιχειρήσεις, πολλές εγχώριες εταιρείες λαμβάνουν επιδοτήσεις που υπονομεύουν τον ξένο ανταγωνισμό και οι στόχοι της κυβέρνησης για ενεργειακή ασφάλεια κινδυνεύουν να αυξήσουν τον σκεπτικισμό της εξάρτησης από ξένους προμηθευτές.

Εκτός από την παραγωγή, αποθήκευση και μεταφορά ενέργειας υδρογόνου, πολλές ευκαιρίες για ξένους επενδυτές θα έρθουν με τη μορφή εφαρμογής, όπως σε κυψέλες καυσίμου υδρογόνου. Το 2020, για παράδειγμα, η ιαπωνική εταιρεία αυτοκινήτων Toyota δημιούργησε μια κοινοπραξία με την κινεζική εταιρεία κατασκευής κυψελών καυσίμου υδρογόνου Beijing SinoHytec για την κατασκευή κυψελών καυσίμου για την κινεζική αγορά. Υπό το πρίσμα των προκλήσεων της βιομηχανίας ενέργειας υδρογόνου, οι ξένοι επενδυτές πρέπει να είναι στρατηγικοί όταν εισέρχονται στην Κίνα, όπως με τη συνεργασία με τοπικές εταιρείες για να αποκτήσουν πρόσβαση στην αγορά.

Όπως και σε άλλους τομείς όπου η Κίνα επιδιώκει να υιοθετήσει προηγμένη τεχνολογία, οι επιχειρήσεις πρέπει να βαδίσουν τη γραμμή μεταξύ της προσφοράς τεχνολογίας υψηλής ζήτησης και τεχνογνωσίας, ενώ ταυτόχρονα προστατεύουν την πνευματική ιδιοκτησία και την κατάσταση της αγοράς, καθιστώντας ακόμη πιο σημαντική την ταυτοποίηση των εταίρων και την προεπενδυτική στρατηγική. **(Ian Barlow & Nikos Tsafos 2021)**

## 4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΛΛΑΔΑΣ

### 4.1 Αναλυτική περιγραφή ενεργειακής κατάστασης της Ελλάδας σήμερα

Υπάρχει ρητή υποχρέωση μέχρι το 2050, όλες οι χώρες της Ε.Ε. και η χώρα μας, να μηδενίσουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Αυτό σημαίνει ότι η Ε.Ε. θα καταστεί "κλιματικά ουδέτερη". Όμως 27 χρόνια πριν από αυτό το χρονόσημο ο ενεργειακός τομέας στην Ε.Ε. θεωρείται υπεύθυνος για το 40% των αέριων εκπομπών. Αυτό σημαίνει ότι από τους 96,1 εκατ. τόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> που εξέπεμπε η Ελλάδα το 2018, οι 38,3 εκατ. προέρχονταν από τον ενεργειακό τομέα. Η ποσότητα φανταζει τεράστια και είναι αναλογικά μεγαλύτερη (λαμβανομένης υπόψη της οικονομίας της χώρας μας) από αυτή που εκπέμπουν άλλες χώρες της Ε.Ε. όπως η Πορτογαλία ή η Ουγγαρία. Για να δούμε την εξέλιξη της περιστολής εκπομπών αερίων θερμοκηπίου να αναφέρουμε ότι το 1990 η χώρα μας εξέπεμπε 105,8 μεγατόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, το 2005, τη χειρότερη χρονιά, 139,1 και το 2050 θα πρέπει να μηδενίσει.

Ο τρόπος που θα επιτευχθεί αυτή η ενεργειακή μετάβαση είναι δύσκολος και πέρα από το αμιγώς περιβαλλοντικό πρόβλημα θα δώσει ταυτόχρονα λύσεις και για άλλα ζητήματα όπως η αποδοτικότητα του ενεργειακού τομέα, η αναβάθμιση των υποδομών και των υπηρεσιών και η επίτευξη της μέγιστης δυνατής ενεργειακής ασφάλειας. **(Alexander Brown & Nils Grünberg 2022)**

#### 4.1.2 Ενέργεια και ελληνική οικονομία

Η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας συνδέονται προφανώς στενά με την οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική πρόοδο κάθε χώρας. Είναι συνάρτηση

του παραγωγικού μοντέλου που ακολουθεί κάθε χώρα, τη βιομηχανική της ανάπτυξη, και τις πολιτικές στρατηγικές για καλύτερη ποιότητα ζωής των πολιτών.

Ο τομέας της ενέργειας συνεισφέρει άμεσα στην προστιθέμενη αξία της οικονομίας σε όλες τις εκφάνσεις της αλυσίδας παραγωγής και εφοδιασμού ενέργειας καθώς και των κλάδων που συνδέονται με τον ενεργειακό τομέα. Επίσης έχει ευρύτερη επιρροή στην οικονομία, με τον καθορισμό των τιμών των ενεργειακών προϊόντων, που μετακυλιώνται σε όλους τους τομείς των οικονομικών δραστηριοτήτων.

Η άμεση συμβολή του ενεργειακού τομέα στην ελληνική οικονομία εκτιμάται στο 3,8% του ΑΕΠ (2017), ενώ ο τομέας δίνει δουλειά σε περίπου 50.000 ανθρώπους, οι περισσότεροι εκ των οποίων απασχολούνται στο (χονδρικό και λιανικό) εμπόριο καυσίμων. Αν συνυπολογίσουμε και τους κλάδους που συνδέονται στενά με τον ενεργειακό, εκτιμάται ότι η ευρύτερη συνεισφορά του (ειδικότερα στην απασχόληση) είναι πολλαπλάσια. Σχεδόν το 1/3 των ελληνικών εξαγωγών προϊόντων είναι εξαγωγές ενεργειακών προϊόντων. Πρόκειται σχεδόν αποκλειστικά για προϊόντα πετρελαίου από τα ελληνικά διυλιστήρια.

Το αρνητικό για την χώρα μας είναι ότι αποτελεί κυρίως εισαγωγέα ενέργειας με κύρια προϊόντα το αργό πετρέλαιο, το οποίο εισάγεται από το Ιράκ, το Καζακστάν, τη Ρωσία και άλλες χώρες, και το περισσότερο από το οποίο επανεξάγεται μετά την επεξεργασία του στα ελληνικά διυλιστήρια. Γενικά, η αξία των ενεργειακών προϊόντων που εισάγουμε είναι μεγαλύτερη από αυτών που εξάγουμε (15 δισ. ευρώ έναντι 10,7 δισ. το 2019).

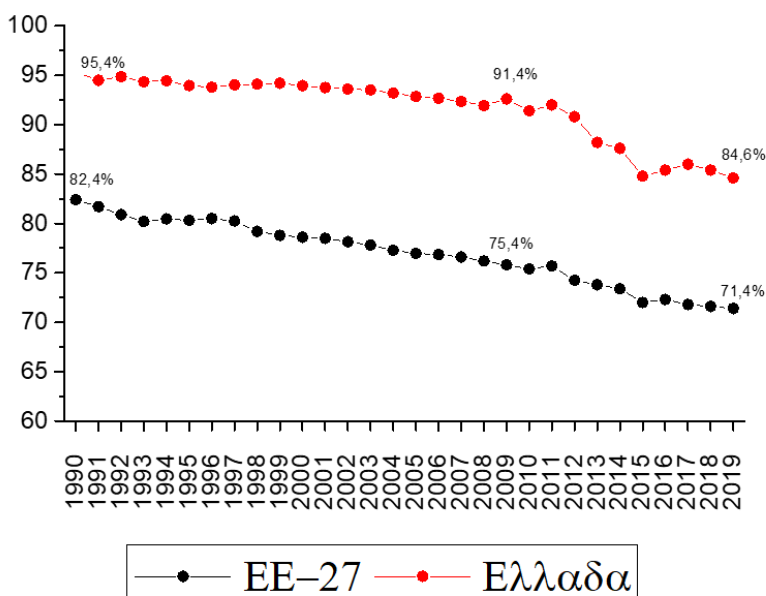
Αξίζει δε να αναφέρουμε ότι ο κλάδος της ενέργειας έχει πολύ μεγάλη σημασία και για τα δημόσια έσοδα. Το 64% της τιμής της αμόλυβδης βενζίνης είναι δασμοί ή φόροι, για παράδειγμα. Τα έσοδα από τους ειδικούς φόρους στην ενέργεια έφταναν το 3% του ΑΕΠ το 2019, έναντι 1,8% που είναι ο ευρωπαϊκός μέσος όρος. Αυτό, μάλιστα είναι κάτι που άλλαξε από το 2010 και την αρχή της κρίσης και μετά.

**(Alexander Brown & Nils Grünberg 2022)**

Υπάρχουν τρία βασικά χαρακτηριστικά του ενεργειακού τομέα στη χώρα μας:

α) Σήμερα η Ελλάδα παραμένει μια οικονομία που στηρίζεται στα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) και έχει μεγάλη εξάρτηση από εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας.

Ποσοστό (%) Ορυκτών καυσίμων στην Ακαθάριστη Διαθέσιμη Ενέργεια



Σχήμα 6: Διάγραμμα που δείχνει το % ποσοστό ορυκτών καυσίμων στην Ακαθάριστη Διαθέσιμη Ενέργεια.

β) Το 36,7% της ενέργειας που παράγεται στη χώρα καταναλώνεται για μεταφορές, το 24,3% για οικιακή κατανάλωση, το 22,8% στη βιομηχανία και το 13% στο εμπόριο και τις υπηρεσίες.

Πίνακας. Ακαθάριστη διαθέσιμη ενέργεια ανά πηγή στην Ελλάδα, 2018 (%)

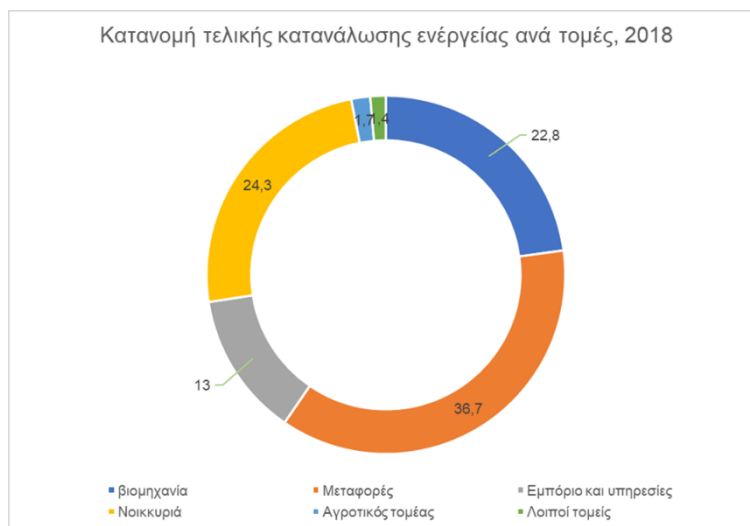
<p><b>Βιομάζα, Βιοκαύσιμα 5,1%</b> ΑΠΕ Θέρμανση, Ηλεκτρισμός, Μεταφορές</p>	<p><b>Πετρέλαιο 47,6%</b> Μη ανανεώσιμη πηγή Θέρμανση, Ηλεκτρισμός, Μεταφορές</p>
<p><b>Υδροηλεκτρικά 2,1%</b> ΑΠΕ Ηλεκτρισμός</p>	<p><b>Φυσικό Αέριο 17,4%</b> Μη ανανεώσιμη πηγή Θέρμανση, Ηλεκτρισμός, Μεταφορές</p>
<p><b>Αιολική 2,3%</b> ΑΠΕ Ηλεκτρισμός</p>	<p><b>Ανθρακας 19,3%</b> Μη ανανεώσιμη πηγή Θέρμανση, Ηλεκτρισμός, Μεταφορές</p>
<p><b>Ηλιακή 2,6%</b> ΑΠΕ Θέρμανση, Ηλεκτρισμός, Φωτισμός</p>	<p><b>Ηλεκτρική Ενέργεια 2,4%</b> Ενεργειακός φορέας Καθαρές εισαγωγές</p>
<p><b>Θερμότητα (Αντλίες) και λοιπές ΑΠΕ 1,4%</b> ΑΠΕ Θέρμανση</p>	

Πηγή: Eurostat. Ανάλυση IOBE.

Πίνακας 2: Τα ποσοστά των διάφορων μορφών ενέργειας στην Ελλάδα



γ) Τα βασικά προβλήματα του τομέα ξεκινούν από τις ελλείψεις στις υποδομές και το κόστος της ενέργειας και φτάνουν μέχρι τους ιλιγγιώδεις ανεξόφλητους λογαριασμούς της ΔΕΗ (περίπου 2,7 δισ. ευρώ το 2019).



Σχήμα 7: Τα ποσοστά % της κατανάλωσης ενέργειας ανά οικονομικό τομέα

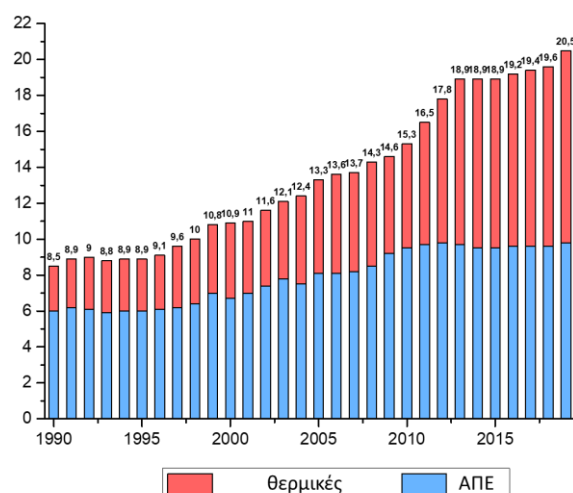
#### Πίνακας. Χαρακτηριστικά και αδυναμίες του ενεργειακού τομέα στην Ελλάδα

<b>Γενικά</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Υψηλή ενεργειακή εξάρτηση.</li> <li>Υψηλή εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα.</li> </ul>
<b>Τομέας ηλεκτρισμού</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δομικές ανισορροπίες και σχετικά υψηλή συγκέντρωση, ιδίως στον τομέα προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας.</li> <li>Περιορισμένος ανταγωνισμός λόγω έλλειψης πρόσβασης των νεοεισερχόμενων σε πρωτογενείς πηγές ενέργειας χαμηλού κόστους.</li> <li>Υψηλό κόστος ενέργειας στην αγορά χονδρικής.</li> <li>Ασθενής σύνδεση της αγοράς χονδρικής με την αγορά λιανικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας.</li> <li>Μεγάλα ποσά ληξιπρόθεσμων οφειλών στη ΔΕΗ Α.Ε. και σχετικά χαμηλός ρυθμός είσπραξης ανεξόφλητων λογαριασμών.</li> </ul>
<b>Ενεργειακές υποδομές</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Οι διασυνδέσεις των αυτόνομων νησιωτικών συστημάτων με το ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρισμού δεν έχουν ολοκληρωθεί.</li> <li>Σχετική καθυστέρηση στην ανάπτυξη των «ευφυών» δικτύων διανομής ηλεκτρισμού και στην εγκατάσταση «έξυπνων» μετρητών.</li> </ul>
<b>Φυσικό αέριο</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Μη πλήρης κάλυψη της χώρας από το δίκτυο φυσικού αερίου.</li> <li>Σχετικά μικρή λιανική αγορά και υστέρηση συγκριτικά με τον μέσο όρο της ΕΕ όσον αφορά τα συνδεδεμένα νοικοκυριά.</li> </ul>

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά και αδυναμίες του ενεργειακού τομέα στην Ελλάδα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζεται με ένα μόνο μέρος της ενεργειακής παραγωγής και κατανάλωσης της Ελλάδας. Η πρόβλεψη για τα επόμενα 50 χρόνια είναι ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα τριπλασιαστεί, λόγω του πλήρους

εξηλεκτρισμού πολλών τομέων (μεταφορών κ.α.). Το αποτέλεσμα θα είναι να αντικατασταθεί η χρήση των ορυκτών καυσίμων από την ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγεται. Η οποία ηλεκτρική ενέργεια θα παράγεται από εναλλακτικές πηγές μη ρυπογόνες. **(Alexander Brown & Nils Grünberg 2022)**

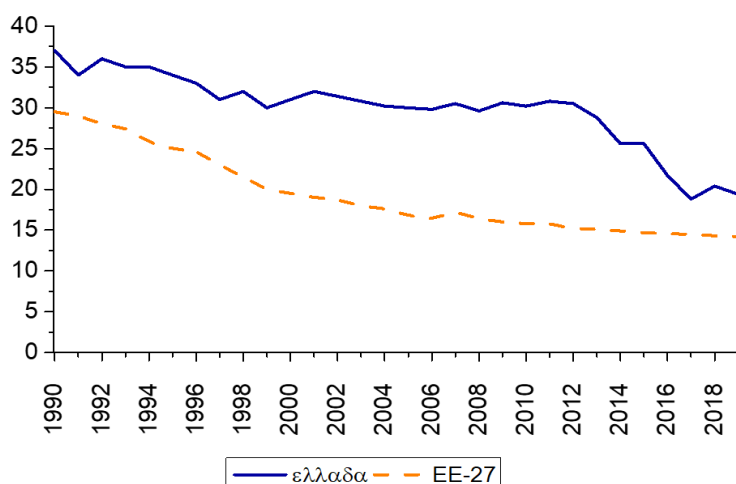


Σχήμα 8: Η εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ηλ. ενέργειας τη περίοδο 1990-2019

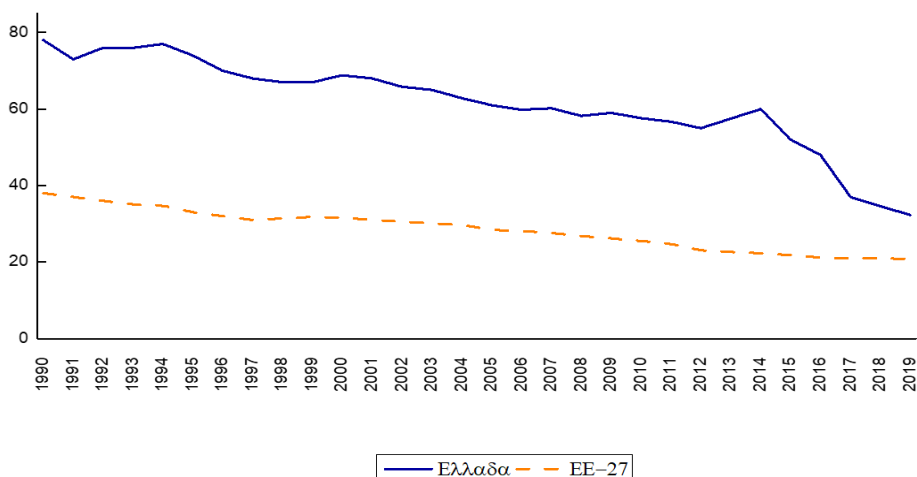
Η προβλεπόμενη αυτή ενεργειακή μετάβαση έχει ήδη εκκινήσει στην χώρα μας, αφού παρατηρείται μείωση της ισχύος των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων που βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα με παράλληλη θεαματική αύξηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).

Σήμερα το 1/3 της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στην Ελλάδα προέρχεται από τις ΑΠΕ. Αρκεί να σκεφτούμε ότι η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών σταθμών στη χώρα πενταπλασιάστηκε μόνο μέσα σε δύο χρόνια, από το 2011 ως το 2013. Παρά αυτή την θεαματική μεταβολή, η χώρα μας παραμένει ισχυρά εξαρτώμενη ενεργειακά από τα ορυκτά καύσιμα. Αυτό οφείλεται και στο γεγονός ότι η Ελλάδα ως κατ' εξοχήν νησιωτική χώρα δεν έχει επιτύχει την πλήρη διασύνδεση αυτών με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρισμού, με αποτέλεσμα να καταναλώνονται ακόμα ορυκτά καύσιμα για να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα. **(Alexander Brown & Nils Grünberg 2022)**

### Μερίδιο στη συνολική προσφορά ενέργειας



### Μερίδιο στην ηλεκτροπαραγωγή



Σχήμα 9: Διαγράμματα σχετικά με το μερίδιο συνολικής ενέργειας και με το μερίδιο παραγωγής ηλεκτρισμού από ορυκτά καύσιμα.

Η κατάσταση που αποτυπώνεται στον παραπάνω πίνακα δείχνει σαφή μείωση και σε λίγα χρόνια σταμάτημα της παραγωγής ηλεκτρισμού από ορυκτά καύσιμα. Το όλο εγχείρημα εκτιμάται ότι θα έχει πολύ θετική επίδραση στο κλίμα και στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον λόγω του περιορισμού των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Στον στόχο αυτό θα συμβάλλει και η πολιτική του χρηματιστηρίου εκπομπών θερμοκηπίου αφού η τιμή που υποχρεώνονταν να καταβάλουν το 2013 οι ρυπογόνες μονάδες παραγωγής ενέργειας και οι βιομηχανίες ήταν 4,4 ευρώ ανά τόνο CO<sub>2</sub>, ανέβηκε το 2019 στα 24,8 ευρώ ανά τόνο CO<sub>2</sub>. Από μόνο του αυτό το γεγονός, όπως παρουσιάζεται και στο σχετικό διάγραμμα, σημαίνει ότι οι λιγνιτοπαραγωγές μονάδες της ΔΕΗ είναι ασύμφορες οικονομικά.

Με την παύση λειτουργίας των λιγνιτικών μονάδων τα 3,35 GW που παράγουν οι λιγνιτοπαραγωγές μονάδες της ΔΕΗ, προβλέπεται ότι θα παράγονται αρχής γενομένης από το 2023 με εναλλακτικές πηγές. Σε ότι αφορά στο κοινωνικο-οικονομικό έλλειμμα που θα προκαλέσει, το κλείσιμο των μονάδων, στις περιοχές που βασίζονταν οικονομικά σε αυτές, έχει ήδη από το 2021 προβλεφθεί ένα σχέδιο μετάβασης στη απολιγνιτοποίηση για να στηριχθεί η κοινωνικο-οικονομική συνοχή των περιοχών αυτών. Οι κύριοι τομείς κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι, ο τομέας των υπηρεσιών, (καταστήματα, γραφεία κλπ. -34,6% το 2019), τα σπίτια (33,6%) και ο βιομηχανικός τομέας (23,8% το 2019 -από 40,8% το 1990).

Τα βασικά καύσιμα για την θέρμανση και την κίνηση οχημάτων στην χώρα μας είναι τα προϊόντα πετρελαίου σε ποσοστό 53%. Αυτό αποτελεί το 5ο υψηλότερο καταγεγραμμένο ποσοστό στις χώρες της Ε.Ε. Η αλήθεια είναι ότι σε σχέση με το παρελθόν (δεκαετία 2000) το ποσοστό έχει μειωθεί σημαντικά από 63% που ήταν. Η δαπάνη των ελληνικών νοικοκυριών για καύσιμα κίνησης είναι αξιοσημείωτα μεγαλύτερη από αυτή για ηλεκτρικό ρεύμα (4,4% των δαπανών του μέσου νοικοκυριού και 3,1 % αντίστοιχα. Αυτό εξηγείται και από τους σημαντικά μεγάλους φόρους που βαρύνουν την τιμή της βενζίνης).

Ο κεντρικός ρόλος των ορυκτών καυσίμων στην αναπτυξιακό μοντέλο της χώρας μας, οικονομικό και κοινωνικό, επιβεβαιώνεται και από τους αριθμούς αφού το ποσοστό εισαγωγών πετρελαίου από 7% που ήταν το 2000 έφθασε στο 28% το 2020. Οι διεθνείς συμβάσεις και ο σχεδιασμός της Ε.Ε. για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, με τη συνεπακόλουθη αντικατάσταση των συμβατικών με εναλλακτικές πηγές ενέργειας, φέρνει τη χώρα μας μπροστά από μεγάλες προκλήσεις στο μέλλον. Οι μελέτες πρόβλεψης υπολογίζουν ότι ενώ φαίνεται η ζήτηση πετρελαίου να κορυφώνεται περί το 2020, από εκεί και μετά θα ξεκινήσει

σταδιακή υποχώρηση της ζήτησης σε ποσοστό κατά 50% μέχρι το 2040 στις ανεπτυγμένες οικονομίες (και κατά 10% στις αναπτυσσόμενες).

Τα ορυκτά καύσιμα που καταναλώνει η Ελλάδα εισάγονται αφού τα εγχώρια κοιτάσματα είναι μικρής παραγωγής και δεν συμβάλλουν στην ανάγκες της χώρας. Τα τελευταία χρόνια η χώρα έχει δραστηριοποιηθεί ενεργά στην έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων εντός της επικράτειας της. Το θέμα έχει μεγάλη γεωπολιτική σημασία αφού είναι συνάρτηση της αναβάθμισης του γεωπολιτικού ρόλου της χώρας στην περιοχή. Οι προοπτικές φαίνονται θετικές και παρόλη τη παγκόσμια προσπάθεια αντιμετώπισης της κλιματικής κρίσης, η ζήτηση στην χώρα μας για ορυκτά καύσιμα στο μέλλον θα είναι υπαρκτή αλλά σαφώς μειωμένη.

Σε ότι αφορά στο φυσικό αέριο (Φ.Α.) θεωρείται μεν ως ορυκτό καύσιμο αλλά εκπέμπει σαφώς μικρότερες ποσότητες CO<sub>2</sub>. Όμως η χρήση του ή η αντικατάσταση του πετρελαίου με αυτό, εκτιμάται ότι δεν αρκεί για την αποκλιμάκωση των συγκεντρώσεων αερίων θερμοκηπίου. Το Φ.Α. μπήκε στην καθημερινότητα του Έλληνα με σχετική καθυστέρηση, στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και σήμερα αντιστοιχεί στο 17,3% της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης, ποσοστό που θεωρείται χαμηλό και έτσι θα παραμείνει μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 2020. Οι μεγάλες υποδομές μεταφοράς και ο αγωγός της Αλεξανδρούπολης είναι ακόμα σε φάση κατασκευής και η συμβολή τους θα φανεί αργότερα.

Στο πλαίσιο της ενεργειακής μετάβασης το Φ.Α. θεωρείται ως μεταβατικό καύσιμο. Σε ότι αφορά τις εκπομπές ρύπων (αερίων θερμοκηπίου) ο συντελεστής εκπομπών CO<sub>2</sub> για το Φ.Α. είναι 44,6% μικρότερη από το λιγνίτη, 27,5% λιγότερη από το μαζούτ και 24,3% λιγότερη από το ντίζελ. Την τελευταία χρονιά λόγω της ενεργειακής κρίσης εξ' αιτίας του Ρώσο-Ουκρανικού πολέμου είχαμε αύξηση της κατανάλωσης. Εξαίρεση αποτελεί η περίοδος του COVID-19. Παρόλα αυτά σύμφωνα με τις εκτιμήσεις αναμένεται η κατανάλωση Φ.Α. να κορυφωθεί μέχρι το 2040 και στη συνέχεια θα αρχίσει να μειώνεται ραγδαία. Στην Ευρώπη αυτή η υποχώρηση αναμένεται να αρχίσει νωρίτερα, από την τρέχουσα δεκαετία.

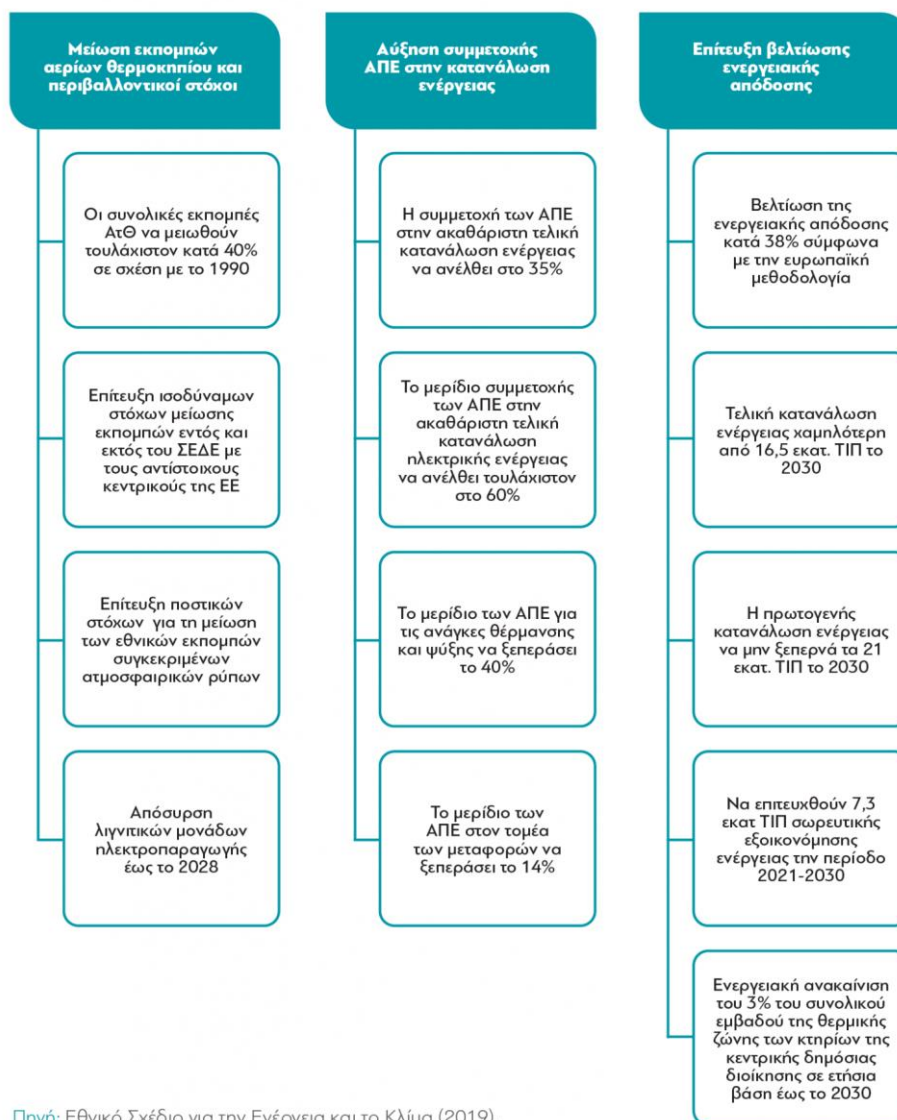
Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), που αποτελεί το εγκεκριμένο στρατηγικό κείμενο για την ενεργειακή μετάβαση, δημοσιεύτηκε τον Δεκέμβριο του 2019. Περιλαμβάνει τις κύριες κατευθύνσεις της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ και αλλά και ένα ρεαλιστικό εργαλείο για την υλοποίηση της

ενεργειακής πολιτικής της Ελλάδας με τελικό στόχο την επίτευξη της ενεργειακής μετάβασης την περίοδο 2021-2030. Το ΕΣΕΚ περιλαμβάνει συγκεκριμένα μέτρα πολιτικής, τα οποία έχουν λάβει υπόψη το ενεργειακό δυναμικό της χώρας, τις τεχνικές ιδιαιτερότητες και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της στους σημαντικότερους τομείς της παραγωγής, διάθεσης και κατανάλωσης ενέργειας.

Οι βασικότεροι στόχοι είναι οι παρακάτω:

- Μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2030 κατά τουλάχιστον 42% σε σύγκριση με το επίπεδο των εκπομπών το 1990 (και 56% έναντι του 2005). Αυτός ο στόχος, αναμένεται να αναθεωρηθεί, βεβαίως, από 42% σε τουλάχιστον 55%. Πράγμα που σημαίνει ότι μέχρι το 2030 η χώρα μας θα πρέπει να εκλύει περίπου 50 μεγατόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub>
- Αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ τουλάχιστον σε 35% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας μέχρι το 2030 και μερίδιο των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή 61%-64% έως το 2030.
- Βελτίωση της Ενεργειακής Αποδοτικότητας (ΕΑ) κατά τουλάχιστον 38% μέχρι το 2030 σε σύγκριση με προβλέψεις που έγιναν το 2007.
- Μηδενικό μερίδιο του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή έως το 2028.

**Διάγραμμα.** Εθνικοί ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί στόχοι για την περίοδο 2021-2030 στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών πολιτικών



Πίνακας 3: Οι εθνικοί ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί στόχοι της περιόδου 2021-2030

## 5. Παρουσία υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας σήμερα

Τον Ιανουάριο του 2022 υπογράφηκε το μνημόνιο μεταξύ της Motor Oil και της ΔΕΗ, με τη δημιουργία κοινού επιχειρηματικού σχήματος προκειμένου να διαμορφώσουν την «ενεργειακή λύση του μέλλοντος». Η συμφωνηθείσα κοινή

επιχείρηση που θα δημιουργηθεί θα μπει σε τροχιά ολοκλήρωσης με την υπογραφή «Συμφωνίας Μετόχων», η οποία αποβλέπει στη σύσταση μιας νέας εταιρείας, της «Hellenic Hydrogen A.E.», στην οποία η Motor Oil θα έχει το 51% του μετοχικού κεφαλαίου και η ΔΕΗ 49% αυτού.

Η νέα εταιρεία θα έχει σκοπό την ανάπτυξη έργων παραγωγής πράσινου υδρογόνου στην Ελλάδα, σε συνεργασία με μεγάλους και έμπειρους συμβουλευτικούς οίκους, αξιοποιώντας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την εμπειρία, την τεχνογνωσία και τη δυναμικότητα των μετόχων της στην αναπτυσσόμενη πλατφόρμα παραγωγής και διάθεσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Παράλληλα, η νέα εταιρεία θα επιδιώξει να αναπτύξει τέτοια έργα σε εκείνες τις τοποθεσίες, όπου θα ελαχιστοποιείται το κόστος παραγωγής και θα εξυπηρετούνται περισσότεροι ενδιαφερόμενοι αγοραστές, καθώς και να εξασφαλίσει χρηματοδοτική ενίσχυση μέσω διαφόρων διαθέσιμων εργαλείων, ώστε το παραγόμενο πράσινο υδρογόνο να είναι οικονομικά προσιτό κατά το μέγιστο δυνατό.

Με την πρωτοβουλία αυτή, δύο από τις μεγαλύτερες εταιρείες στην εγχώρια ενεργειακή αγορά ενώνουν τις δυνάμεις τους, για να προωθήσουν τη μετάβαση της Ελλάδας σε ένα καθαρό περιβάλλον, μηδενικών εκπομπών άνθρακα, μέσω της ανάπτυξης έργων παραγωγής και αποθήκευσης υδρογόνου που θα προέρχεται κατά 100% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, υλοποιώντας σήμερα μια ενεργειακή λύση του μέλλοντος. **(ΘΟΔΩΡΗΣ ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ 2021)**

### 5.1. Προοπτικές διείσδυσης του υδρογόνου στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας

Για την εξάπλωση της χρήσης του «πράσινου υδρογόνου» ως ενεργειακό πόρο τα επόμενα 10-15 χρόνια, οι διεθνείς οργανισμοί, οι κυβερνήσεις και οι επιχειρήσεις έχουν θέσει ως στόχο την επίτευξη μηδενικών ρύπων το 2050. Η Ελλάδα έχει τα πλεονεκτήματα εκείνα που μπορούν να την καταστήσουν έναν από τους σημαντικότερους κόμβους και σημεία εισόδου υδρογόνου στην ευρωπαϊκή αγορά.



Η στόχευση μηδενικών εκπομπών για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης έχουν φέρει το «πράσινο υδρογόνο» εδώ και κάποια χρόνια στο προσκήνιο. Σήμερα πλέον που όλο και περισσότερες χώρες έχουν θέσει στόχο την ουδετερότητα άνθρακα, το υδρογόνο παρουσιάζεται ως κεντρικό μέρος της λύσης. Για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή «πράσινο υδρογόνο» από συμπαραγωγή με ΑΠΕ, θεωρείται ότι θα αποτελέσει την τελική λύση για την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα στους τομείς της βιομηχανίας και των μεταφορών. Ιδιαίτερα μετά την έναρξη του Ρώσο Ουκρανικού πολέμου, όπου η διαθεσιμότητα κυρίως Φ.Α. είναι περιορισμένη, η προώθηση της λύσης «πράσινο υδρογόνο» γίνεται επιτακτική. Το REPowerEU θέτει ως στόχο για την Ευρώπη την παραγωγή 10 εκατ. τόνων «πράσινου» υδρογόνου και την εισαγωγή 10 εκατ. τόνων έως το 2030. Οι συνολικές επενδυτικές ανάγκες για βασικές κατηγορίες υποδομών υδρογόνου εκτιμάται ότι είναι της τάξης των 28 με 38 δισ. ευρώ για τους εσωτερικούς αγωγούς της Ε.Ε. και 6 με 11 δισ. για την αποθήκευση. **[EU commision , REPowerEU 2022].**

Η πορεία του project Blue Med, της «ναυαρχίδας» των έργων υδρογόνου που ωριμάζει η Motor Oil σε συνεργασία με την ΔΕΗ όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αναμένεται να δώσει ώθηση στη οικονομία του υδρογόνου στην Ελλάδα πριν το 2025 και να ολοκληρωθεί πλήρως έως το 2027. Η Motor Oil αναφέρει ότι «στοχεύει στη δημιουργία μιας κλιμακούμενης, αξιόπιστης, και χαμηλού κόστους αλυσίδας αξίας υδρογόνου εξαιρετικά χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Όραμα του Ομίλου είναι να αξιοποιήσει το υπάρχον δυναμικό υδρογόνου χαμηλού κόστους για να ξεκινήσει εφαρμογές ενέργειας υδρογόνου στην Ελλάδα για μια σειρά χρηστών οχημάτων, ναυτιλιακών και βιομηχανικών εφαρμογών.

Το Blue Med περιλαμβάνει έναν αριθμό επιμέρους έργων, μερικά από τα οποία βρίσκονται υπό ανάπτυξη, ενώ άλλα βρίσκονται ακόμη υπό αξιολόγηση. Πιο συγκεκριμένα, υπό ανάπτυξη βρίσκεται ένα σύστημα ηλεκτρολυτικών κυψελών ισχύος 30 MW, η κατασκευή πέντε μονάδων ανεφοδιασμού υδρογόνου και η δημιουργία ενός νέου στόλου ρυμουλκούμενων βυτιοφόρων υψηλής πίεσης, μαζί με τον σχετικό εξοπλισμό συμπίεσης υδρογόνου για τη διανομή υδρογόνου εντός της

Ελλάδας. Υπό αξιολόγηση βρίσκεται η υποδομή δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα. **(ΔΕΗ 2022)**

Αξίζει να σημειωθεί το πρώτο έργο της νεοσύστατης Hellenic Hydrogen είναι το s-ARTEMIS που περιλαμβάνει την ανάπτυξη μονάδας ηλεκτρόλυσης 100MW για την παραγωγή περίπου 11.789 τόνων ανανεώσιμου υδρογόνου με χρήση αιολικής και ηλιακής ενέργειας στο Αμύνταιο της Δυτικής Μακεδονίας. Το s-ARTEMIS φιλοδοξεί να είναι το μεγαλύτερο εμπορικό έργο ηλεκτρολυτικών κυψελών στην Ελλάδα και ένα από τα μεγαλύτερα στην Ευρώπη.

Τα πρώτα βήματα στη νέα αγορά έχει κάνει η Motor Oil, η οποία διασφάλισε από την ΕΤΕπ χρηματοδότηση ύψους 40 εκατ. προγράμματος ανάπτυξης εκτεταμένου δικτύου σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και υδρογόνου. Ενα πιλοτικό σχέδιο παραγωγής «πράσινου» υδρογόνου προωθεί και η HELLENiQ ENERGY. Την παραγωγή «πράσινου» υδρογόνου στις εγκαταστάσεις της στη Μάνδρα Αττικής ξεκίνησε η Linde Hellas, ενώ από τον περασμένο Μάιο στον χώρο του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» στην Αγ. Παρασκευή λειτουργεί το πρατήριο υδρογόνου στην Ελλάδα. **(ΔΕΗ 2022)**

Τις βάσεις για τη δημιουργία μιας οικονομίας «πράσινου» υδρογόνου θέτει το αναθεωρημένο σχέδιο του ΕΣΕΚ (Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα) που παρουσίασε στις 18 Ιανουαρίου ο υπουργός Περιβάλλοντος και Ενέργειας Κώστας Σκρέκας. Οι στόχοι που τίθενται είναι 1,2 GW δυναμικότητα ηλεκτρόλυσης για την παραγωγή 205.000 τόνων «πράσινου» υδρογόνου έως το 2030. Η δυναμικότητα ηλεκτρόλυσης αυξάνεται σε 2,4 GW το 2035 και η παραγωγή υδρογόνου στους 0,5 Mt (μετρικός τόνος). Η αυξητική τροχιά συνεχίζεται με τη δυναμικότητα της ηλεκτρόλυσης να φτάνει τα 6 GW το 2040 και την παραγωγή υδρογόνου τον 1 Mt και, αντιστοίχως, τα 11,7 GW και τον 1,9 Mt το 2045 και τα 14,7 GW για την παραγωγή 2,3 Mt υδρογόνου το 2050. **(ΔΕΣΦΑ 2022)**

## 5.2 Ο οδικός χάρτης για τη διείσδυση του H<sub>2</sub> στην Ελλάδα.

Τον Φεβρουάριο 2023 η Ε.Ε. δημοσιοποίησε τα προτεινόμενα κριτήρια που θα πρέπει να πληρούνται ώστε το υδρογόνο που παράγεται τόσο εντός της Ε.Ε. όσο και σε τρίτες χώρες να θεωρείται ανανεώσιμο «πράσινο υδρογόνο». Προκειμένου να προωθηθεί η εισαγωγή μέχρι 10 εκατομμυρίων τόνων «πράσινου» υδρογόνου, Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για να επιταχύνει την εισαγωγή περίπου 10 εκατομμυρίων τόνων «πράσινου υδρογόνου» επέλεξε να αναπτύξει 3 μεγάλους διαδρόμους εισαγωγής υδρογόνου από τη Μεσόγειο, από την Β. Θάλασσα και όταν τελειώσει ο Ρώσο Ουκρανικός πόλεμος από την Ουκρανία.

Για τη περιοχή της Δ. Μεσογείου η Ισπανική κυβέρνηση έχει σχεδιάσει έναν υποθαλάσσιο αγωγό μεταφοράς «πράσινου υδρογόνου» από τον λιμένα της Βαρκελώνης στον λιμένα της Μασσαλίας στη Γαλλία. Ο αγωγός αυτός (BarMar) έχει προϋπολογισμό 2,5 δισ. ευρώ και θα έχει τη δυνατότητα μεταφοράς μέχρι 2 εκατ. τόνων «πράσινου υδρογόνου» τον χρόνο. Το έργο θα ολοκληρωθεί μέχρι το 2030.

Πέραν αυτών η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σχεδιάζει την κατασκευή μιας μεγάλης υποδομής μεταφοράς (δίκτυο υδρογόνου) συνολικού μήκους 40.000 χιλιομέτρων που θα καλύπτει τις ανάγκες όλου του Ευρωπαϊκού χώρου. Στο σχέδιο αυτό έχει ενταχθεί και ο αγωγός που σχεδιάζει ο ΔΕΣΦΑ για τη μεταφορά υδρογόνου κατά μήκος του υφιστάμενου κεντρικού αγωγού φυσικού αερίου ο οποίος θα συνδέεται με ένα αντίστοιχο δίκτυο που σχεδιάζει η Βουλγαρία.

Η χώρα μας πιστεύεται ότι τηρεί τις προϋποθέσεις για να καταστεί ένας από τους σημαντικότερους κόμβους και σημεία εισόδου υδρογόνου στην Ε.Ε. Η Ε.Ε. έχει υπογράψει συμφωνία στρατηγικής συνεργασίας με την Αίγυπτο για το υδρογόνο και η Σ. Αραβία αναπτύσσει σχέδια παραγωγής υδρογόνου από ΑΠΕ που «βλέπουν» Ευρώπη.

Χώρες παραγωγής «πράσινου υδρογόνου» μπορούν να είναι αυτές της Β. Αφρικής και της Μέσης Ανατολής, από τις οποίες εκτιμάται ότι μπορεί να εισαχθούν στους αγωγούς 10 εκατ. τόνοι, που τους έχει εντάξει στον στρατηγικό σχεδιασμό της η Ε.Ε. μέχρι το 2030. Οι χώρες της Νότιας Ευρώπης, όπως η Ελλάδα, θα λειτουργήσουν ως διάδρομοι για τη μεταφορά του στην ευρωπαϊκή αγορά. Ο

EastMed επίσης είναι δυνατόν να αποτελέσει μακροπρόθεσμα «η ραχοκοκαλιά του εφοδιασμού της Ε.Ε. με υδρογόνο». Ήδη ο ΔΕΣΦΑ έχει ξεκινήσει την κατασκευή του πρώτου αγωγού στην Ελλάδα, ο οποίος είναι ο πρώτος στην Ε.Ε. για τη μεταφορά 100% υδρογόνου. Είναι ο αγωγός της Δυτικής Μακεδονίας με μήκος 160 χλμ. και προϋπολογισμό 163 εκατ. €.

Τα επόμενα χρόνια πολλά έργα κατασκευής αγωγών του ΔΕΣΦΑ θα κατασκευάζονται με προδιαγραφές και για τη μεταφορά 100% υδρογόνου, όσον αφορά για τους υφιστάμενους αγωγούς μετά από αναγκαίες τεχνικές παρεμβάσεις θα διασφαλίζεται η μεταφορά και υδρογόνου σε ποσοστό από 10% έως 20%. Ο ΔΕΣΦΑ έχει ενταχθεί στο σχέδιο των Ευρωπαϊών διαχειριστών φυσικού αερίου, από το οποίο θα προκύψει ένα πανευρωπαϊκό δίκτυο υδρογόνου περίπου 40.000 χιλιομέτρων που θα διασχίζει 21 χώρες της Ε.Ε. Ο σχεδιασμός του ΔΕΣΦΑ περιλαμβάνει την κατασκευή έως το 2040 ενός αγωγού κατά μήκος του υφιστάμενου κεντρικού αγωγού φυσικού αερίου που θα συνδέεται με ένα αντίστοιχο δίκτυο που σχεδιάζει η Βουλγαρία. Οι νέες μονάδες φυσικού αερίου, όπως αυτή που κατασκευάζουν από κοινού στην Αλεξανδρούπολη η ΔΕΗ, η ΔΕΠΑ και η Damco Energy (όμιλος Κοπελούζου), θα μπορούν να λειτουργήσουν και με υδρογόνο. Σε επιχειρηματικό επίπεδο δεν είναι λίγες οι εταιρείες που προετοιμάζονται για τη νέα αγορά παρότι απουσιάζει ακόμη το σχέδιο της εθνικής στρατηγικής για το υδρογόνο. Μέχρι σήμερα δεν έχουμε χειροπιαστά βήματα έτσι, καθυστερεί η υλοποίηση δύο ελληνικών έργων που ενέταξε η Κομισιόν στα Σημαντικά Έργα Κοινού Ευρωπαϊκού Ενδιαφέροντος (IPCEI Hydrogen) εγκρίνοντας χρηματοδότηση έως του ποσού των 800 εκατ. Πρόκειται για έργα των εταιρειών B&T Composites (έργο H2CAT) και Advent (έργο Green HiPo). Εκτός λίστας έμεινε το mega project White Dragon για την παραγωγή «πράσινου» υδρογόνου στη Δ. Μακεδονία, το οποίο θα υποβληθεί εκ νέου για ένταξη σε επόμενη φάση.

### 5.3 Η νομοθεσία σχετικά με το H<sub>2</sub> στην Ελλάδα

#### **1. Ν. 4936/2022 (ΦΕΚ Α 105 - 27.05.2022) Εθνικός Κλιματικός Νόμος - Μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα και προσαρμογή στην κλιματική**

**αλλαγή, επείγουσες διατάξεις για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης και την προστασία του περιβάλλοντος.**

Περιλαμβάνει τουλάχιστον:

**α)** ανάλυση στόχων και κατευθυντήριων αρχών της Στρατηγικής, βάσει των διεθνών συμφωνιών και των στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (πλαίσιο αναφοράς),

**β)** εκτίμηση των αναμενόμενων κλιματικών μεταβολών στη χώρα, βάσει διαφορετικών κλιματικών σεναρίων, ανάλυση τρωτότητας οικονομικών τομέων και κοινωνικών δραστηριοτήτων και εκτίμηση των επιπτώσεων των κλιματικών μεταβολών στους διάφορους τομείς της οικονομικής και κοινωνικής δραστηριότητας, καθώς και της βιωσιμότητας του φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος, κυρίως σε εθνικό επίπεδο με παράλληλο, κατ' αρχήν, προσδιορισμό του οικονομικού μεγέθους των εν λόγω επιπτώσεων,

**γ)** προσδιορισμό των τομέων προτεραιότητας που χρήζουν μέτρων προσαρμογής για την κλιματική αλλαγή, με βάση την ανάλυση τρωτότητας της περ. β), διερεύνηση και καταγραφή των προτεινόμενων μέτρων και δράσεων για διάφορους τομείς της οικονομικής και κοινωνικής δραστηριότητας και τη βιωσιμότητα του φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος. Οι τομείς προτεραιότητας περιλαμβάνουν, κατ' ελάχιστον, την υγεία, τον τουρισμό, τη γεωργία και κτηνοτροφία, τη δασοπονία, την ενέργεια, την ασφάλιση, τις υποδομές και τις μεταφορές, το δομημένο περιβάλλον, την προστασία της βιοποικιλότητας, των οικοσυστημάτων, των υδάτινων πόρων και των παράκτιων ζωνών, καθώς και την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς,

**δ)** προκαταρκτική εκτίμηση του κόστους προσαρμογής,

**ε)** ενσωμάτωση πολιτικών προσαρμογής σε ευρύτερες πολιτικές,

**στ)** διεθνή διάσταση της πολιτικής προσαρμογής,

**ζ)** προτάσεις για δράσεις ευαισθητοποίησης, εκπαίδευσης και έρευνας.

**2. Υ.Α. 118664/2023 Φ.Ε.Κ. 2570/Β' 20.4.2023**

«Καθορισμός όρων, προϋποθέσεων και τεχνικών προδιαγραφών για την εγκατάσταση πρατηρίων υδρογόνου για την κίνηση οχημάτων οδικών μεταφορών»

*«Καθίσταται επιτακτική η ανάγκη καθορισμού των όρων και προϋποθέσεων ίδρυσης και λειτουργίας πρατηρίων υδρογόνου σε αέρια φάση ή/και μικτών πρατηρίων υδρογόνου σε αέρια φάση, υγρών καυσίμων, υγραερίου (LPG), πεπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG), υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG),*

*ή/και λοιπών εναλλακτικών καυσίμων [όπως αυτά ορίζονται στο άρθρο 2 της Οδηγίας 2014/94/ΕΕ, που ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο με το άρθρο 2, του ν. 4439/2016 (Α' 222)], υπό οποιονδήποτε συνδυασμό αυτών, καθώς αποτελεί βασική προϋπόθεση για την απρόσκοπη Ευρωπαϊκή χρηματοδότηση διαφόρων Ευρωπαϊκών Προγραμμάτων στα οποία συμμετέχουν εμπλεκόμενοι φορείς για τη διάδοση του υδρογόνου». (ΥΠΕΝ 2023)*

### 5.3.1 Σύντομη περιγραφή του σχεδίου Εθνικής Στρατηγικής για το Υδρογόνο.

Το σχέδιο περιγράφει την Εθνική Στρατηγική της χώρας μας για την ένταξη του υδρογόνου στο ενεργειακό της τομέα, θέτοντας φιλόδοξους στόχους σε αντιστοίχιση της στρατηγικής που έχει θέσει η ΕΕ για την συμβολή του υδρογόνου στην επίτευξη των στόχων της κλιματικής ουδετερότητας (Fit-for-55) και της απεξάρτησης από τα ρωσικά καύσιμα (REPowerEU). Όπως προαναφέραμε η ΕΕ έχει αναβαθμίσει το στόχο για χρήση πράσινου υδρογόνου στους τομείς της βιομηχανίας και των μεταφορών από τους 11 ΜΤ ετησίως έως το 2030 στους 20 ΜΤ με χρήση σε όλους τους τομείς της οικονομίας.

Το Ελληνικό σχέδιο Εθνικής Στρατηγικής για το Υδρογόνο ολοκληρώθηκε από την αρμόδια 20μελή Επιτροπή του ΥΠΕΝ υπό την προεδρία του καθηγητή του ΕΜΠ Παντελή Κάπρου και παρουσιάστηκε τους πρώτους μήνες του 2023.

#### **Τα κυριότερα σημεία του σχεδίου είναι τα κάτωθι :**

Η Ελλάδα, σύμφωνα με τον οδικό χάρτη ένταξης του υδρογόνου στο ενεργειακό μίγμα της χώρας, μπορεί να παράγει περίπου 3 Mtoe πράσινου υδρογόνου το 2040 και να εξάγει 1 Mtoe. Αντιστοίχως για το 2050 θα μπορεί να παράγει 7,4 Mtoe και να εξάγει 2,3 Mtoe πράσινου υδρογόνου, το οποίο αντιστοιχεί σε αξία εξαγωγών της τάξης των 1,6 δισ. ευρώ ανά έτος το 2050 (0,9 δισ. ευρώ το 2040). Ο συνολικός κύκλος εργασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου θα είναι , σύμφωνα με το σχέδιο, της τάξης των 10 δισ. ευρώ τον χρόνο το 2050. Έως τότε θα απαιτηθούν περίπου 60 GW ΑΠΕ για την τροφοδοσία των μονάδων ηλεκτρολύσης. (ΥΠΕΝ 2023).

Το ελληνικό σχέδιο περιλαμβάνει τέσσερα στάδια. Το πρώτο αφορά την περίοδο 2022-2027, όπου θα υπάρχει αβεβαιότητα στις επενδύσεις, εξαιτίας του υψηλού κόστους. Σε αυτήν την πενταετία θα είναι απαραίτητες οι κρατικές ενισχύσεις για την ανάπτυξη υποδομών. Η δεύτερη φάση αφορά στην περίοδο 2025-2030, οπότε θα αρχίσουν τα πιλοτικά έργα, αλλά και αναβαθμίσεις και προσαρμογή των αγωγών αερίου, σχεδιασμός αποθήκευσης υδρογόνου, με τον ρόλο του κράτους να παραμένει δίνοντας ενισχύσεις και φορολογικά κίνητρα. Η τρίτη φάση εστιάζει στη δημιουργία της αγοράς στο διάστημα 2027-2035, με τα πρώτα δίκτυα αποκλειστικά υδρογόνου να διευκολύνουν κυρίως τις διασυνοριακές συναλλαγές, ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας αποθήκευσης υδρογόνου κλπ. Η τέταρτη φάση της βιομηχανικής ωρίμανσης αφορά στο διάστημα 2030 – 2045 οπότε αναμένεται ολοκλήρωση και της πανευρωπαϊκής υποδομής υδρογόνου και συνθετικών καυσίμων, μετατροπή μεγάλων τμημάτων των υφιστάμενων δικτύων φυσικού αερίου σε υδρογόνο, αποθηκευτικά συστήματα, συμπίεση και υγροποίηση σε μεσαία και μεγάλη κλίμακα, καθώς και διαλειτουργικότητα του εθνικού με το ευρωπαϊκό σύστημα.

Το υδρογόνο προβλέπεται να έχει πρωταγωνιστικό ρόλο στην τροφοδοσία βαρέων οχημάτων όπως αστικά και υπεραστικά λεωφορεία, φορτηγά και τρένα, σε ορισμένες περιπτώσεις, και γενικά σε κλάδους του δικτύου που δεν έχουν δυνατότητα εξηλεκτρισμού. Ο συγκεκριμένος κλάδος καλύπτει το 1/3 της κατανάλωσης ενέργειας του τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα. Σημαντικό για την διείσδυση των οχημάτων υδρογόνου είναι η παράλληλη ανάπτυξη υποδομών ανεφοδιασμού των οχημάτων. **(ΥΠΕΝ 2023)**

Στις άμεσες δυνατότητες στον τομέα των μεταφορών αναφέρονται:

- Λεωφορεία: Σε πρώτη φάση, 120-250 αστικά λεωφορεία θα μπορούσαν να συμβάλουν στον περιορισμό της ρύπανσης σε κέντρα μεγάλων πόλεων ενώ θα μπορούσε να δημιουργηθεί και εγκατάσταση συναρμολόγησης τέτοιων οχημάτων πιθανώς στις περιοχές που βρίσκονται υπό ενεργειακή μετάβαση(Δυτική Μακεδονία). Η τεχνολογία είναι ώριμη και πλησιάζει τα κόστη αγοράς και χρήσης συμβατικών οχημάτων. Στην πρώτη φάση προτείνεται να τεθούν σε κυκλοφορία και 30-50 υπεραστικά λεωφορεία. Η τεχνολογία δεν είναι ακόμα ώριμη οπότε υπάρχει χώρος στην αγορά για την ανάπτυξη και συναρμολόγησή τους στην Ελλάδα.
- Ελαφρά φορτηγά διανομής: Δυνατότητα για κυκλοφορία 5.000-10.000 στις πόλεις. Ορισμένα από αυτά θα μπορούσαν να τροποποιηθούν στην Ελλάδα.
- Φορτηγά βαρέως τύπου: Πρόβλεψη αριθμού 80-160 για αποκομιδή απορριμμάτων χωρίς θόρυβο ή ρύπους.
- ΙΧ: 30.000-60.000 οχήματα.
- Τρένα: 3 έως 12 συρμοί για ηλεκτρική κίνηση σε τμήματα του δικτύου που δεν συμφέρει να εξηλεκτιστούν και 2 έως 5 μηχανές ελιγμών σε σταθμούς.
- Ναυτιλία: Ορισμένος αριθμός επιβατηγό-οχηματαγωγών πλοίων κλειστού τύπου που κινείται με Η<sub>2</sub> ή αμμωνία για μεταφορές από την ηπειρωτική στη νησιωτική χώρα. Ο συγκεκριμένος τύπος πλοίου θα μπορούσε να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί στην Ελλάδα σε κάποιο από τα υπάρχοντα ναυπηγεία. Η υποδομή ανεφοδιασμού σε επιλεγμένα λιμάνια θα μπορούσε να συμπεριλαμβάνει παραγωγή Η<sub>2</sub> ή και αμμωνίας.
- Σταθμοί ανεφοδιασμού, εκτίμηση για περίπου 100 σε πρώτη φάση, με δυνατότητα τροφοδοσίας 0.1-1 τόνων υδρογόνου ανά ημέρα για τροφοδοσία ιδιωτικών οχημάτων ή στολίσκων οχημάτων, φορτηγών ή λεωφορείων. **(ΥΠΕΝ 2023).**

Η εθνική στρατηγική περιλαμβάνει επίσης επιχειρηματικές πρωτοβουλίες σε σειρά από τομείς, όπως η κατασκευή των πρώτων ποντοπόρων πλοίων από Έλληνες εφοπλιστές, η δρομολόγηση πλοίου υδρογόνου στη σύνδεση του Πειραιά με κοντινούς προορισμούς του Σαρωνικού και η αναβάθμιση του Βόρειου Οδικού Αξονα



της Κρήτης (ΒΟΑΚ) σε αυτοκινητόδρομο «hydrogen road». Περιλαμβάνει επίσης σχέδιο «νησιού υδρογόνου» κατά τα πρότυπα του πιλοτικού έργου στη Μαγιόρκα, αλλά και πειραματική εφαρμογή υδρογόνου ως καυσίμου σε υποβρύχια του Πολεμικού Ναυτικού.

## 6. ΠΙΘΑΝΟΤΕΡΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

### 6.1 Ο νέος αγωγός που κατασκευάζει ο ΔΕΣΦΑ

Ο νέος αγωγός φυσικού αερίου Υψηλής Πίεσης συνολικού μήκους 160 χλμ που θα συνδέει τις Περιφέρειες της Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας, άρχισε να κατασκευάζεται και εκτιμάται να δοθεί στην λειτουργία το 2<sup>ο</sup> εξάμηνο του 2024. Πρόκειται για ένα έργο συνολικού προϋπολογισμού 163 εκατ. ευρώ που έχει προβλεφθεί στο χρηματοδοτικό πρόγραμμα του ΔΕΣΦΑ ενώ υπάρχουν συζητήσεις για την ένταξη σε ευρωπαϊκά προγράμματα για τη συγ-χρηματοδότησή του. Ο νέος αγωγός θα εξυπηρετεί τις περιφέρειες Ημαθίας, Πέλλας, Κοζάνης και Φλώρινας ξεκινώντας από τα Τρίκαλα Ημαθίας και καταλήγοντας στην Καρδιά Κοζάνης όπου κατασκευάζεται ο Σταθμός Μέτρησης στις εγκαταστάσεις για την τηλεθέρμανση των πόλεων Κοζάνης, Αμυνταίου και Πτολεμαΐδας προϋπολογισμού €4 εκατ. με δυναμικότητα 50.000 Nm<sup>3</sup>/h. Ορίζοντας ολοκλήρωση του έργου είναι ο Ιούνιος του 2024 ενώ ο αγωγός πρόκειται να ενταχθεί στο σύστημα τον Σεπτέμβριο του 2024. Παράλληλα, προβλέπεται η δημιουργία αναμονών για τη μελλοντική επέκταση του αγωγού στην περιοχή της Καστοριάς, καθώς και την τροφοδοσία μελλοντικών καταναλωτών. **(ΔΕΣΦΑ 2022)**.

Βασική καινοτομία του νέου αυτού αγωγού είναι ότι αποτελεί τον πρώτο στην Ελλάδα και έναν από τους πρώτους στην Ευρώπη συμβατότητα μεταφοράς οποιουδήποτε μείγματος φυσικού αερίου και υδρογόνου, έως και 100% υδρογόνου στο πλαίσιο της στρατηγικής του ΔΕΣΦΑ για την ανάπτυξη της αγοράς υδρογόνου στην Ελλάδα και της εθνικής στρατηγικής για την «απανθρακοποίηση» του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Όπως επισημάνθηκε κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης, η κατασκευή έργων συμβατών με τη χρήση υδρογόνου αποτελεί τον νέο

«κανόνα» για τον Διαχειριστή με στόχο την προώθηση της ανάπτυξης της αγοράς υδρογόνου και της εθνικής στρατηγικής για την μετάβαση στη μεταλιγνιτική εποχή.

Μέσω του έργου θα διασφαλίζεται η προμήθεια φυσικού αερίου για βιομηχανικούς, βιοτεχνικούς, αγροτικούς και οικιακούς καταναλωτές, θα διασφαλίζει την πρόσβαση σε τηλεθέρμανση των ωφελούμενων περιοχών. Επιπρόσθετα αναμένεται να συμβάλει στην οικονομική βιωσιμότητα των τοπικών κοινοτήτων και να οδηγήσει στη δημιουργία νέων έμμεσων και άμεσων θέσεων εργασίας, μέσω και της προσέλκυσης νέων επενδύσεων στην περιοχή.

Ανάδοχος του έργου είναι η PROMETHEUS GAS– DAMCO ENERGY, υπεργολάβος η ΑΒΑΞ, ενώ στην κατασκευή συνεργάζονται και άλλες ελληνικές εταιρίες, οι C&M ENGINEERING, MOODY TOTTRUP HELLAS, ASPROFOS και η Σωληνουργεία Κορίνθου. **(ΔΕΣΦΑ 2022)**. Στη συμμετοχή του νέου αγωγού σε μία ευρωπαϊκή πρωτοβουλία για τη δημιουργία ενός αγωγού πράσινου υδρογόνου 40.000 χλμ. Σηματοδοτεί την δημιουργία νέων προοπτικών ανάπτυξης για τις περιφέρειες της Κεντρικής και της Δυτικής Μακεδονίας που ανανεώνουν και αναβαθμίζουν τον ρόλο τους στον ενεργειακό χάρτη συμμετέχοντας στη μετάβαση στη μεταλιγνιτική εποχή. Ο νέος αγωγός είναι ο πρώτος στην Ελλάδα και ένας από τους πρώτους στην Ευρώπη που σχεδιάστηκε ως 100% έτοιμος για μεταφορά υδρογόνου, ο ΔΕΣΦΑ κάνει κάτι περισσότερο από το να ενισχύει περαιτέρω την ενεργειακή διασύνδεση αυτών των περιοχών: Ξεκινώντας από τη Δυτική Μακεδονία δημιουργεί μια ενεργειακή υποδομή έτοιμη να παίξει κεντρικό ρόλο στο μελλοντικό ενεργειακό σύστημα της χώρας, με πολλαπλά οφέλη για την περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, ο νέος αγωγός επιτρέπει την παραγωγή πράσινων αερίων όπως βιομεθάνιο και υδρογόνο, δημιουργώντας νέες ευκαιρίες για επενδύσεις και θέσεις εργασίας στην περιοχή, ενώ παράλληλα διαφοροποιεί και ενισχύει περαιτέρω την ασφάλεια εφοδιασμού της Ελλάδας με βιώσιμη ενέργεια.

Ως γνωστόν η Δυτική Μακεδονία έχει ταυτιστεί στη συνείδηση του Έλληνα πολίτη ως το ενεργειακό κέντρο της χώρας, όμως το σημαντικότερο κεφάλαιο της περιοχής αποτελεί το υψηλής ποιότητας εξειδικευμένο προσωπικό της που υπηρετεί αδιάλειπτα το δημόσιο συμφέρον. Η Κεντρική και Δυτική Μακεδονία καλείται σήμερα να διαμορφώσει ένα νέο στρατηγικό ρόλο. Η ενεργειακή μετάβαση δημιουργεί προκλήσεις, όπου η διεϊσδυση του φυσικού αερίου, του βιομεθανίου και

του υδρογόνου έχουν σημαίνοντα ρόλο. Ο νέος αυτός αγωγός αποτελεί την πρώτη υποδομή στην Ελλάδα και μία από τις πρώτες στην Ευρώπη που υποστηρίζει πλήρως τη μεταφορά ανανεώσιμων αερίων, όπως το υδρογόνο. Ως Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας εγκρίνουμε και εποπτεύουμε την έγκαιρη υλοποίηση κρίσιμων ενεργειακών υποδομών, οι οποίες μαζί με τις λοιπές δράσεις και το ανθρώπινο κεφάλαιο της περιοχής ευελπιστούμε να δημιουργήσουν ένα υπόδειγμα περιφερειακής ανάπτυξης και δίκαιης μετάβασης».

Ως ιστορική μέρα για την περιοχή αλλά και ευρύτερα για τη χώρα χαρακτήρισε ο Περιφερειάρχης Δυτικής Μακεδονίας, Γεώργιος Κασαπίδης την εγκαινίαση της κατασκευής του νέου αγωγού που θα δώσει νέες ενεργειακές προοπτικές στην περιοχή. «Η ενεργειακή καρδιά της χώρας των περασμένων δεκαετιών θα συνεχίσει να είναι πρωταγωνιστής των εξελίξεων» σημείωσε τονίζοντας πως με το έργο αυτό θα θωρακιστεί η δυτ. Μακεδονία με έργα που εγγυόνται την μετάβαση της περιοχής στην μεταλιγνιτική εποχή. Έτσι, είπε, η περιφέρεια θα συνεχίσει να διατηρεί τα «σκήπτρα» στην ενέργεια ενώ παράλληλα, μέσα από τα νέα έργα που θα υλοποιηθούν στην περιοχή αναβαθμίζεται και γεωστρατηγικά στην ευρύτερη περιοχή. Στόχος είναι η Δυτ. Μακεδονία να γίνει προορισμός επενδύσεων για την παραγωγή εξοπλισμού, μηχανημάτων και τεχνολογίας που θα είναι απαραίτητες στην πράσινη μετάβαση της χώρας ενώ θα συμβάλουν και στην αύξηση των εξαγωγών. Επιπρόσθετα, όπως τόνισε «η πορεία έλευσης του φυσικού αερίου στη Δυτική Μακεδονία, μέσω του νέου αγωγού που θα τη συνδέει με το εθνικό δίκτυο, είναι μια μεγάλη κατάκτηση για την περιοχή, που έγινε έπειτα από συντονισμένες προσπάθειες της Περιφερειακής Αρχής, η οποία έπεισε, τόσο το ΥΠΕΝ όσο και τον ΔΕΣΦΑ, για την αναγκαιότητα του νέου αγωγού.

Με την κατασκευή του αγωγού θα μπορέσουμε να αναπτύξουμε σημείο διάθεσης φυσικού αερίου στη Δυτική Μακεδονία και στην Τ.Κ. Περδίκκα της Π.Ε. Κοζάνης, τροφοδοτώντας πόλεις και επιμέρους σημεία στην Περιφέρειά μας, καθώς και το ενοποιημένο σύστημα τηλεθέρμανσης σε Κοζάνη, Πτολεμαΐδα και Αμύνταιο. Σημαντικό για την Περιφέρειά μας είναι ότι ο αγωγός θα είναι 100% συμβατός με τη μεταφορά υδρογόνου και θα αποτελέσει μία σημαντική υποδομή στην προσπάθεια που καταβάλουμε ώστε η Δυτική Μακεδονία να παραμείνει το σημαντικότερο

ενεργειακό κέντρο της χώρας και στη μετά λιγνίτη εποχή, με την παραγωγή «πράσινου» υδρογόνου». **(ΔΕΣΦΑ 2022)**

## 6.2 Το Πάρκο Υδρογόνου στην Πτολεμαΐδα

Το Πάρκο Υδρογόνου Αποτελεί ένα φιλόδοξο σχέδιο για την μετατροπή των εγκαταστάσεων της παλιάς Λιπασματοβιομηχανίας ΑΕΒΑΛ σε ένα Πάρκο Υδρογόνου. Το έργο που εκκίνησε στα τέλη του 2022 στοχεύει να εντάξει την αξιοποίηση των εγκαταστάσεων της ΑΕΒΑΛ στο πρόγραμμα απολιγνιτοποίησης της Δυτικής Μακεδονίας και στην προσπάθεια να καταστεί η περιοχή κέντρο της ενεργειακής πράσινης μετάβασης στην Ελλάδα. Η «Λιπασματοβιομηχανία ΑΕΒΑΛ» ξεκίνησε τη λειτουργία της 1965 και για 3 δεκαετίες υπήρξε ο βασικός τροφοδότης της ελληνικής αγροτικής παραγωγής, παρασκευάζοντας αζωτούχα λιπάσματα και αξιοποιώντας τον τοπικά παραγόμενο λιγνίτη με την εξαέρωση του οποίου παραγόταν αμμωνία, η οποία αποτελούσε την κυριότερη ενδιάμεση πρώτη ύλη της λιπασματοβιομηχανίας λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε άζωτο. Το 1985 μπήκε σε πρόγραμμα «εξυγίανσης», χωρίς κανένα ουσιαστικό αποτέλεσμα. Το 1997 απολύθηκαν οι τελευταίοι 240 εργαζόμενοι και στην εταιρεία μπήκε οριστικά «λουκέτο».

Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με σχετική μελέτη που έχει εκπονήσει το Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης – ΕΚΕΤΑ Πτολεμαΐδας, στον χώρο θα τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά πάνελ και μία πιλοτική μονάδα Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού-Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) με στόχο την παραγωγή «πράσινου» υδρογόνου. Η ενέργεια που θα παράγεται θα τροφοδοτεί αρχικά το Μποδοσάκειο Νοσοκομείο Πτολεμαΐδας, τις τοπικές εγκαταστάσεις του ΕΚΕΤΑ και το Κέντρο Δημέρευσης του Δήμου Εορδαίας. **( ΕΚΕΤΑ 2022)**.

Το ΕΚΕΤΑ είναι ένα από τα κορυφαία ερευνητικά κέντρα της Ελλάδας και της ΕΕ. Ιδρύθηκε το 2000 ως Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου και εποπτεύεται από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Καινοτομίας του Υπουργείου Ανάπτυξης και Επενδύσεων. Στόχος είναι αυτό το Πάρκο Υδρογόνου να γίνει η ερευνητική βάση για την ανάπτυξη τεχνολογικών παραγωγής και χρήσης πράσινου υδρογόνου στο σύνολο

της ελληνικής επικράτειας. Σε ότι αφορά Μποδοσάκειο Νοσοκομείο Πτολεμαΐδας, θα παράγει μόνο του όλη την ενέργεια που χρειάζεται για ηλεκτροδότηση, θέρμανση και ψύξη, μέσω υδρογόνου. Έτσι θα καταστεί ένα Πράσινο νοσοκομείο, αφού δεν θα παράγει ρύπους, ενώ θα διαθέτει το φωτοβολταϊκό πάρκο που θα τροφοδοτεί με ενέργεια τον πρώτο κόμβο υδρογόνου στην Ελλάδα, ο οποίος θα εγκατασταθεί σε χώρο που παραχώρησε ο δήμος Εορδαίας και με τη σειρά του θα παρέχει ηλεκτρισμό αλλά και νερό, που θα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση και την ψύξη του νοσοκομείου. Το έργο χρηματοδοτείται από την Γενική Διεύθυνση Περιφερειακής Πολιτικής και Αστικής Ανάπτυξης (DG REGIO) της Ευρωπαϊκής Ένωσης. ( **ΕΚΕΤΑ 2022**)

### 6.3 Παραγωγή “Μπλέ Υδρογόνου” στη Δ. Μακεδονία

Στην περίπτωση της Δυτικής Μακεδονίας το υδρογόνο θα παράγεται από φυσικό αέριο, πρόκειται δηλαδή για το λεγόμενο «μπλε υδρογόνο» σε αντιδιαστολή με το «πράσινο υδρογόνο» που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Το πρώτο μεγάλης κλίμακας «πείραμα» για την αστική χρήση του υδρογόνου μπαίνει σύντομα σε εφαρμογή στη Δυτική Μακεδονία. Θα υλοποιηθεί σε μεγάλα χωριά ή κωμοπόλεις με βάση τον σχεδιασμό της Δημόσιας Επιχείρησης Δικτύων Διανομής Αερίου (ΔΕΔΑ) και θα το μετατρέψει σε «χωριό υδρογόνου», προκειμένου να μελετηθούν σε πραγματικές συνθήκες τα δεδομένα της παραγωγής, μεταφοράς και χρήσης του υδρογόνου για αστική κατανάλωση και ηλεκτροπαραγωγή.

Σύμφωνα με τον σχεδιασμό το φυσικό αέριο θα μεταφέρεται σε συμπιεσμένη μορφή (CNG) στο σημείο κατανάλωσης και θα αξιοποιείται με δύο τρόπους:

- Θα διανέμεται μέσω δικτύου απευθείας στα σπίτια και χρήση σε λέβητες θέρμανσης (η ΔΕΔΑ έχει ξεκινήσει επαφές με ευρωπαϊκούς οίκους που έχουν την τεχνογνωσία για λέβητες υδρογόνου).
- Θα μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών των κατοίκων σε ρεύμα. (ΔΕΔΑ 2023)

Το ύψος της επένδυσης για την υλοποίηση του πιλοτικού έργου εκτιμάται σε 1,5 – 2,5 εκατ. ευρώ. Σε επόμενη φάση το υδρογόνο θα παράγεται με πρώτη ύλη το βιοαέριο αντί για φυσικό αέριο και το έργο θα συνδυαστεί με το πρόγραμμα της ΔΕΔΑ για εκμετάλλευση του εγχωρίως παραγόμενου βιοαερίου το οποίο – σύμφωνα με τις

προκαταρκτικές μελέτες – μπορεί να καλύψει ζήτηση που αντιστοιχεί σε περισσότερο από 1 δισεκατομμύριο κυβικά μέτρα φυσικού αερίου το χρόνο. Το βιοαέριο παράγεται από τα απόβλητα και τα παραπροϊόντα της κτηνοτροφίας και της αγροτικής παραγωγής, που σημαίνει ότι η πρώτη ύλη είναι διάσπαρτη ανά την Ελλάδα. Οι μελέτες της ΔΕΔΑ υποδεικνύουν την κατασκευή μικρών μονάδων παραγωγής βιοαερίου, της τάξης των 3 MW που θα εκμεταλλεύονται τοπικά την πρώτη ύλη και την διοχέτευση του βιοαερίου στα δίκτυα της εταιρείας. **(ΔΕΔΑ 2023)**

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναντίρρητα το υδρογόνο φαίνεται να αποτελεί την ιδεώδη ενεργειακή λύση για τα επόμενα 50 χρόνια, αφού προσδύει σε ζητήματα όπως η ενεργειακή ασφάλεια, το κόστος παραγωγής, η προστασία του περιβάλλοντος και η τεχνολογική εξέλιξη των μεθόδων παραγωγής. Αυτό ισχύει και για την χώρα μας, η οποία μέχρι σήμερα είναι στενά εξαρτημένη με τα ορυκτά καύσιμα και πληρώνει μεγάλο κόστος για τη προμήθεια τους.

Σε πρώτη φάση μπορεί να δοθεί μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη του δικτύου μεταφοράς  $H_2$  για εφαρμογές που έχουν να κάνουν με τις μεταφορές. Ο λόγος είναι ότι στις μεταφορές χρησιμοποιούνται σήμερα αποκλειστικά ορυκτά καύσιμα και επιβαρύνουν σημαντικά την ατμόσφαιρα με αέρια του θερμοκηπίου. Άρα αναζητούνται λύσεις. Σε περίπτωση που η εκτεταμένη ηλεκτροκίνηση δεν καταστεί δυνατή στις μεταφορές για τους παραπάνω λόγους, τότε η χρήση  $H_2$  θα αποτελέσει μονόδρομο. Η αύξηση του κόστους στην περίπτωση αυτή θα είναι σημαντική αλλά όχι απαγορευτική λόγω του μεγάλου όγκου παραγωγής. Τα τεχνικά προβλήματα που θα πρέπει να ξεπεραστούν για την ευρεία διάδοση του  $H_2$  στις μεταφορές είναι η αποθήκευσή του, η ανάγκη για ανάπτυξη δικτύων ανεφοδιασμού, η βελτίωση και η εγκατάσταση περισσότερων μονάδων παραγωγής υδρογόνου καθώς και η αύξηση της διάρκειας ζωής των Κυψελών Καυσίμου.

Στην Ελλάδα είναι απαραίτητο τα επόμενα χρόνια να δημιουργηθούν περισσότερες μονάδες παραγωγής πράσινου υδρογόνου, όπως αυτή του

ενεργειακού πάρκου στην Πτολεμαΐδα, ώστε να μπορούμε να μιλάμε για σταδιακή μετάβαση από την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων σε υδρογόνο. Προς το παρόν, οι εγκαταστάσεις που ήδη υπάρχουν ή επρόκειτο να δημιουργηθούν, αφορούν την μεταφορά του υδρογόνου και όχι τόσο την παραγωγή του. Οι μονάδες παραγωγής υδρογόνου οποιασδήποτε μορφής, δεν επαρκούν για τον διαμερισμό του υδρογόνου σε όλη την επικράτεια της χώρας, ωστόσο υπάρχουν πολλά φιλόδοξα σχέδια για τα επόμενα 20 χρόνια σύμφωνα με τα σχέδια της ΔΕΗ και της Motor Oil.

## 8. ΠΗΓΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. [International Journal of Hydrogen Energy | ScienceDirect.com by Elsevier](#)
2. Νικολετόπουλος, Β. (2021) 'Το Υδρογόνο κατά της Κλιματικής Αλλαγής'. Natural Resources PC website. Available at: <http://www.naturalresources.gr/Articles/>.
3. MATTHES CORNELIUS, VALERIA ARUFFO, and LOUIS RETBY-PRADEAU (no date) Green Hydrogen Production and Export From the MENA Region to Europe", MENA HYDROGEN ALLIANCE (2020). Available at: <https://dii-desertenergy.org/wp-content/uploads/2020/12/Green-Hydrogen-from-MENA-to-Europe-Policy-Paper.pdf>.
4. Iberdrola (2022) 'Iberdrola commissions the largest green hydrogen plant for industrial use in Europe', what we do. Available at: <https://www.iberdrola.com/about-us/what-we-do/green-hydrogen/puertollano-green-hydrogen-plant>.
5. Rachel Parkes (2022) 'Plug Power to build "one of Europe's largest" green hydrogen plants with 100MW Belgian port project', Available at: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/plug-power-to-build-one-of-europes-largest-green-hydrogen-plants-with-100mw-belgian-port-project/2-1-1233944>.
6. Directorate-General for Energy (2022) In focus: Renewable hydrogen to decarbonise the EU's energy system. News Article. EU commission. Available at: [https://commission.europa.eu/news/focus-renewable-hydrogen-decarbonise-eus-energy-system-2022-11-15-0\\_en](https://commission.europa.eu/news/focus-renewable-hydrogen-decarbonise-eus-energy-system-2022-11-15-0_en).

7. EU commission Energy report (2022) ‘Hydrogen intergration, EU commision’ . Available at: <https://dii-desertenergy.org/wp-content/uploads/2020/12/Green-Hydrogen-from-MENA-to-Europe-Policy-Paper.pdf>.
8. AMOT industries, (2022) ‘Ready for a carbon-neutral future for our global economy? - Hydrogen Economy / Value Chain.’ Available at: <https://www.amot.com/en/industries/renewables/hydrogen/>.
9. CAROLE NAKHLE (July 2021) ‘The hydrogen craze hits the Middle East’, Energy Transition. Available at: <https://www.gisreportsonline.com/r/middle-east-hydrogen/>.
10. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Available at: <https://www.nasa.gov/content/space-applications-of-hydrogen-and-fuel-cells/>
11. Ian Barlow and Nikos Tsafos (2021) ‘Russia’s Hydrogen Energy Strategy’, October. Available at: <https://www.csis.org/analysis/russias-hydrogen-energy-strategy>.
12. Alexander Brown and Nis Grünberg (1 July 2022) ‘Green hydrogen in China’. Available at: <https://www.merics.org/en/podcast/green-hydrogen-china-alexander-brown-and-nis-grunberg>
13. ΘΟΔΩΡΗΣ ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ (2021) ‘Ο Τομέας Της Ενέργειας Στην Ελλάδα: Μια αναλυτική χαρτογράφηση των ραγδαίων αλλαγών που συντελούνται στον τομέα της ενέργειας στην Ελλάδα -και των μεγάλων αλλαγών που πρόκειται να έρθουν.’, April. Available at: <https://www.dianeosis.org/2021/04/i-energeia-stin-ellada/>.
14. ‘REPowerEU: ένα σχέδιο για ταχεία μείωση της εξάρτησης από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα και την επιτάχυνση της πράσινης μετάβασης.’ (2022), Available at: [https://greece.representation.ec.europa.eu/news/repowereu-ena-shedio-gia-taheia-meiosi-tis-exartisis-apo-ta-rosika-orykta-kaysima-kai-tin-epitahynsi-2022-05-19\\_el](https://greece.representation.ec.europa.eu/news/repowereu-ena-shedio-gia-taheia-meiosi-tis-exartisis-apo-ta-rosika-orykta-kaysima-kai-tin-epitahynsi-2022-05-19_el)
15. Editorial (2023) ‘Υδρογόνο: Το φιλόδοξο σχέδιο της Ε.Ε. και η θέση της Ελλάδας’, March.\* Available at: <https://www.moneyreview.gr/green-economy/104652/ydrogono-to-filodoxo-schedio-tis-e-e-kai-i-thesi-tis-elladas/>
16. ΔΕΗ. <https://energymag.gr/news/latest-news/epicheiriseis/ti-etoimazoun-dei-kai-motor-oil-gia-tin-epomeni-mera-tis-energeias/>
17. Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου (ΔΕΣΦΑ.) Available at : <https://www.desfa.gr/press-center/press-releases/oi-prooptikes-toy-ydrogonoy->



sto-energeiako-topio-ths-elladas-sto-epikentro-toy-synedrioy-toy-desfa-kai-toy-panepisthmiou-peiraiws

18. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ 2023), Available at:  
<https://ypen.gov.gr/energeia/ape/technologies/>
19. Δημόσια Επιχείρηση Δικτύων Διανομής Αερίου (ΔΕΔΑ) (2023), Available at:  
<https://deda.gr/>
20. Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης – ΕΚΕΤΑ 2022,  
Available at:<https://www.certh.gr/root.el.aspx>