



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Αφαλάτωση Νερού Για Πράσινο Υδρογόνο»

Επιβλέπων καθηγητής

Ιωάννης Σαρρής

Εξεταστική Επιτροπή

Ιωάννης Σαρρής

Κανετάκη Ζωή

Προεστάκης Εμμανουήλ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Κατσούλη Σωτηρία του Βασιλείου, με αριθμό μητρώου 51204111 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της 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



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΕΛΙΔΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2-3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2. ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ H₂	7
3.1 ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (H ₂)	8
3. Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	10
3.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	11
3.2 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ	13
3.3 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ	15
4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	18
5. ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΩΣ ΦΟΡΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	31
6. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΑΛΜΥΡΟ ΝΕΡΟ	36
7. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	38
8. ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ, ΤΟΠΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΕΣ	42
8.1 ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΜΕΘΟΔΟ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	44
9. ΠΙΛΟΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΜΟΝΑΔΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΤΟ	48
10. ΠΟΣΟ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ ΚΑΙ ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ;	52
10.1 Η ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΧΡΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	56
11. ΠΟΙΕΣ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΟΥ ΓΙΝΕΤΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΜΕΝΟ ΝΕΡΟ ΤΑ ΕΠΟΜΕΝΑ 10-20 ΧΡΟΝΙΑ;	73
12. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	75

13. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ και ΛΥΜΑΤΑ	84
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	92
14. ΠΙΝΑΚΕΣ - ΕΙΚΟΝΕΣ	94-95
15. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ	96-97

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι παγκοσμίως γνωστό ότι με υπάρχοντα αποθέματα των «συμβατικών» καυσίμων να εξαντλούνται και με δεδομένη επιβάρυνση του αέριου περιβάλλοντος από τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, προκύπτει η ανάγκη εντατικοποιηθεί η έρευνα για την ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων που να παράγουν «πράσινη ή καθαρή» ενέργεια. Από τις εκατοντάδες μελέτες που έχουν διεξαχθεί τις τελευταίες δεκαετίες, οι περισσότερες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι ίσως η πιο διαδεδομένη είναι η ηλεκτρόλυση του νερού (παραγωγή υδρογόνου) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα, με σωστή τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στοιχείων μπορεί να αυξηθεί σημαντικά η παραγόμενη ενέργεια.

Εδώ και πολλές δεκαετίες και έως τις μέρες μας η κυρίαρχη πηγή ενέργειας είναι τα ορυκτά καύσιμα. Ακόμα και σήμερα παρατηρούνται μεγάλα αποθέματα ορυκτών καυσίμων που μπορούν να μας καλύψουν για 200 ακόμη χρόνια, ενώ το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο εφοδιάζουν τις καταναλώσεις με επαρκή ποσότητα κρατώντας τις τιμές σε σχετικά ανεκτό επίπεδο. Από τις καταγραφές των τελευταίων 30 ετών όμως αναδείχτηκαν ανησυχητικές προοπτικές για την παραπάνω κατηγορία πηγών ενέργειας (ορυκτά καύσιμα). Έχει αποδειχτεί πλέον ότι τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων δεν θα είναι αιώνια και ειδικότερα η εκτίμηση είναι ότι πιθανώς θα εξαντληθούν μέσα στα επόμενα 40-50 χρόνια. Οι κύριες αιτίες γι' αυτή την εκτίμηση είναι οι εξής :

- i. Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού ανά τον κόσμο και
- ii. Η αυξανόμενη ζήτηση για βελτιωμένο βιοτικό επίπεδο τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Αυτές (οι αιτίες) έχουν προκαλέσει σημαντική επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, ιδιαίτερα των εκπεμπόμενων ρύπων θερμοκηπίου. Σημαντική επίπτωση έχουν και στην ανθρώπινη υγεία η οποία επιβαρύνεται από τις από τις εκπομπές CO₂ και των άλλων αερίων, όπως διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, μονοξειδίου του άνθρακα. Επίσης με την ανύψωση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, εξαιτίας της έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου παρατηρούνται σοβαρές επιπτώσεις στην γεωργία, τα υδατικά αποθέματα, τις φυσικές καταστροφές, την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας κ.α. που έχουν άμεση επίδραση στη ζωή των ανθρώπων, στην οικονομία και τη διατήρηση των οικοσυστημάτων.

Η πράσινη ενέργεια (Ανανεώσιμες πηγές ενέργεια ΑΠΕ) που παράγεται από τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια (Υ/Η) με δεδομένη την μείωση των υδάτινων αποθεμάτων δεν επαρκεί και καλύπτει ένα πολύ μικρό ποσοστό των αναγκών. Η πυρηνική ενέργεια η οποία δεν παράγει εκπομπές αέριων ρύπων έχει το μειονέκτημα παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων (ραδιενεργά), για τα οποία η διαχείριση των είναι δύσκολη και μεγάλου κόστους, ενώ ταυτόχρονα ενέχουν τον κίνδυνο πυρηνικών ατυχημάτων με κίνδυνο διαρροής μεγάλων ποσοτήτων ραδιενέργειας που θα έχει καταστροφικές συνέπειες για την ανθρωπότητα όπως η περίπτωση του Chernobil το 1986.

Απέναντι σε παρόμοια διλήμματα η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα εντατικοποίησε την έρευνα για την ανεύρεση πράσινων, καθαρών, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε αυτή την κατεύθυνση βελτιστοποιήθηκε σε σημαντικό βαθμό η αποδοτικότητα της αιολικής ενέργειας (ανεμογεννήτριες) και της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργεια (φωτοβολταϊκά), που σε χώρες όπως η Ελλάδα με υψηλό αιολικό δυναμικό και μακριά περίοδο ηλιοφάνειας μπορούν να αξιοποιηθούν στο έπακρο. Η τεχνολογία στους παραπάνω τομείς εξελίσσεται συνεχώς και ενώ αρχικά ήταν απαγορευτικά ακριβά, σήμερα βελτιώνονται σε απόδοση και πέφτουν οι τιμές.

Παρόλα αυτά με αυτές τις λύσεις δεν αντιμετωπίζεται στο σύνολο του το ενεργειακό ζήτημα αφού δεν παρέχουν υπάρχει συνεχή παραγωγή ενέργειας γιατί όπως αντιλαμβανόμαστε δεν είναι δυνατή η παραγωγή τους 12 μήνες τον χρόνο. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα γίνεται προσπάθεια να βελτιστοποιηθεί η δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με συστοιχίες μπαταριών που έχουν αποτέλεσμα στην αποθήκευση ενέργειας, αλλά πάσχει σε ότι αφορά στο κόστος και στον χρόνο αυτονομίας σε ενέργεια.

Ως απάντηση στον προαναφερθέντα προβληματισμό προτείνεται τις τελευταίες 2 δεκαετίες χρήση του υδρογόνου ως ενεργειακή πηγή, το οποίο ήδη χρησιμοποιείται σε διάφορες χώρες όπως Ιαπωνία , Καναδάς , ΗΠΑ και Γερμανία.

Βασική ιδιότητα του υδρογόνου είναι ότι αποτελεί καύσιμο με υψηλή θερμογόνο αξία, από την καύσης του οποίου παράγεται είναι μόνο το νερό και δίνει τη δυνατότητα να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς σημαντικές απώλειες. Για τη παραγωγή του χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντα ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και σε ότι αφορά στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα θεωρείται ότι έχει πολύ χαμηλή επίπτωση στα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το υδρογόνο είναι κατάλληλο ως ενεργειακή πηγή όχι μόνο για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά είναι δυνατή η χρήση του και ως ενεργειακή πηγή για τη κίνηση οχημάτων σε αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Δεν παύει όμως το υδρογόνο είναι “δευτερογενές καύσιμο”, δηλαδή δεν απαντάται ελεύθερο στη φύση παρά μόνο στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και για τη παραγωγή του απαιτείται η κατανάλωση άλλων μορφών ενέργειας ή και άλλων πρωτογενών καυσίμων. Έχει πέσει όπως είναι κατανοητό, σε πολύ μεγάλο βαθμό η έρευνα στην βελτιστοποίηση των μεθόδων παραγωγής του και της τεχνολογίας, προκειμένου να μειωθεί το κόστος παραγωγής του σε ανταγωνιστικά επίπεδα σε σύγκριση με τα άλλα καύσιμα. Την ίδια στιγμή γίνεται σημαντική έρευνα για την ανάπτυξη μεθόδων αποθήκευσης, μεταφοράς και χρήσης του που θα είναι συμφερόμενος [1].

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Αφαλάτωση και Παραγωγή Πράσινου Οξυγόνου» αποτελεί την Διπλωματική Εργασία του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

Το μεγάλο ενδιαφέρον αλλά και η πρόκληση για τις καθαρές τεχνολογίες για την πράσινη ενέργεια αποτέλεσε κίνητρο για την διερεύνηση του συγκεκριμένου θέματος. Η παρούσα διπλωματική εργασία μπορεί να αποτελέσει μια περαιτέρω το συμβολή για την εκβάθυνση στο μεγάλο θέμα της αφαλάτωσης και παραγωγής Πράσινου H₂, το οποίο δεν έχει διερευνηθεί διεξοδικά στην χώρα μας ακόμα. Ο βασικός στόχος της εργασίας είναι να καταλήξει συμπερασματικά, κατά πόσον η παραγωγή πράσινου H₂ μέσω αφαλάτωσης μπορεί να αποτελέσει μέρος της λύσης για το ενεργειακό πρόβλημα στη χώρα μας και για άλλες παραθαλάσσιες χώρες.

Υπό το πρίσμα της παγκόσμιας ενεργειακής κρίσης και της συμβολής της στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, την πληθυσμιακή αύξηση και την αλόγιστη χρήση του πόσιμου νερού, το θέμα αυτό αφορά τη διερεύνηση και τεκμηρίωση της εφαρμογής των τεχνολογιών αφαλάτωσης παγκοσμίως και στην ελληνική περιφέρεια.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εμπειρία άλλων χωρών, ιδιαίτερα εκείνων που αντιμετωπίζουν σοβαρότερα ενεργειακά προβλήματα καθώς και λειψυδρία και τη διατήρηση και καλύτερη διαχείριση των αποθεμάτων πόσιμου νερού, που πρέπει να γίνει στη χώρα μας λόγω της αυξανόμενης ζήτησης, αλλά και της περιβαλλοντικής ρύπανσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το υδρογόνο H_2 ως χημικό στοιχείο καθώς και οι ιδιότητες του, στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην αφαλάτωση και τις κύριες μεθόδους της, όπως στην αφαλάτωση με αλλαγή φάσης και στην αφαλάτωση με χρήση μεμβρανών. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις υπάρχουσες τεχνολογίες παραγωγής υδρογόνου ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο εξετάζεται το υδρογόνο ως φορέας ενέργειας. Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται στην παραγωγή πράσινου υδρογόνου από αλμυρό νερό στην Ελλάδα και παγκοσμίως ενώ από την άλλη στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις μονάδες αφαλάτωσης. Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται αναφορά στο κόστος του πράσινου υδρογόνου, τη τοπική αλυσίδα αξίας και τις κοινωνικές σταθερότητες και το κόστος ανά μέθοδο αφαλάτωσης (όγδοο κεφάλαιο), ειδική αναφορά για το πιλοτικό πρόγραμμα με μονάδα αφαλάτωσης και παραγωγής υδρογόνου από ΑΠΕ στην νήσο Ίο (ένατο κεφάλαιο), την διαθεσιμότητα πόσιμου νερού παγκοσμίως και ποια είναι η ζήτηση του (δέκατο κεφάλαιο).

Στα τρία τελευταία κεφάλαια παρουσιάζονται οι περιοχές που γίνεται αφαλάτωση και οι προβλέψεις για αφαλατωμένο νερό τα επόμενα 10 - 20 χρόνια (εντέκατο κεφάλαιο), μια περίπτωση ανάλυσης κύκλου ζωής παραγωγής H_2 από αφαλατωμένο νερό (δωδέκατο κεφάλαιο) και τέλος σχετικά με τη παραγωγή πράσινου υδρογόνου από πόσιμο νερό και λύματα (δέκατο τρίτο κεφάλαιο).

2. ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ H_2

Από τις βασικές γνώσεις χημείας πληροφορούμαστε ότι το υδρογόνο είναι ένα χημικό στοιχείο, που αποτελεί βασικό συστατικό του νερού. Ειδικότερα αποτελεί βασικό συστατικό στοιχείο των υδρογονανθράκων, των υδατανθράκων (σάκχαρα), της αμμωνίας σε ορισμένα λιπάσματα, των βιομηχανικών αερίων και των υδρογονωμένων ελαίων. Από δημοσιογραφικές αναφορές επίσης ακούμε για την περιβόητη βόμβα υδρογόνου. Κύριος ενεργειακός χρήστης του υδρογόνου μέχρι πρόσφατα ήταν η διαστημική βιομηχανία, αλλά αυτή από την φύση της είναι περιορισμένη. Όπως όμως αναφέραμε η ιδιαίτερη έμφαση που έχει δοθεί τις τελευταίες δεκαετίες στον ελάττωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, και ιδιαίτερα στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, το υδρογόνο απέκτησε μια δεσπόζουσα θέση και η χρήση του ως πηγή ενέργειας, ή και πρώτη ύλη, αποτελεί μια “νέα αξία” αφού έχει χαμηλότερο έως μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα. Με δεδομένο όπως προαναφέραμε ότι το στοιχείο αυτό δεν βρίσκεται σε ελεύθερη μορφή στη φύση, το πόσο φιλικό προς το περιβάλλον είναι στη χρήση του ως πηγή ενέργειας, το κρίσιμο ζήτημα για να διαδοθεί σε μεγάλη έκταση η χρήση σχετίζεται με τις ενεργειακές απαιτήσεις και την πρώτη ύλη που απαιτούνται για την παραγωγή του. Με τα σημερινά δεδομένα το υδρογόνο

προέρχεται από τρεις κατηγορίες πηγών υδρογόνου: η 1^η είναι το φυσικό αέριο (η κύρια πηγή σήμερα) δηλαδή το μεθάνιο και ο άνθρακας, η 2^η είναι από την μέσω της ηλεκτρόλυσης νερού και τη ταυτόχρονη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (“power-to-gas”) και 3^η το βιοαέριο και τα οργανικά και βιομηχανικά απόβλητα. Οι διαδικασίες παραγωγής H₂ και η εκπομπή διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) ή όχι, επίσης αν το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα αυτό συλλέγεται και αποθηκεύεται (CCS) ή –ακόμη καλύτερα—επαναχρησιμοποιείται, το παραγόμενο υδρογόνο χαρακτηρίζεται στις κατηγορίες “μαύρο”, “γκρίζο”, “μπλέ” ή “πράσινο”. Ενδεικτικά να αναφέρουμε ότι η ονομασία “μαύρο” δίνεται στο υδρογόνο που παράγεται με 1^η ύλη τον λιγνίτη χωρίς χρήση CCS ενώ, στον αντίποδα, “πράσινο” ονομάζεται το υδρογόνο που παράγεται μέσω της ηλεκτρόλυσης νερού με τη ταυτόχρονη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

Να σημειώσουμε επίσης ότι το υδρογόνο είναι ένα σημαντικό μέσο αποθήκευσης αλλά και εξισορρόπησης των δικτύων διανομής ενέργειας: όταν το πλεόνασμα από την παραγωγή αιολικής και η ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης, το υδρογόνο μπορεί να ανακτήσει την ενέργεια αργότερα, π.χ. με τη δημιουργία ηλεκτρικής ενέργειας και θερμικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου, που επιτρέπει την ανάμειξη υδρογόνου στο δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου ή και τη μετατροπή του στο ονομαζόμενο “αέριο σύνθεσης”. Παρόλα αυτά σε μεγάλο μέρος των περιβαλλοντολόγων επικρατεί αντίθετη άποψη για τη μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμα και από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), σε υδρογόνο, επειδή απαιτεί να υπάρχει εγκατεστημένη μια ακόμα μεγαλύτερη σε ισχύ μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Δηλαδή η αντίθεση έχει τη βάση της σε κριτήρια κόστους παραγωγής, ισχυριζόμενη ότι αναπαράγει πολύ φθηνή ηλεκτρική ενέργεια, είναι προτιμότερο να την καταναλώνεις άμεσα παρά να την χρησιμοποιείς για την παραγωγή υδρογόνου [2].

2.1 ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (H₂)

Το υδρογόνο αποτελεί το 90% της μάζας του σύμπαντος, παρόλο που είναι το ελαφρύτερο χημικό στοιχείο. Είναι το απλούστερο στοιχείο γιατί αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Στη Γη, υπάρχει κυρίως με τη μορφή οξειδίου του, το νερό. Υπάρχει επίσης σε αφθονία σε υδρογονάνθρακες με τον γενικό τύπο C_xH_y, αλλά ως καθαρό στοιχείο υπάρχει μόνο σε ίχνη (0,00001%) στην ατμόσφαιρα επειδή τείνει να ανεβαίνει γρήγορα σε πιο ψηλά και να διαφεύγει από την ατμόσφαιρα στο διάστημα. Μεγαλύτερο από το 30% της μάζας του ήλιου αποτελείται από ατομικό υδρογόνο. Είναι ένα χημικό στοιχείο άγευστο, άχρωμο και άοσμο αέριο, με μοριακό βάρος 2,016. Η πυκνότητα του είναι 0,0899 g/l (14,4 φορές

μικρότερη του αέρα) και βράζει στους $-257,77\text{ }^{\circ}\text{C}$. Το υγρό υδρογόνο έχει πυκνότητα $70,99\text{ g/l}$. Με αυτές τις ιδιότητες το υδρογόνο έχει την υψηλότερη αναλογία ενέργειας προς βάρος από όλα τα καύσιμα επομένως ταιριάζει σε εφαρμογές που έχει σημασία το βάρος παρά ο όγκος. 1 kg υδρογόνου καιγόμενο δίνει $119,972\text{ kJ}$ δηλαδή 1 kg υδρογόνου περιέχει το ίδιο ποσό ενέργειας με $2,1\text{ kg}$ βενζίνης. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι στο νερό περιέχεται κατά $11,2\text{ \%}$. Το υδρογόνο καίγεται στον αέρα σε συγκεντρώσεις μεταξύ 4 και 75% κατ' όγκο, ενώ το μεθάνιο καίγεται μεταξύ $5,3$ και 15% και το προπάνιο μεταξύ $2,1$ και $9,5\%$ συγκεντρώσεων κατ' όγκο. Η υψηλότερη θερμοκρασία καύσης του υδρογόνου είναι $2318\text{ }^{\circ}\text{C}$ όταν καίγεται σε αναλογία 29% στον αέρα, ενώ σε ατμόσφαιρα οξυγόνου η θερμοκρασία φτάνει τους $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την ανάφλεξη είναι $0,02\text{ mJ}$ για το υδρογόνο $2,29\text{ mJ}$ για το μεθάνιο και $0,26\text{ mJ}$ για το προπάνιο σε στοιχειομετρική αναλογία καυσίμου / οξυγόνου. Οι θερμοκρασίες για την αυθόρμητη καύση του υδρογόνου, του μεθανίου και του προπανίου είναι $585\text{ }^{\circ}\text{C}$, $540\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $487\text{ }^{\circ}\text{C}$ αντίστοιχα. Τα όρια έκρηξης του υδρογόνου είναι μεταξύ 13% και 65% , ενώ του μεθανίου είναι πολύ μικρότερα μεταξύ $6,3$ και 14% αλλά το μεθάνιο εκρήγνυται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Ο συντελεστής διάχυσης του υδρογόνου είναι $0,61\text{ cm}^3/\text{s}$, δηλαδή 4 φορές μεγαλύτερος από αυτόν του μεθανίου. Ως αποτέλεσμα, το υδρογόνο αναμιγνύεται με τον αέρα πολύ πιο γρήγορα από το μεθάνιο ή τους απλούς υδρογονάνθρακες, ένα πλεονέκτημα στους ανοιχτούς χώρους αλλά ένα σοβαρό μειονέκτημα σε εσωτερικούς χώρους που δεν αερίζονται καλά. Επειδή το υδρογόνο και το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερα από τον αέρα, ανεβαίνουν γρήγορα, ενώ οι ατμοί του προπανίου και της βενζίνης είναι βαρύτεροι από τον αέρα και παραμένουν στο έδαφος, επομένως υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος έκρηξης. Σύμφωνα με την πυκνότητα βάρους και την πυκνότητα όγκου του υδρογόνου και άλλων ενεργειακών φορέων, βλέπουμε μια συγκριτική μελέτη στον παρακάτω πίνακα.

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

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

Το αέριο υδρογόνο έχει μεγάλη τάση για διαρροή, και διαφεύγει σχετικά εύκολα και γρήγορα εάν βρει τη διέξοδό του. Διαρρέει $1,26$ έως $2,6$ φορές πιο γρήγορα από το φυσικό αέριο. Σε περίπτωση διαρροής, το υδρογόνο διαχέεται πολύ πιο γρήγορα από οποιοδήποτε άλλο καύσιμο [1].

3. Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Ο όρος αφαλάτωση αναφέρεται σε οποιαδήποτε διαδικασία αφαίρεσης αλατιού από ουσίες που περιέχουν αλάτι, κυρίως από υφάλμυρο νερό. Επομένως, είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσίνο και υφάλμυρο υπόγειο νερό.

Για να θεωρηθεί μια Μονάδα Αφαλάτωσης αποτελεσματική, πρέπει να ανταποκρίνεται σε ορισμένες προϋποθέσεις:

- ορθή επιλογή του τύπου της αφαλάτωσης,
- τεχνικά σωστός τρόπος εγκατάστασής της,
- τηρείτε αυστηρά τις προδιαγραφές λειτουργίας του.

Τα παραπάνω αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για:

- την ποιότητα του παραγόμενου νερού,
- την οικονομική λειτουργία της αφαλάτωσης, και
- τη μείωση του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος.

Ιστορικά οι παλαιότερες αναφορές για αρχαίες προσπάθειες αφαλάτωσης του νερού καταγράφονται από τους αρχαίους χρόνους: πρώτος ο περιπατητικός φιλόσοφος Αλέξανδρος ο Αφροδίσιος, παρουσίασε περίπου στο 200 π.Χ. την παραγωγή πόσιμου νερού από θαλασσίνο νερό, από ναύτες σε πλοίο, με τη χρήση σφουγγαριών, τα οποία απορροφούσαν τους ατμούς θαλασσινού νερού, όταν αυτό βραζόταν μέσα σε ένα ειδικό δοχείο. Πολύ αργότερα, το 1675, το Βρετανικό Βασιλικό Ναυτικό υπέβαλε αίτηση για το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μια συσκευή απόσταξης θαλασσινού νερού για την παραγωγή πόσιμου νερού. Από τότε μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, η πρόοδος ήταν αργή. Μετά το τέλος του Β' παγκοσμίου πολέμου, και τα επόμενα χρόνια εκδηλώθηκε όμως μεγάλο ενδιαφέρον για την αφαλάτωση με αποτέλεσμα να σημειωθεί πολύ μεγάλη βελτίωση της τεχνολογίας και των εφαρμογών αφαλάτωσης. Αρκεί να σκεφτούμε ότι το 2013 λειτουργούσαν 16.000 μονάδες αφαλάτωσης σε όλον τον κόσμο με σύνολο παραγωγής πάνω από 89 εκατ. m³/ημ. πόσιμου νερού. Υπάρχουν κάποιες περιοχές του πλανήτη, όπως η Μέση Ανατολή, λόγω του οξυμένου προβλήματος της λειψυδρίας, όπου η αφαλάτωση αποτελεί την κύρια μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού.

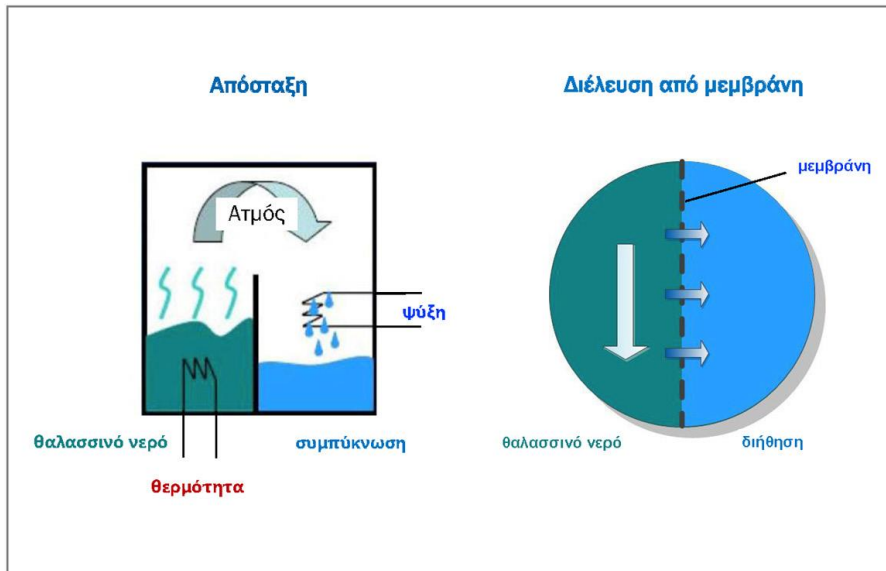


ΕΙΚΟΝΑ 2. Μονάδα αφαλάτωσης σε νησί των Κυκλάδων

3.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Τα συστήματα αφαλάτωσης διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες.

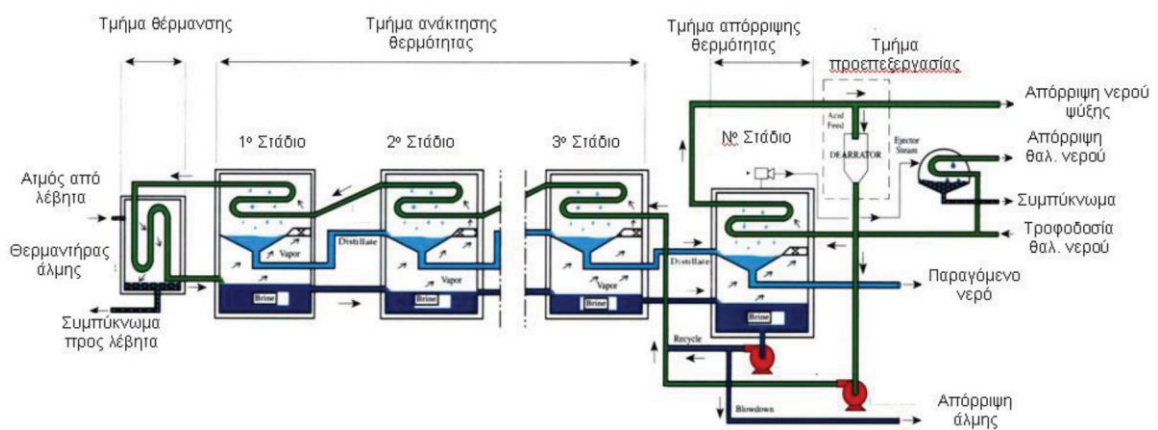
1. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται σε διεργασίες που χρησιμοποιούν μεταβάσεις φάσης (θερμικές διεργασίες) στις οποίες το νερό υφίσταται δύο μεταβάσεις φάσης, από υγρό σε αέριο και αντίστροφα, μέχρι να συμπυκνωθεί ξανά σε υγρή μορφή. Αυτές οι μέθοδοι είναι η απόσταξη και η κρυστάλλωση.
2. Η δεύτερη κατηγορία που αφορά σε διεργασίες που χρησιμοποιούν **μια μόνο φάση**, την υγρή, κατά την οποία χρησιμοποιούνται μεμβράνες προκειμένου να διαχωριστούν τα άλατα και οι άλλες προσμίξεις.. Οι μέθοδοι αυτές είναι η αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis), και η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis), οι οποίες χρησιμοποιούν μεμβράνες για την απομάκρυνση των αλάτων.



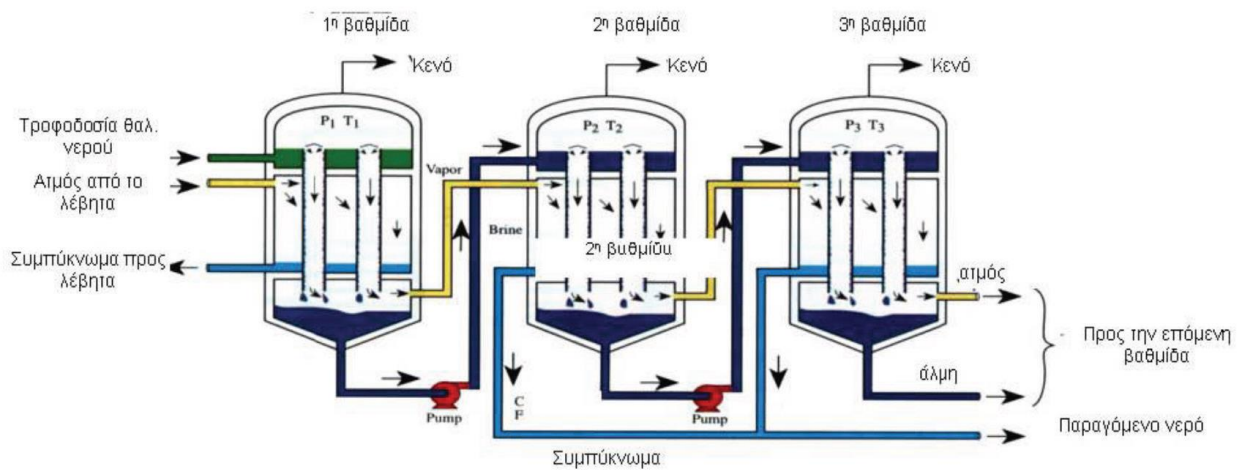
ΕΙΚΟΝΑ 3. Σχηματική απεικόνιση των δυο κατηγοριών αφαλάτωσης

Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται οι παρακάτω υποκατηγορίες:

- ο Πολυβάθμια εκτόνωση (Multiple Stage Flashing, MSF)
- ο Πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Stage Distillation MED)
- ο Εξάτμιση με συμπίεση ατμών (Vapor Compression VC)
- ο Ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation).



ΕΙΚΟΝΑ 4. Σχηματική απεικόνιση πολυβάθμιας εκτόνωσης (Multiple Stage Flashing, MSF)



ΕΙΚΟΝΑ5. Σχηματική απεικόνιση Πολυβάθμιας εξάτμισης (Multiple Effect Distillation, MED)

Στην δεύτερη κατηγορία εντάσσονται οι παρακάτω υποκατηγορίες:

- ο Αντίστροφη ώσμωση (reverse osmosis, RO)
- ο Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED)

Υπάρχουν και κάποιες άλλες μέθοδοι αφαλάτωσης, οι οποίες όμως βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο ή προς για την ώρα δεν είναι οικονομικά συμφέρουσες, όπως είναι η ιοντο-ανταλλαγή (Ion - Exchange Methods), το πάγωμα (Freezing) και οι υβριδικές μέθοδοι (Methanehydrate crystallization) [3].

3.2 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

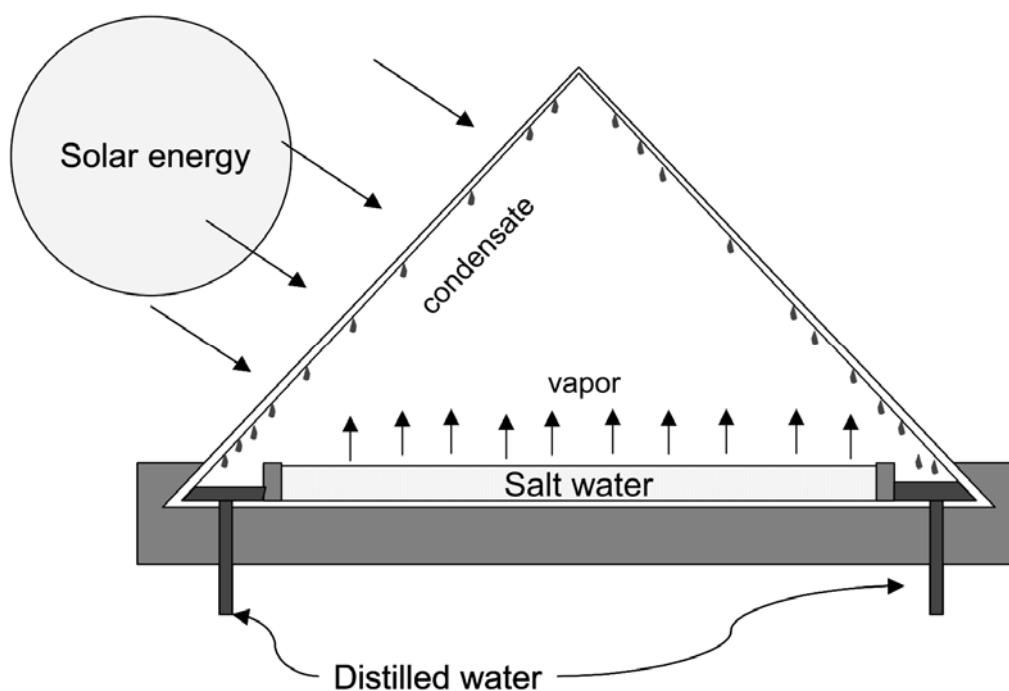
Μέθοδος απόσταξης

Η μέθοδος αυτή αποτελείται 1) από ένα τύπο βραστήρα εντός του οποίου γίνεται ο βρασμός του θαλασσινού νερού, 2) μια συστοιχία συμπύκνωσης προκειμένου να υγροποιηθούν οι ατμοί και 3) ένα σύστημα που έχει τον ρόλο να παραλαμβάνει το καθαρό νερό. Για να ολοκληρωθεί όλη αυτή η διαδικασία, χρειάζεται να παρέχεται θερμική ενέργεια. Αυτό επιτυγχάνεται με καυστήρες πετρελαίου ή αερίου, ηλιακή ενέργεια κ.λπ.

Η μέθοδος απόσταξης αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια:

Κατά το πρώτο στάδιο γίνεται η θέρμανση του θαλασσινού νερού. Κατά το δεύτερο στάδιο γίνεται η απομάκρυνση του παραγόμενου υδρατμού από το υγρό που παρήχθη και την ταυτόχρονη μεταφορά του σε άλλο χώρο. Κατά το τρίτο στάδιο έχουμε τη συμπύκνωση του υδρατμού φέρνοντάς τον σε επαφή με κάποιες ψυχρές επιφάνειες, με αποτέλεσμα να

μετατρέπεται σε υγρό. Κατά το τέταρτο και τελευταίο στάδιο γίνεται η μεταφορά και αποθήκευση του νερού που παράγεται σε δεξαμενές.



ΕΙΚΟΝΑ 6. Σχηματική απεικόνιση της ηλιακής απόσταξης

Μέθοδος κρυστάλλωσης

Η μέθοδος της κρυστάλλωσης έχει ως αρχή λειτουργίας μια γνωστή εξής φυσικοχημική ιδιότητα των υγρών: Όταν τα υδατικά διαλύματα αλάτων ψυχθούν μέχρι του σημείου πήξης τους, έχουμε το εξής φαινόμενο να αποβάλλονται καθαροί κρύσταλλοι νερού. Αυτή η μέθοδος της κρυστάλλωσης έχει κάποια πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την απόσταξη,

- Έχει μειωμένες πιθανότητες διάβρωσης από το αλμυρό νερό και
- Χρειάζεται χαμηλότερες δαπάνες αφού δεν πρέπει να γίνει εξαέρωση του νερού.

Οι γνωστές μέθοδοι κρυστάλλωσης είναι δυο: η μέθοδος της παγοποίησης και η μέθοδος της παγοποίησης με χημικό πρόσθετο (στη δεύτερη περίπτωση η επιτυγχάνουμε τη ψύξη χρησιμοποιώντας διάφορα ψυκτικά μέσα π.χ. το υγρό άζωτο, το ξηρό πάγο κ.α).

3.3 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Μέθοδος αντίστροφης ώσμωσης

Στην μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης η διύλιση του νερού γίνεται δια μέσου μιας συνθετικής μεμβράνης. Από αυτή τη μεμβράνη λόγω του ειδικού υλικού που έχει

κατασκευαστεί περνούν μόνο τα μόρια του νερού τα οποία συλλέγονται ως εντελώς καθαρό, φιλτραρισμένο νερό από την άλλη πλευρά της μεμβράνης. Τα ακάθαρτα υλικά και τα όποια επιβλαβή στοιχεία εγκλωβίζονται στην άλλη πλευρά της μεμβράνης αφού δεν μπορούν να τη διαπεράσουν και μετά απομακρύνονται.

Όσον αφορά το θαλασσινό νερό απαιτούνται να γίνουν συγκεκριμένα στάδια επεξεργασίας:

- **Στάδιο προεπεξεργασίας:** κατά το στάδιο αυτό καταστρέφονται οι υπάρχοντες μικροοργανισμοί και αφαιρούνται τα αιωρούμενα στερεά με σκοπό να εμποδιστεί η ανάπτυξη των όποιων μικροοργανισμών και η απόθεση των αλάτων στην επιφάνεια των μεμβρανών.

Το στάδιο της προεπεξεργασίας περιλαμβάνει:

1) Πέρασμα από το φίλτρο εισόδου (η πιο συνηθισμένη διεργασία είναι μέσω μια σχάρας στην αναρρόφηση, έτσι ώστε να παρεμποδίζεται η είσοδος ψαριών, φυκιών και άλλων θαλάσσιων οργανισμών)

β) Στάδιο της προχλωρίωσης του θαλάσσιου νερού (αυτό επιτυγχάνεται με τη προσθήκη διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου)

γ) Στάδιο προσθήκης θεικού οξέως με σκοπό τη ρύθμιση της οξύτητας (PH) ώστε να αποτρέπεται η απόθεση αλάτων στις επιφάνειες.

δ) Στάδιο Φίλτρασης με άμμο (δημιουργείται μια κλίση άμμο με χαλίκια για την να συγκρατούνται τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια μικρότερου μεγέθους).

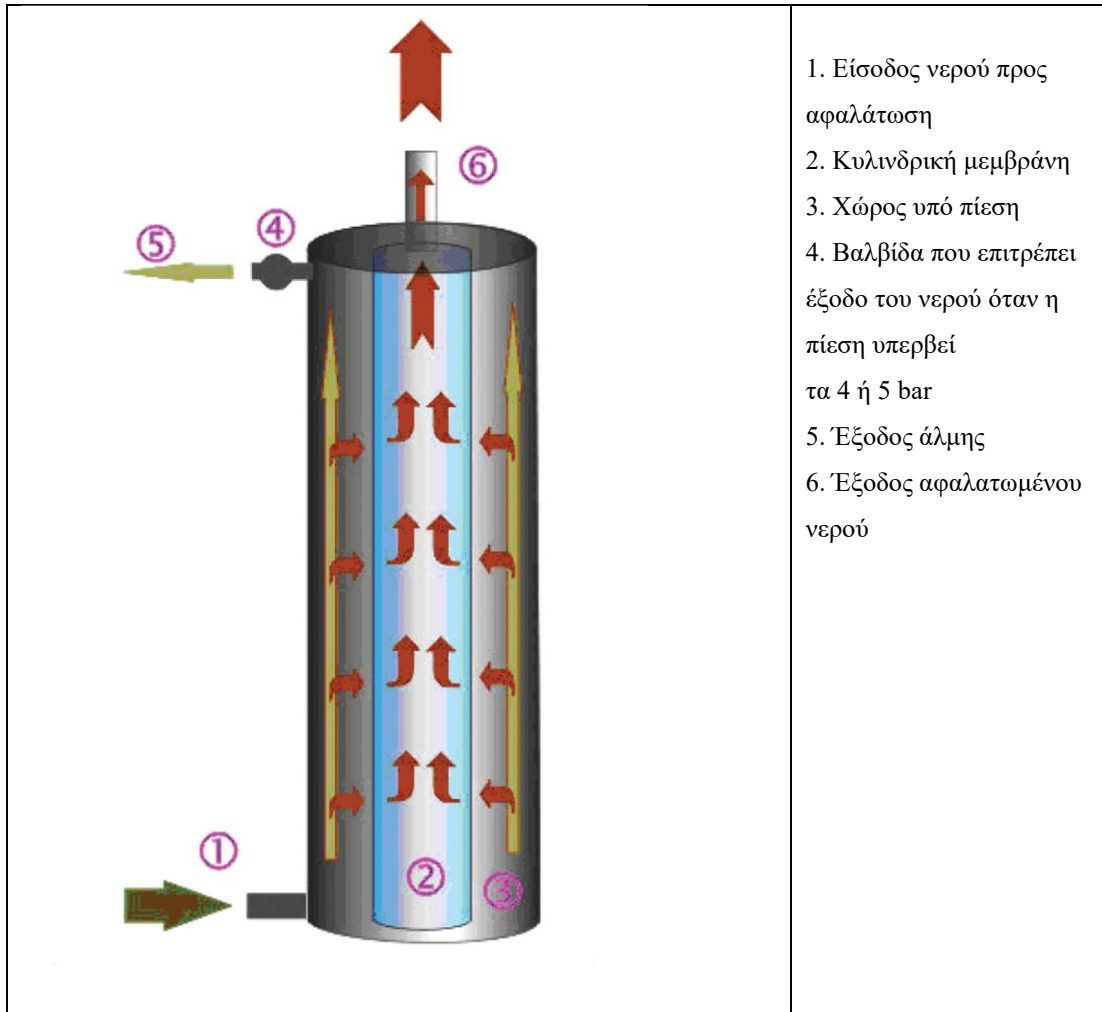
ε) Αποχλωρίωση με τη προσθήκη θειούχου νατρίου προκειμένου να επιτευχθεί η απομάκρυνση του υπάρχοντος ελεύθερου χλωρίου ώστε να αποφευχθεί η διάβρωση και καταστροφή της μεμβράνης.

στ) Αποστείρωση του υγρού με υπεριώδη ακτινοβολία

- **Στάδιο αντίστροφης ώσμωσης:** Κατά το στάδιο του διαχωρισμού με μεμβράνη, οι υπάρχουσες αντλίες υψηλής πίεσης χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή επαρκούς πίεσης ώστε να περάσει το νερό μέσω της μεμβράνης και να απομακρυνθούν τα συλλεχθέντα άλατα. Ενώ ένα μέρος του νερού διέρχεται από τη μεμβράνη, η αλατότητα του άλλου μέρους του νερού αυξάνεται. Ταυτόχρονα, μέρος του νερού που τροφοδοτείται στη μεμβράνη απορρίπτεται χωρίς να περάσει από τη μεμβράνη. Εάν δεν λάβει χώρα αυτή η ελεγχόμενη απόρριψη, η αλατότητα του νερού θα συνεχίσει να αυξάνεται συνεχώς, οδηγώντας τελικά στην καταβύθιση περίσσειας αλάτων και στην αύξηση της ωσμωτικής πίεσης κατά μήκος της μεμβράνης.

- **Τελικό στάδιο επεξεργασίας:** στο τελικό αυτό στάδιο επεξεργασίας σταθεροποιείται το παραγόμενο νερό και η προετοιμασία για τη διανομή του ως πόσιμο και αποτελείται από:

- Απομάκρυνση αερίων (π.χ υδρόθειο)
- Ρύθμιση της οξύτητας (pH) και αύξηση της σκληρότητας
- Τελική χλωρίωση



1. Είσοδος νερού προς αφαλάτωση
2. Κυλινδρική μεμβράνη
3. Χώρος υπό πίεση
4. Βαλβίδα που επιτρέπει έξοδο του νερού όταν η πίεση υπερβεί τα 4 ή 5 bar
5. Έξοδος άλμης
6. Έξοδος αφαλατωμένου νερού

ΕΙΚΟΝΑ 7. Σχηματική απεικόνιση Αντίστροφης ώσμωσης (Reverse Osmosis, RO)

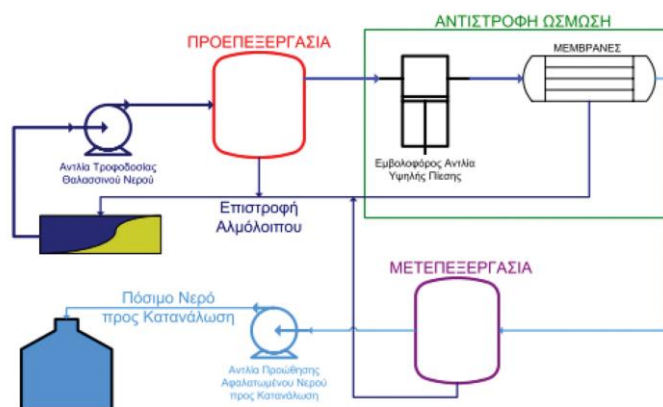
Η σημαντικότερη απώλεια ενέργειας με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης είναι η εκτόνωση της άλμης, όταν βγαίνει με υψηλή πίεση απ' τη συσκευή. Γι' αυτό, σε μεγάλες κυρίως μονάδες, υπάρχουν συστήματα ανάκτησης της ενέργειας αυτής (π.χ. υδροστρόβιλοι), με αποτελεσματικότητα μέχρι και 95%.

Μέθοδος ηλεκτροδιάλυσης

Με τη μέθοδο αυτή το σύστημα ηλεκτρικό πεδίο-μεμβράνη διαχωρίζει τα ιόντα των διαλυμένων αλάτων και τα απομακρύνει από το καθαρό νερό. Ιόντα είναι οι μονάδες των μετάλλων που βρίσκονται στο νερό και προέρχονται από τα διαλυμένα σε αυτό άλατα. Οι μονάδες αυτές είναι ηλεκτρικά φορτισμένες. Η ηλεκτροδιάλυση βασίζεται στη δράση ενός ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται όταν εφαρμόζεται ηλεκτρικό ρεύμα σε υδατικό

διάλυμα που περιέχει ιόντα. Όταν η ηλεκτροδιάλυση εφαρμόζεται στην αφαλάτωση, οι ηλεκτρολύτες χωρίζονται σε τρία διαμερίσματα και χρησιμοποιούνται δύο μεμβράνες ως διαχωριστές-στα δύο πλευρικά τοιχώματα βρίσκονται τα ηλεκτρόδια της συσκευής, τα οποία συνδέονται με τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος. Όταν το νερό τροφοδοτείται στη συσκευή, διέρχεται από τις μεμβράνες και από τους τρεις θαλάμους. Το ρεύμα μέσω της μεμβράνης αναγκάζει τα ιόντα να κινηθούν προς την κατεύθυνση των ηλεκτρονίων.

Η μεμβράνη επιτρέπει επιλεκτικά τη διέλευση των ιόντων. Συνεπώς, τα άλατα του θαλασσινού νερού κατευθύνονται στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια, τα οποία διέρχονται από τη μεμβράνη και αποβάλλονται από τον ενδιάμεσο θάλαμο. Μετά από αυτή τη διαδικασία, το νερό στον ενδιάμεσο θάλαμο περιέχει λιγότερα ιόντα από τα άλλα δύο, τα αρχικά άλατα απομακρύνονται, το νερό γίνεται καθαρό και μεταφέρεται έξω από τον εξοπλισμό.[6]



ΕΙΚΟΝΑ 8. Σχηματική απεικόνιση Ηλεκτροδιάλυσης (Electrodialysis, ED/EDr)

4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Το υδρογόνο είναι ένας υψηλής ποιότητας δευτερογενής φορέας ενέργειας και δεν μπορεί να θεωρηθεί ως πηγή ενέργειας. Συνεπώς, πρέπει να παράγεται από διαφορετική πρώτη ύλη, γεγονός που παρουσιάζει προκλήσεις και πολυπλοκότητα, αλλά ταυτόχρονα προσφέρει τη δυνατότητα να μειωθεί η εξάρτηση από τις εισαγωγές πετρελαίου, να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να χρησιμοποιηθεί ένα ποικίλο ενεργειακό μείγμα που αποτελεί ένα βιώσιμο ενεργειακό σύστημα.

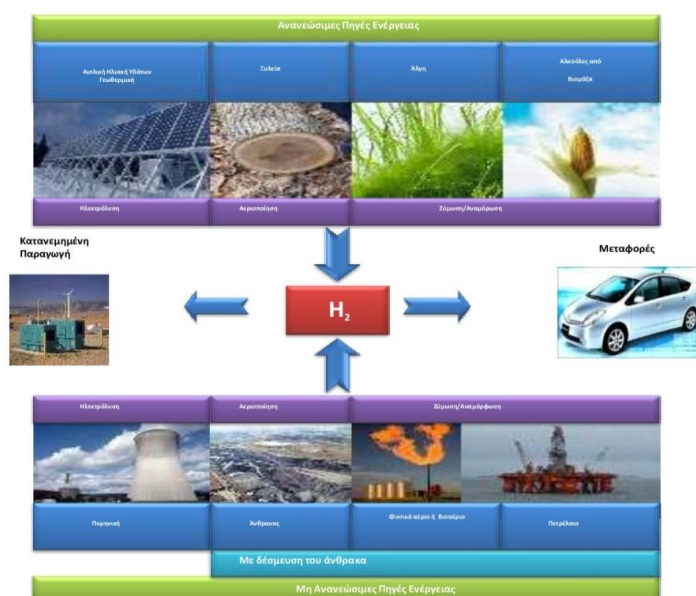
Το υδρογόνο δύναται να παράγεται μέσα από ευρεία γκάμα πρώτων υλών μεταξύ των οποίων είναι τα ορυκτά καύσιμα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), όποθ σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιείται και διαφορετική τεχνολογία :

- Για τα συμβατικά (ορυκτά καύσιμα) (μέσω της αναμόρφωσης του φυσικού αερίου ή μέσω της αεριοποίησης του άνθρακα),
- Για τις ανανεώσιμες (ΑΠΕ) και τη πυρηνική ενέργεια (μέσω διεργασιών που αξιοποιούν τη βιομάζα, την ηλιακή-ηλεκτρόλυση, τη βιολογική παραγωγή τέλος τη διάσπαση του νερού σε μεγάλες θερμοκρασίες), και
- ηλεκτρική ενέργεια (μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού).

Σήμερα η τεχνολογική έρευνα και εξέλιξη προχωράει για όλες τις παραπάνω μεθόδους και δεν βρίσκονται όλες στο ίδιο στάδιο για το πέρασμα στην εφαρμογή τους σε ευρεία κλίμακα γεγονός που συνδέεται και με τεχνικοοικονομικές παραμέτρους.

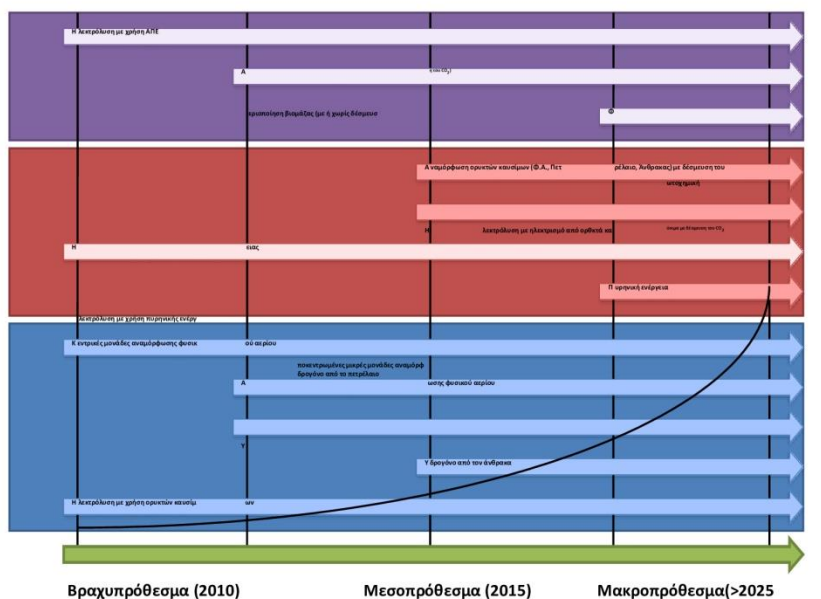
Οι παράγοντες που θα καθορίσουν την επιλογή της καλύτερης τεχνολογίας για την παραγωγή υδρογόνου θα είναι η διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης, η ωριμότητα κάθε τεχνολογίας και η ζήτηση της αγοράς.

Σήμερα, στην ενεργειακή αγορά διατίθενται αρκετές διαφορετικές μέθοδοι για τη βιομηχανική παραγωγή υδρογόνου. Ιστορικά, η πρώτη τεχνολογία που εφαρμόστηκε ευρέως εμπορικά ήταν η ηλεκτρόλυση του νερού στις αρχές της δεκαετίας του 1900. Ωστόσο, από τη δεκαετία του 1960 και μετά, η χρήση του φυσικού αερίου έγινε η προτιμώμενη πρώτη ύλη για την παραγωγή υδρογόνου σε βιομηχανική κλίμακα και μέχρι σήμερα το φυσικό αέριο παραμένει η σημαντικότερη πρώτη ύλη για τη βιομηχανική παραγωγή υδρογόνου.



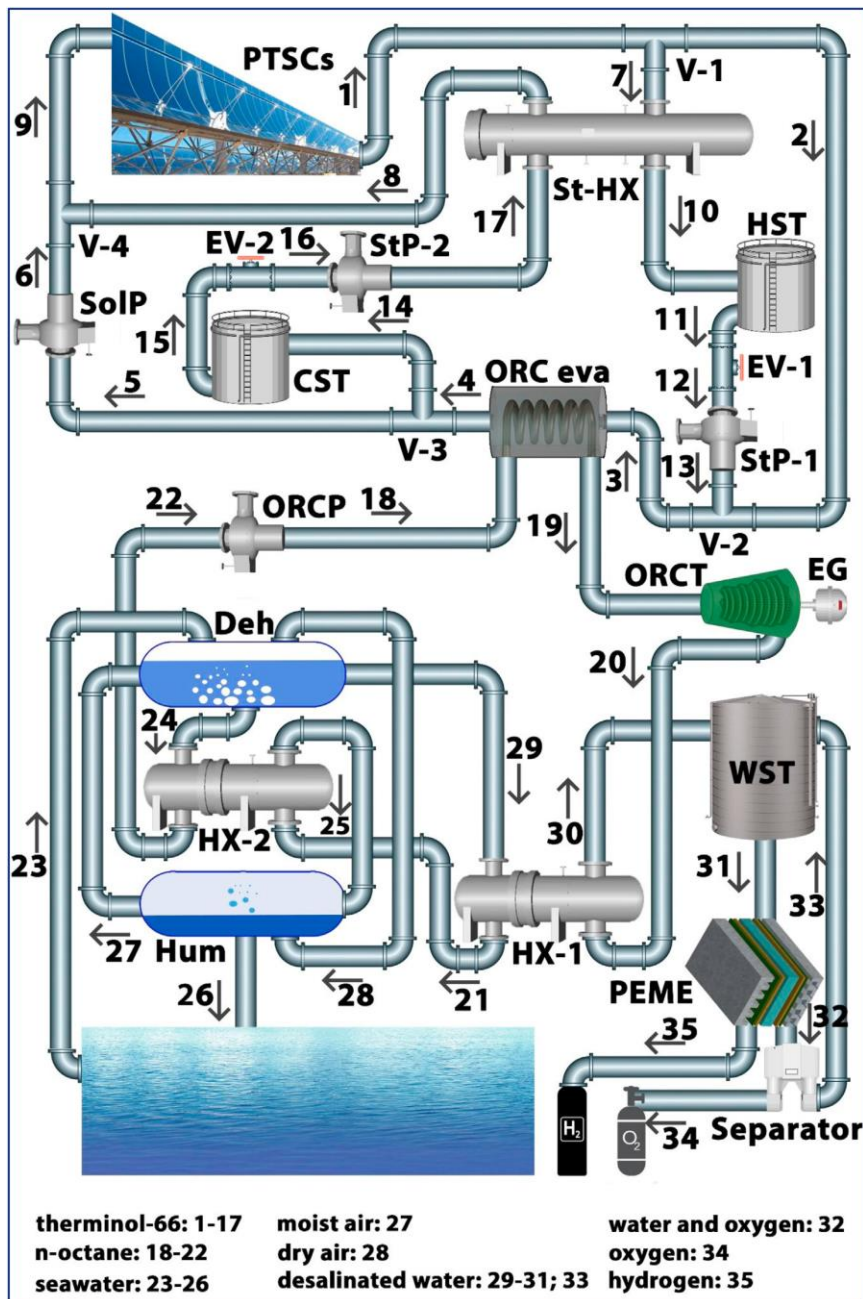
ΕΙΚΟΝΑ 9 : Πρώτες ύλες και εναλλακτικές διεργασίες για παραγωγή του H₂.

Από τις υπάρχουσες μεθόδους για τη βιομηχανική παραγωγή υδρογόνου έχει θεσμοθετηθεί η κατάταξη σε βραχυ- (2010), μέσο- (2010– 2020) και μακροπρόθεσμες (2020–2030).



ΕΙΚΟΝΑ 10 :Βραχυ-, Μέσο-, και Μακροπρόθεσμες τεχνολογίες παραγωγής H₂

Οι διεργασίες παραγωγής υδρογόνου μπορούν να οριστούν ως αποκεντρωμένες (δηλαδή μικρές μονάδες με παραγωγική ικανότητα 100-1500kg H₂ ανά ημέρα, σταθμοί τροφοδοσίας) και συγκεντρωτικές (δηλαδή μεγάλες μονάδες με παραγωγική ικανότητα κοντά στα 5000kg H₂ ανά ημέρα), ανάλογα με την κλίμακα της εφαρμογής τους. Επί του παρόντος, οι πιο χρήσιμες βιομηχανικές μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου είναι η αναμόρφωση με ατμό του φυσικού αερίου (μεθάνιο) και η ηλεκτρόλυση του νερού (με ταυτόχρονη χρήση του ηλεκτρικού δικτύου). Η αναμόρφωση αιθανόλης και μεθανόλης σε μικρή κλίμακα είναι επίσης μέθοδοι που πρέπει να δοκιμαστούν.



ΕΙΚΟΝΑ 11. Απεικόνιση συστήματος αφαλάτωσης και παραγωγής H₂ με την αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας.

Οι βασικές τεχνολογίες παραγωγής υδρογόνου περιλαμβάνουν

- Την αεριοποίηση του άνθρακα (με προαιρετικές την συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την δέσμευση του άνθρακα).
- Την αναμόρφωση του φυσικού αερίου με ατμό (με προαιρετική τη δέσμευση και αποθήκευση του άνθρακα).
- Την αεριοποίηση της βιομάζας.

- Τις πυρηνικές διεργασίες (θερμοχημική διεργασία Θείου-Ιωδίου υψηλών θερμοκρασιών, συμβατική ηλεκτρόλυση του νερού και ηλεκτρόλυση σε υψηλές θερμοκρασίες).
- Ηλεκτρόλυση με τη χρήση αιολικής ενέργειας (με προαιρετική την συμπαράγωγή).

Εάν το H₂ παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, πυρηνική ενέργεια ή από φυσικό αέριο ή άνθρακα με δέσμευση και αποθήκευση CO₂ (CCS), το αποτύπωμα άνθρακα είναι σχεδόν ουδέτερο. Εάν το H₂ παράγεται με ηλεκτρόλυση νερού, οι εκπομπές παράγονται κατά την αντίστοιχη διαδικασία για την παραγωγή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας. Επί του παρόντος, το H₂ παράγεται από ορυκτά καύσιμα χωρίς CCS (48% από φυσικό αέριο, 30% από εκπομπές πετροχημικών/χημικών διεργασιών, 18% από άνθρακα και το υπόλοιπο από ηλεκτρόλυση). Ωστόσο, η χρήση του H₂ για ενεργειακές εφαρμογές απαιτεί πιο αποδοτικές και χαμηλού κόστους διεργασίες με σχεδόν μηδενικές εκπομπές CO₂. Καθώς η μεταφορά και η αποθήκευση του υδρογόνου δεν θεωρείται επί του παρόντος οικονομικά βιώσιμη, η αποκεντρωμένη παραγωγή είναι η καλύτερη επιλογή για την τόνωση της αγοράς, καθώς ελαχιστοποιεί την ανάγκη εγκατάστασης υποδομών διανομής. Ωστόσο, είναι λιγότερο αποδοτική από την κεντρική παραγωγή μεγάλης κλίμακας και η τεχνολογία CCS δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πραγματικότητα.

Υδρογόνο από ορυκτά καύσιμα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η βασική μέθοδος παραγωγής υδρογόνου είναι από ορυκτά καύσιμα. Πολλά ορυκτά καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υδρογόνου, όπως ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Οι διαδικασίες παραγωγής ποικίλλουν, καθώς το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) που παράγεται ως παραπροϊόν πρέπει να συλλεχθεί και να αποθηκευτεί ξεχωριστά για να εξασφαλιστεί μια διαδικασία φιλική προς το περιβάλλον (πολύ χαμηλές εκπομπές). Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας εξαρτάται από την κλίμακα της, π.χ. κεντρικές ή αποκεντρωμένες μονάδες παραγωγής υδρογόνου.

Παραγωγή από το φυσικό αέριο

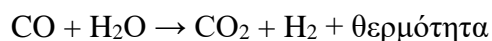
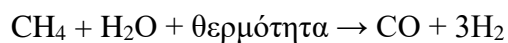
Συγκριτικά τα άλλα συμβατικά καύσιμα, το φυσικό αέριο παρουσιάζεται ως καλύτερη εκδοχή, και από οικονομικής άποψης, πρώτη ύλη για την παραγωγή υδρογόνου. Αυτό εξηγείται γιατί το Φ.Α. είναι ευρέως διαθέσιμο, η διαχείριση του είναι σχετικά εύκολη και στη χημική του σύσταση έχει μεγάλη αναλογία υδρογόνου-άνθρακα, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιείται ο σχηματισμός διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ως παραπροϊόν. Οι πλέον διαδεδομένες διεργασίες σήμερα, για τη παραγωγή υδρογόνου από Φ.Α. είναι οι εξής :

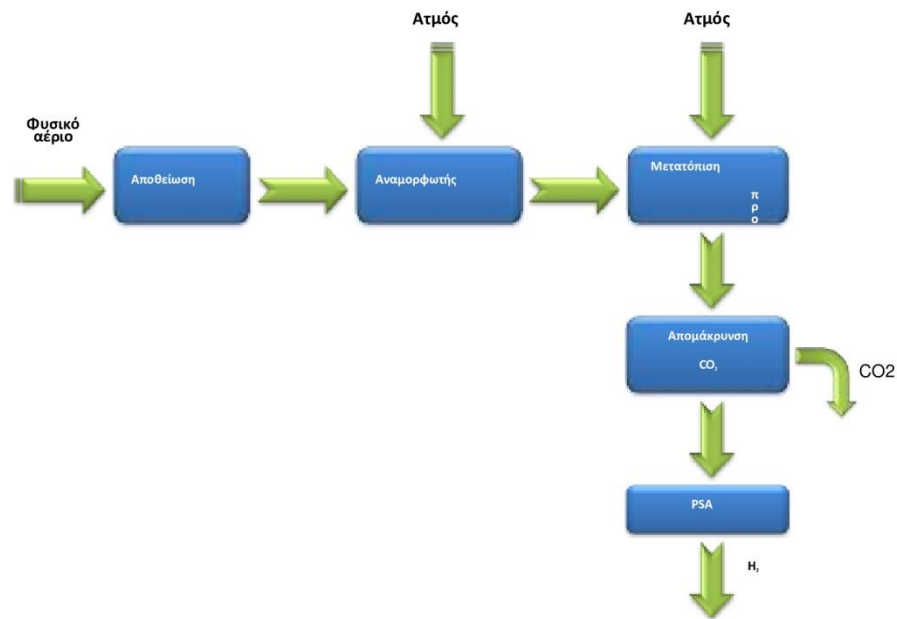
- Αναμόρφωση με ατμό (αναμόρφωση του μεθανίου με ατμό, SMR)
- Μερική οξείδωση (POX)
- Αυτόθερμη αναμόρφωση (ATR).

Παρότι έχει γίνει ανάπτυξη διαφορετικών εναλλακτικών τεχνικών για την παραγωγή υδρογόνου, δεν μπορεί να θεωρηθεί ουδεμία οικονομικά συμφέρουσα με τις συνθήκες και τις γνώσεις που υπάρχουν σήμερα.

Αναμόρφωση με ατμό (SMR)

Η αναμόρφωση του μεθανίου με ατμό είναι η πιο κοινή χρησιμοποιούμενη διεργασία, επειδή ακριβώς είναι και η πλέον συμφέρουσα από πλευράς κόστους, για τη βιομηχανική παραγωγή υδρογόνου. Συγκαταλέγεται μεταξύ των 8 βασικότερων διεργασιών των πετροχημικών και χημικών βιομηχανιών για τη παραγωγή υδρογόνου (H₂) σε βιομηχανική κλίμακα. Οι εταιρείες έχουν αναπτύξει μονάδες αναμόρφωσης μεθανίου με ατμό μικρής κλίμακας, οι οποίες δοκιμάζονται σε αποκεντρωμένα πρατήρια καυσίμων και φαίνεται να είναι η πιο βιώσιμη επιλογή για την παραγωγή υδρογόνου βραχυπρόθεσμα. Η διαδικασία SMR προτείνει την ενδοθερμική αναμόρφωση με ατμό του μεθανίου για την παραγωγή syngas (μείγμα υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα). Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι το μεθάνιο είναι το κύριο χημικό συστατικό του φυσικού αερίου. Η απαιτούμενη θερμική ενέργεια λαμβάνεται με την καύση ενός μέρους της πρώτης ύλης. Η λειτουργία αυτή πραγματοποιείται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες 700-850°C και πιέσεις 3-25 bar. Το παραγόμενο αέριο (syngas) περιέχει 12%CO, το οποίο μπορεί να μετατραπεί σε CO₂ και περίσσεια H₂ με αντιδράσεις μετατόπισης αερίου σε υδατικό περιβάλλον με περίσσεια υδρατμών.

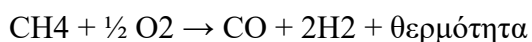




ΕΙΚΟΝΑ 12 :Σχηματική απεικόνιση της διεργασίας αναμόρφωσης του μεθανίου με ατμό

Μερική οξείδωση (POX)

Η μέθοδος της μερικής οξείδωσης χρησιμοποιείται συχνά στα διυλιστήρια πετρελαίου για γίνει η μετατροπή των παραπροϊόντων υδρογονανθράκων σε υδρογόνο (H₂), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και νερό (H₂O). Το μεθάνιο (CH₄) μπορεί να μετατραπεί σε υδρογόνο με καταλυτική, μη καταλυτική ή συνδυασμό και των δύο μερικών οξειδώσεων σε κατάλληλες διεργασίες. Η μερική οξείδωση είναι ουσιαστικά μια διεργασία αναμόρφωσης, όπου το καύσιμο καίγεται εν μέρει (το οξυγόνο που παρέχεται στο σύστημα υποχωρεί), απελευθερώνοντας θερμότητα (εξώθερμη αντίδραση), η οποία απαιτείται για άλλες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο σύστημα αναμόρφωσης, παράγοντας τελικά μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και υδρογόνο (H₂). Έτσι παράγεται η αναγκαία θερμότητα και πραγματώνεται η μέγιστη αποδοτικότητα με δεδομένη την ανάγκη να θερμανθεί ο αντιδραστήρας. Το παραγόμενο μονοξείδιο του άνθρακα (CO) μετασχηματίζεται σε υδρογόνο (H₂), όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση.



Αυτόθερμη αναμόρφωση (ATR)

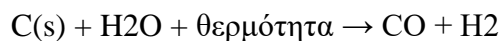
Η αυτοθερμική μετατροπή του μεθανίου σε υδρογόνο (H_2) πραγματοποιείται σε θερμοκρασία περίπου $850^{\circ}C$ και περιλαμβάνει συνδυασμό μερικής οξείδωσης και καταλυτικής αναμόρφωσης. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η μετατροπή του μεθανίου (CH_4) κατά 60-65% με εκλεκτικότητα παραγωγής 80%. Αναλυτικότερα, η καύση/αναμόρφωση του μεθανίου πραγματοποιείται διαδοχικά, μετατρέποντάς το πρώτα σε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό (H_2O), και στη συνέχεια στην παραγωγή syngas από την αναμόρφωση των υδρογονανθράκων. Ακολουθεί η άμεση μερική οξείδωση του μεθανίου (CH_4) με μηχανισμό κατά τον οποίο συντίθενται διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό (H_2O) με παράλληλες αντιδράσεις καύσης ή μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και υδρογόνο H_2 με περαιτέρω οξείδωση. Οι διεργασίες αυτές έχουν ισχυρά πλεονεκτήματα και δυνατότητες μελλοντικής ανάπτυξης, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Τεχνολογία	SMR	ATR ή POX
Οφέλη	Υψηλή απόδοση	Μικρότερο μέγεθος
	Εκπομπές	Υψηλό κόστος για μικρές μονάδες
	Υψηλό κόστος για μεγάλες μονάδες	Απλό σύστημα
Προκλήσεις	Πολυπλοκότητα συστήματος	Χαμηλότερη απόδοση
	Ευαίσθητη στη ποιότητα του φυσικού αερίου	Καθαρισμός H_2
Τεχνολογία	SMR	ATR ή POX
		Εκπομπές

Πίνακας13: Σύγκριση των τεχνολογιών παραγωγής H_2 από φυσικό αέριο

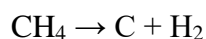
Παραγωγή από τον άνθρακα/λιγνίτη / Αεριοποίηση άνθρακα/λιγνίτη

Ο άνθρακας δύναται να αναμορφωθεί και με τον τρόπο αυτό παράγεται υδρογόνο, μέσα από διάφορες διεργασίες της αεριοποίησης (ενδεικτικά της σταθερής κλίνης ή της ρευστοστερεάς κλίνης). Αυτή η διεργασία χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα εμπορικά και θεωρείται η πλέον ανταγωνιστική στο πεδίο της αναμόρφωσης του μεθανίου (CH₄) κυρίως σε καταστάσεις που το φυσικό αέριο έχει υψηλή τιμή. Λόγω της αφθονίας των των υπαρχόντων στον πλανήτη αποθεμάτων άνθρακα οι ερευνητές έχουν στρέψει τη προσπάθεια τους στη χρήση του (άνθρακα) σαν βασική α πρώτη ύλη προκειμένου να παράγεται βιομηχανικά το υδρογόνο. Αυτό θα έδινε τη δυνατότητα σε πολυπληθείς χώρες, όπως αυτές της Ασίας (Κίνα και Ινδία) να εστιάσουν προς την οικονομία υδρογόνου. Για να συμβεί οπωσδήποτε απαιτείται να γίνεται πρώτα η δέσμευση του άνθρακα που ο οποίος απελευθερώνεται από τη διεργασία της αεριοποίησης. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να έχει έναν εναλλακτικό έτσι ώστε να απαλλαγθεί το ενεργειακό μίγμα από τα ορυκτά καύσιμα και να αναβαθμίσει την απόδοση σε ότι αφορά τη προσφορά και τη ζήτηση. Η διεργασία της αεριοποίησης του άνθρακα στην πραγματικότητα μετατρέπει το στερεό άνθρακα σε ένα αέριο μίγμα το οποίο έχει ως σύνθεση το υδρογόνο(H₂), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και μεθάνιο(CH₄). Η τυπική στοιχειομετρική αντίδραση που αποδίδει την διεργασία παρατίθεται ακολούθως :



Πυρόλυση

Σχεδόν όλοι οι υδρογονάνθρακες μετατρέπονται σε υδρογόνο δίχως τη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), σε πολύ υψηλή θερμοκρασία (που παράγεται από έναν καυστήρα πλάσματος) χωρίς την παρουσία οξυγόνου. Το μεθάνιο (CH₄) έχει την δυνατότητα διάσπασης παρουσίας καταλύτη με προϊόντα του τον άνθρακα και το αέριο υδρογόνο.



Ο παραγόμενος άνθρακας είναι δυνατόν να απομονωθεί ή να χρησιμοποιηθεί σε επόμενα στάδια σε μεταλλουργικές βιομηχανίες ή για την παραγωγή ελαστικών οχημάτων.

Δέσμευση και αποθήκευση του CO₂

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) αποτελεί το βασικό παραπροϊόν στις περισσότερες τεχνολογίες που παράγουν υδρογόνου με τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Ο όγκος διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) είναι διαφορετικός κατά περίπτωση ανάλογα με τη συγκέντρωση του υδρογόνου/άνθρακα στη καύσιμη ύλη. Κατά συνέπεια για την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον (με μηδενικές εκπομπές) τεχνολογιών για τη παραγωγή υδρογόνου, απαιτείται η συλλογή και αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Ο άνθρακας δεσμεύεται κατά την διάρκεια που παράγεται το υδρογόνο με το γεγονός ότι απομακρύνονται από τα απαέρια του αεροποιητή τα ανθρακούχα προϊόντα, είτε από τον ατμοαναμορφωτή του μεθανίου όπου και αποθηκεύονται εντός υπογείων μη πληρωμένων πεδίων που χρησιμοποιούνται για να εξορύσσετε το πετρέλαιο ή το αέριο είτε βαθιά κοιτάσματα άνθρακα ή σε βαθύ ωκεανό. Υπάρχει μία πλειάδα διαφόρων εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή ενέργειας και ηλεκτρικής ισχύος και οι οποίες έχουν βασική τους επιδίωξη να δεσμεύουν αυτόν τον άνθρακα, παρότι η ύπαρξη κατάλληλης τέτοιας τεχνολογίας που να είναι εμπορικά βιώσιμη αναμένεται να εμφανιστεί εντός της επόμενης δεκαετίας.

Υπάρχουν τρεις τρόποι με τους οποίους μπορεί να δεσμευτεί το CO₂ κατά τη διαδικασία καύσης

-Μετά την καύση. Το CO₂ μπορεί να απομακρυνθεί από τα καυσαέρια μετά την καύση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με μια διεργασία "αμίνης". Τα καυσαέρια περιέχουν μεγάλες ποσότητες αζώτου και μικρές ποσότητες οξειδίων του αζώτου, υδρατμών, CO₂ και CO.

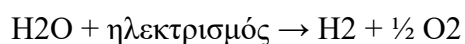
-Προεπεξεργασία: Το CO₂ ανακτάται κατά την παραγωγή υδρογόνου σε μία από τις παραπάνω διεργασίες.

-Καύση με οξυγόνο: το καύσιμο μετατρέπεται σε θερμότητα μέσω μιας διεργασίας καύσης. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας καθαρό οξυγόνο ως οξειδωτικό μέσο. Το CO₂ και οι υδρατμοί στα καυσαέρια μπορούν εύκολα να διαχωριστούν με συμπύκνωση υδρατμών.

Υδρογόνο από την διάσπαση του νερού

Η παραγωγή υδρογόνου γίνεται κατά την διάρκεια της διάσπασης του ύδατος κατά την διάρκεια διαφόρων διεργασιών που κυμαίνονται από την ηλεκτρόλυση του νερού, τη φωτο(ηλιακή) ηλεκτρόλυση και τη φωτοβιολογική παραγωγή έως τη διάσπαση του νερού σε υψηλή θερμοκρασία.

Η ηλεκτρόλυση νερού είναι μια πολλά υποσχόμενη αλλά ιστορική μέθοδος παραγωγής υδρογόνου. Η ηλεκτρόλυση νερού είναι μια ηλεκτροχημική διαδικασία που χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να διαχωρίσει το νερό στα συστατικά του (π.χ. σε υδρογόνο και οξυγόνο (βλέπε εξίσωση παρακάτω)).

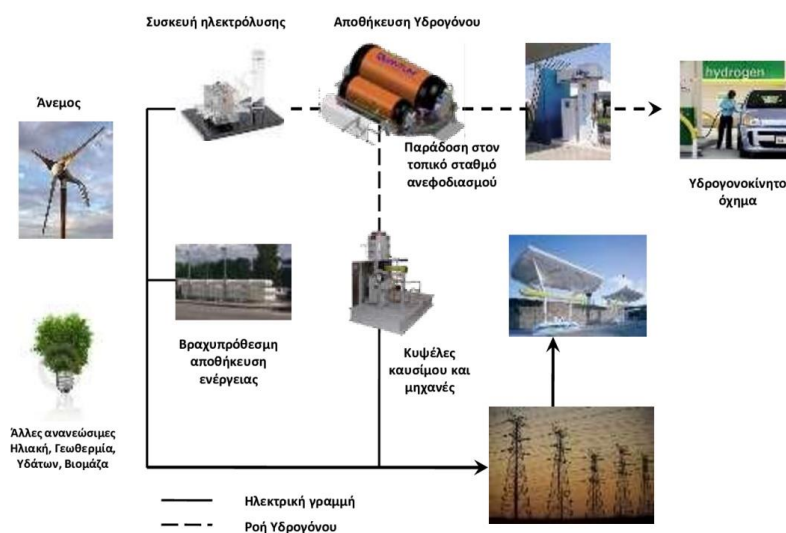


Μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού σήμερα παράγεται το 4% της παγκόσμιας παραγωγής υδρογόνου. Η διαδικασία αυτή είναι ήδη οικονομικά αποδοτική για την παραγωγή μικρών ποσοτήτων υπερκαθαρού υδρογόνου, αλλά εξακολουθεί να είναι ακριβή για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Ο κύριος λόγος είναι ότι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι τρεις έως πέντε φορές υψηλότερη από ό,τι για την αντίστοιχη πρώτη ύλη ορυκτών καυσίμων.

Το σύνολο της απαιτούμενης ενέργειας για την ηλεκτρόλυση του νερού, επηρεάζεται λίγο από τη θερμοκρασία, σε αντίθεση με την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται. Σε μεγάλες θερμοκρασίας η μέθοδος της ηλεκτρόλυσης είναι προτιμότερη όταν υπάρχει διαθεσιμότητα θερμότητας. Αντίθετα η διεργασία της ηλεκτρόλυσης του νερού θεωρείται προς το παρόν η ακριβότερη για την παραγωγή βιομηχανικού υδρογόνου και αυτό λόγω της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται. Το οικονομικό κόστος αναμένεται να μειωθεί αν λάβουμε υπόψη ότι θα βελτιστοποιηθεί η αποδοτικότητα των σύγχρονων συστημάτων σε συνδυασμό με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), που είναι κατάλληλες για την ηλεκτρόλυση του νερού. Σήμερα το οικονομικό κόστος της ηλεκτρόλυσης που αξιοποιεί την ηλιακή και αιολική ενέργεια, βρίσκεται ακόμα σε πολύ υψηλά επίπεδα, με πρόβλεψη όμως να μειωθεί κατά 50% σε βάθος 10-15 ετών. Μεγάλη σημασία έχει επίσης, λόγω του ότι υδρογόνο παράγεται επιτόπου και κατά παραγγελία, ότι δεν χρειάζεται να μεταφέρεται ή να αποθηκεύεται δεν απαιτείται, δίνοντας έτσι σε αυτή τη πηγή ενέργειας εξαιρετικά βιώσιμο και ανταγωνιστικό.

Αναμένεται περαιτέρω βελτίωση των χρηματοοικονομικών μεγεθών αφού μελλοντικά η βιομηχανική μαζική παραγωγή των μικρών συσκευών ηλεκτρόλυσης, οι οποίες θα είναι δυνατή η ευέλικτη μετάβαση από μικρές σε μεγάλες μονάδες, θα απαιτούν λιγότερη και φθηνότερη ενέργεια ακόμα και υδροηλεκτρική, με απόδοση των επιπέδων του 70–85%. Η παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυση και παράλληλη χρήση ΑΠΕ εικάζεται ότι μας προσφέρει τα επόμενα χρόνια περιβαλλοντικό κύκλο υδρογόνου. Δηλαδή το υδρογόνο που θα παράγεται χρησιμοποιώντας ηλιακή ή αιολική ενέργεια, εκτιμάται ότι θα καλύψει σε

πολύ μεγάλο βαθμό τις μελλοντικές ενεργειακές μας απαιτήσεις, με αποδεκτό κόστος παραγωγής σε σχέση με τη μέθοδο παραγωγής υδρογόνου SMR.

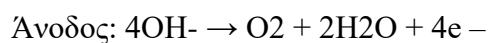
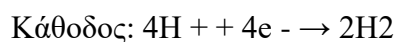


ΕΙΚΟΝΑ 14. Σχηματική απεικόνιση της Ηλεκτρόλυσης που τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Αλκαλική ηλεκτρόλυση

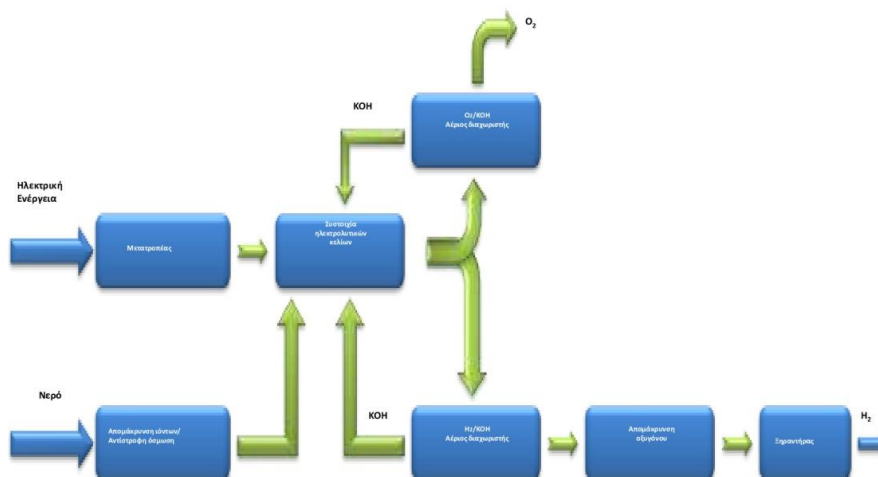
Οι αλκαλικές συσκευές ηλεκτρόλυσης κάνουν χρήση ενός υδατικού διαλύματος ΚΟΗ σαν ηλεκτρολύτης. Η αλκαλική ηλεκτρόλυση είναι η πιο κατάλληλη εκ των σταθερών εφαρμογών που γίνεται διεξαγωγή εντός πιέσεων έως 25 bar.

Οι ακόλουθες ηλεκτροχημικές αντιδράσεις, η πραγματοποίηση των οποίων γίνεται εντός της κυψέλης στην αλκαλική ηλεκτρόλυση:



Συνολική Αντίδραση: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2$

Συνήθως, οι εμπορικές διατάξεις ηλεκτρόλυσης αποτελούνται από ένα πλήθος ηλεκτρολυτικών κυψελών σε μορφή συστοιχίας.



ΕΙΚΟΝΑ 15: Διάγραμμα ροής μίας αλκαλικής συσκευής ηλεκτρόλυσης για την παραγωγή H₂.

Οι πιο βασικές και πιο πολύτιμες προκλήσεις που υπάρχουν μελλοντικά είναι να υπάρχει σχεδίαση και κατασκευή αλκαλικών συσκευών για την ηλεκτρόλυση που θα δεν έχουν υψηλό κόστος αλλά θα έχουν πιο υψηλή απόδοση όσον αφορά την ενέργεια. [7]

5. ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΩΣ ΦΟΡΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το χημικό στοιχείο υδρογόνο είναι το πρώτο και το ελαφρύτερο από τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα. Είναι το πιο άφθονο χημικό στοιχείο στο σύμπαν και δίκαια θεωρείται ως ο κρίκος με την συμπλήρωσή του θα μεταβούμε ομαλά στην πράσινη ενέργεια. Αυτό οφείλεται στον βασικό του ρόλο στην έννοια της σύζευξης τομέα: το υδρογόνο ως φορέας ενέργειας μπορεί να προβεί σε διασύνδεση και να ενσωμάτωση τομέων έντασης ενέργειας

όπως είναι πληθώρα κτιρίων (θέρμανση και ψύξη), οι μεταφορές και η βιομηχανία με τον ενεργειακό τομέα.

Τα πλούσια σε άνθρακα καύσιμα όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας έχουν ιστορία επιτυχίας λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων τους: εύελικτα, υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, εύκολα στη μεταφορά και αποθήκευση, αλλά έχουν επίσης σημαντικά μειονεκτήματα που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ως σημαντικός παράγοντας για την υπερθέρμανση της Γης. Το 2020 φαίνεται ότι θα είναι ένα σημείο καμπής, με τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου να αντιμετωπίζει τη χειρότερη κρίση της στην ιστορία, αλλά τελικά να επιταχύνει την ανάπτυξη λύσεων μηδενικού άνθρακα παγκοσμίως.

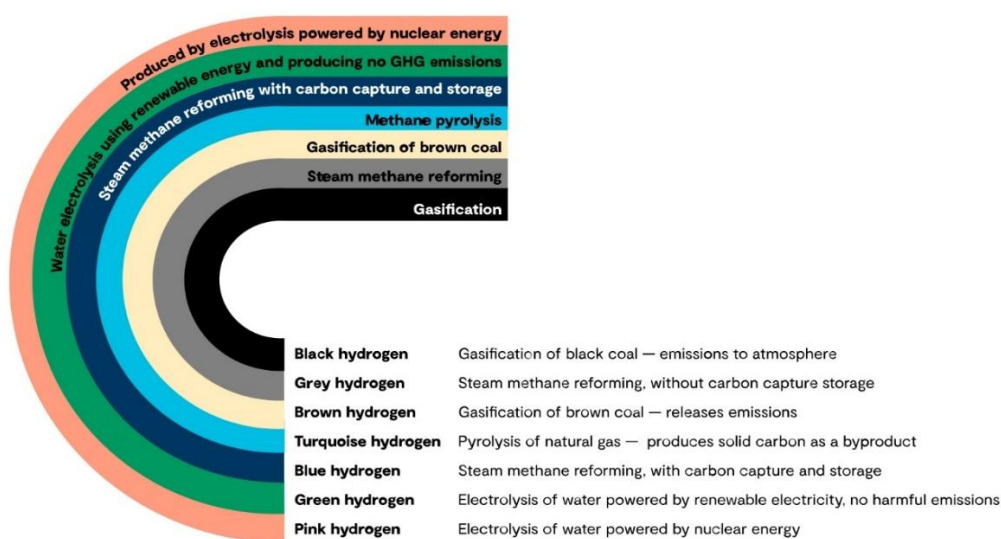
Οι τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου συνέχισαν να αυξάνονται τα τελευταία τέσσερα χρόνια σε επίπεδα ρεκόρ, γεγονός που, σε συνδυασμό με την πανδημία Covid-19, οδήγησε σε μείωση της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Στο ευρύτερο πλαίσιο των υφιστάμενων στόχων για την κλιματική αλλαγή, οι εθνικές εταιρείες πετρελαίου και οι διεθνείς εταιρείες πετρελαίου πρέπει να δημιουργήσουν επιχειρηματικά μοντέλα που να προστατεύονται από το μέλλον διαφοροποιώντας τα χαρτοφυλάκιά τους, όπως η Total, η Saipem ή η Eni, που δημιούργησαν τον Τομέα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Υδρογόνου ("NewEnergies"), γενικά λειτουργεί ως ξεχωριστή επιχειρηματική μονάδα.

Σήμερα, το υδρογόνο εξακολουθεί να παράγεται κυρίως μέσω αναμόρφωσης μεθανίου ατμού (SMR), με τη βιομηχανία που αφορά τα πετροχημικά/λιπάσματα να είναι ο κύριος χρήστης. Τέλος, αποκαλύπτει τις δυνατότητές του για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο ως βιώσιμος φορέας ενέργειας. Το υδρογόνο δεν είναι πηγή ενέργειας, αλλά μπορεί να μεταφέρει ή να αποθηκεύσει μεγάλες ποσότητες ενέργειας για μεγάλες χρονικές περιόδους με χαμηλότερο κόστος από την ηλεκτρική ενέργεια, αλλά πρέπει να παράγεται από άλλη ουσία, νερό, ορυκτά καύσιμα ή βιομάζα κ.λπ., η οποία δίνει υδρογόνο το χρώμα του.

Τα Χρώματα του Υδρογόνου και οι Εφαρμογές του

Επί του παρόντος, το 96% του υδρογόνου παράγεται μέσω ορυκτών καυσίμων μέσω διεργασιών έντασης άνθρακα, είτε με αναμόρφωση του μεθανίου με ατμό (SMR) χωρίς δέσμευση, είτε χρησιμοποιώντας και αποθηκεύοντας άνθρακα (γκρίζο υδρογόνο) είτε αεριοποιώντας άνθρακα (μαύρο υδρογόνο). Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και οι

μέθοδοι παραγωγικής διαδικασίας δίνουν το χρώμα του στο υδρογόνο. Η παραγωγή του πράσινου υδρογόνου γίνεται με την διεργασία της ηλεκτρόλυσης νερού κάνοντας χρήση ενός ηλεκτρολύτη και η τροφοδότησή της γίνεται από ηλεκτρική ενέργεια, η παραγωγή της οποίας γίνεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή, η αιολική ή η υδροηλεκτρική ενέργεια. Σε περίπτωση που εισρέετε ηλεκτρική ενέργεια εξ ολοκλήρου από ανανεώσιμες πηγές (100% τροφοδότηση μέσω ηλιακής και αιολικής ενέργειας εάν απαιτείται αφαλατωμένο νερό), οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τη διαδικασία παραγωγής είναι μηδενικές. Η παραγωγή γκριζου υδρογόνου χρησιμοποιεί φυσικό αέριο ως κύρια πηγή, ενώ η παραγωγή μαύρου υδρογόνου χρησιμοποιεί άνθρακα ως κύρια πηγή.



ΕΙΚΟΝΑ 16. Κατάταξη του H₂ ανάλογα με το χρώμα του

Ωστόσο, η διαδικασία παραμένει εξαιρετικά ρυπογόνος καθώς παράγει >9 κιλά CO₂ για κάθε κιλό παραγόμενου υδρογόνου. Το μπλε υδρογόνο χρησιμοποιεί την ίδια διαδικασία με το γκρι υδρογόνο, αλλά ο άνθρακας που εκπέμπεται κατά την παραγωγή δεσμεύεται μέσω της διαδικασίας CCUS για τη μείωση των εκπομπών CO₂. Το πλαίσιο της ΕΕ αναφέρεται στο μπλε υδρογόνο ως ορυκτό υδρογόνο με δέσμευση άνθρακα.

Η λήψη του κίτρινου υδρογόνου γίνεται μέσω ηλεκτρόλυσης της ηλεκτρικής ενέργειας από ένα μείγμα από πηγές, πιθανά από πυρηνική ενέργεια είτε από απόβλητα που γίνεται μετατροπή τους σε υδρογόνο. Αυτό μπορεί επίσης να επιτευχθεί μέσω της αεριοποίησης των αποβλήτων. Το τουρκουάζ υδρογόνο κάνει χρήση φυσικού αερίου ή βιομάζας για να έχει

εισροή ενέργειας μέσα από την πυρόλυση για να παράγεται υδρογόνο εντός μιας ενδόθερμης διαδικασίας, ενώ υπάρχει λήψη στερεού άνθρακα σαν υποπροϊόν. Αν και η πυρόλυση βιομάζας είναι μια σχετικά βρώμικη διαδικασία από περιβαλλοντικής σκοπιάς, η πυρόλυση που γίνεται από το φυσικό αέριο μπορεί να είναι ενδιαφέρουσα, εφόσον η παραγωγή ενέργειας γίνεται με την χρήση ανανεώσιμων πηγών.

Εν αντιθέσει με άλλα χρώματα, το πράσινο υδρογόνο παίζει βασικό ρόλο για την επίτευξη της ενεργειακής μετάβασης, καθαρίζοντας περιοχές που ήταν δύσκολο να μετριάστουν. Ένα παράδειγμα από το τεράστιο αντίκτυπο που έχει στην παραγωγή του χάλυβα, είναι που αντικαθιστά τον άνθρακα απανθρακοποίησης σε διαδικασίες άμεσης αναγωγής. Μπορεί σταδιακά να αντικαταστήσει το γκρι με πράσινο στα διυλιστήρια ως κύριος καταναλωτής υδρογόνου, παρέχοντας λύσεις μεγάλης εμβέλειας στον τομέα της κινητικότητας, όπως λεωφορεία κυψελών καυσίμου, 9 τρένα, 10 τρένα ακόμα και πλοία. Οι βιομηχανικές εφαρμογές θερμότητας μπορούν επίσης να παίξουν σημαντικό ρόλο.

Οι πιο μακροπρόθεσμες εφαρμογές μπορεί να αφορούν τομείς όπως η θέρμανση και η ψύξη για οικιακή χρήση ή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (για ανάμειξη με αέριο σε CCGT ή στροβίλους που λειτουργούν 100% με υδρογόνο). Σήμερα, η παραγωγή περίπου του 55% του H₂ που γίνεται σε όλο τον πλανήτη έχει ως κύρια χρήση την σύνθεση αμμωνίας, το 25% σε διυλιστήρια και περίπου το 10% για την παραγωγή μεθανόλης. Οι υπόλοιπες εφαρμογές σε παγκόσμιο επίπεδο αντιπροσωπεύουν μόνο το 10% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής υδρογόνου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι περίπου τα δύο τρίτα του υδρογόνου παράγονται επί τόπου για δέσμια χρήση, επομένως δεν απαιτείται μεταφορά και δεν υπάρχει αγορά ή διαφάνεια 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.

Ο ρόλος του υδρογόνου στην παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση

Οι κύριες τάσεις στην ενεργειακή μετάβαση είναι να αναπτύσσονται ταχύτατα οι τεχνολογίες για μηδενικές εκπομπές, να ψηφιοποιούνται οι ενεργειακές διαδικασίες και να αποκεντρώνονται/εκδημοκρατίζεται η ενεργειακή μετάβαση με την βοήθεια των ΑΠΕ.

Το πράσινο υδρογόνο είναι ο κρίκος που λείπει από την απανθρακοποίηση όλων των βιομηχανιών. Το υδρογόνο έχει τη δυνατότητα να είναι ένα μόριο καυσίμου που οδηγεί

στην δημιουργία μιας καθαρής παγκόσμιας οικονομίας. Είναι δυνατή η χρήση του ως μία εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα, να χρησιμεύσει ως καθαρή βιομηχανική πρώτη ύλη σε εφαρμογές που κυμαίνονται από τη βαριά μεταφορά έως τη χαλυβουργία και να μην προκαλεί ρύπανση όταν καταναλώνεται. Ως φορέας ενέργειας χωρίς CO₂, το υδρογόνο είναι καθαρό, ευέλικτο και βιώσιμο: μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις και έχει υψηλή ενέργεια όταν συμπιέζεται ή υγροποιείται. Παράγει καθαρή ενέργεια και καύσιμα με παρόμοια προφίλ ασφάλειας με το προφίλ του φυσικού αερίου ή το πετρελαίου.

Υπάρχουν οι βλέψεις το υδρογόνο να είναι σε θέση να προβεί σε κάλυψη του 24% από τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες έως το 2050 με το Η2 να μπορεί να έχει πωλήσεις έως και 700 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ και με πωλήσεις δισεκατομμυρίων επιπλέον όσον αφορά τον εξοπλισμό για την τελική χρήση. Πιο πρόσφατες, πιο αισιόδοξες εκτιμήσεις προβλέπουν ότι η προσιτή παγκόσμια αγορά θα φτάσει τα 11,7 τρισεκατομμύρια δολάρια, χαρακτηρίζοντάς την «μια ευκαιρία που γίνεται μια φορά στη ζωή» (Goldman Sachs, Σεπτέμβριος 2020). Ωστόσο, η πορεία προς μια παγκόσμια πράσινη αγορά υδρογόνου δεν εξαρτάται μόνο από την εξέλιξη των τεχνικών και οικονομικών παραγόντων –πηγές υδρογόνου, επεξεργασία, μεταφορά, συνολικό κόστος ανά κιλό– αλλά και από πολιτικές επιλογές κατά μήκος της αλυσίδας αξίας. Σε κάθε επιλογή, αναδεικνύονται νικητές και ηττημένοι, επαναφέροντας την ισορροπία δυνάμεων δημιουργώντας νέες εξαρτήσεις μεταξύ των χωρών.

Χώρες με πολύ φθηνούς ηλιακούς και αιολικούς πόρους είναι πιθανό να γίνουν κέντρα παγκόσμιας αρμπιτράζ ανάμεσα στην παραγωγή, αποθήκευση και μεταφορά πράσινων μορίων και άλλων αγορών, κάπως παρόμοιες με το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Σε πρόσφατες εκθέσεις αναφέρεται ως μελλοντικός στόχος να κλιμακωθεί το δυναμικό ανανεώσιμων πηγών υδρογόνου των χωρών λαμβάνοντας υπόψη τρεις παραμέτρους και τις ταξινομεί σε βασικές κατηγορίες παικτών με βάση τη διαθεσιμότητα των πόρων τους (άνεμος, ηλιακός, νερό) και την ποιότητα των υποδομών τους για παραγωγή, μεταφορά και διανέμουν υδρογόνο. Η έκθεση επισημαίνει το Μαρόκο και την Αυστραλία ως πιθανούς πρωταθλητές στις εξαγωγές λόγω των άφθονων πόρων νερού και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της σαφούς ικανότητάς τους να αναπτύξουν την απαιτούμενη υποδομή.

Μαζί με το Μαρόκο και την Αυστραλία, χώρες σε όλη τη Μέση Ανατολή και τη Βόρεια Αφρική, και ιδιαίτερα τα κράτη του Κόλπου, είναι επίσης πιθανό να γίνουν βασικοί παίκτες στη μετάβαση. Πράγματι, ενώ οι περισσότερες χώρες του Κόλπου σχεδιάζουν ήδη να στραφούν από μια απολιθωμένη οικονομία σε μια πράσινη οικονομία μέσω διαφορετικών

κυβερνητικών προγραμμάτων, μόνο λίγα έργα αναδύονται και ορισμένες μπορεί να έχουν πιο τολμηρά και πιο γρήγορα σχέδια. Σε περίπτωση που οι μεγάλοι παραγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου δεν αποδεχτούν μεγάλη αλλαγή σε αυτή την ιστορική κρίση του ενεργειακού τομέα, η συνάφεια και η σταθερότητά τους ενδέχεται να διακυβευθούν.

Όσον αφορά την περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, η Ελλάδα και η Κύπρος θα ήταν δυνατόν να νικήσουν στο παγκόσμιο σκάκι όχι μόνο της παραγωγής αλλά και της διαμετακόμισης στο υδρογόνο. 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 ΚΑΚ) και να τοποθετήσει π.χ. χώρες της νότιας Μεσογείου υψηλότερα στην κλίμακα ενέργειας της ενέργειας. [5]

6. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΑΛΜΥΡΟ ΝΕΡΟ

Διαχρονικά οι όποιες απόπειρες για να παραχθεί Πράσινο Υδρογόνο από το θαλασσινό νερό μέσω επικάλυψης ηλεκτροδίων, έχουν στόχο να βρεθεί μια τεχνική που θα παρεμποδίζει το νερό των θαλασσών να προκαλεί διάβρωση στις βυθισμένες ανόδους λόγω της πολύ μεγάλης συγκέντρωσης του σε αλάτι. Μετά την διεξαγωγή ερευνών έγινε η διαπίστωση ότι όταν επιστρώνεται η άνοδος με πλούσια στρώματα από αρνητικά φορτία τότε γίνεται δραστική μείωση στο να διασπάται το βυθισμένο μέταλλο.

Για την επίτευξη του προαναφερθέντος γίνεται χρήση σιδήρου, υδροξειδίου νικελίου και θειούχου νικελίου με σκοπό την δημιουργία μιας αρνητικά φορτισμένης επίστρωσης που θα έχει στόχο την θωράκιση της ανόδου κατά την διάρκεια της ηλεκτρόλυσης. Το αποτέλεσμα είναι δυναμικά να παράγεται η δέκα φορές περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια μέσω αυτής της πολυστρωματικής συσκευής και τελικό αποτέλεσμα την παραγωγή υδρογόνου από θαλασσινό νερό. Σε κάποια άλλα πειράματα ηλεκτρόλυσης αλμυρού νερού με ημιπερατή μεμβράνη, έγινε εφικτό να διασπαστεί το θαλασσινό νερό για τη παραγωγή πράσινου υδρογόνου.

Έχει διαπιστωθεί ότι η διαδικασία προ-αφαλάτωσης έχει υψηλό κόστος, όμως οι ερευνητές κατάφεραν να κατεβάσουν το κόστος με τη χρήση μιας λεπτής ημιπερατής μεμβράνης που συμβάλει στο φιλτράρισμα του νερού κατά την επεξεργασία της αντίστροφης ώσμωσης. Η μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης δημιουργήθηκε για να προβεί σε αντικατάσταση της κλασσικής μεμβράνης για την ανταλλαγή ιόντων που γίνεται εντός των ηλεκτρολυτών. Η

λειτουργία της αντίστροφης ώσμωσης γίνεται όταν ασκείται πίεση στο νερό μέσα από την μεμβράνη και αφήνονται στην άλλη πλευρά πληθώρα ιόντων χλωρίου. Χρησιμοποιείται ο καταλύτης πλατίνας για την πρόληψη του ανασυνδυασμού ιόντων, μια νέα γενιά καταλύτη που έχει την ικανότητα να συνθέτει πράσινο υδρογόνο από το θαλασσινό νερό με χρήση ηλιακής ενέργειας.

Η μέθοδος που μελετήθηκε και ονομάζεται Ocean-H-Rig είναι αυτή που χρησιμοποιεί αυτή τη νέα γενιά καταλύτη. Παράγει πράσινο υδρογόνο από θαλασσινό νερό και δρα στην επιφάνεια του νερού. Οι κλασσικοί φωτο-καταλύτες προκαλούν διάσπαση του θαλασσινού νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο όταν τα ηλεκτρόνια και οι οπές ξεχωρίζουν ως απόκριση στο ηλιακό φως. Τα διαχωρισμένα ηλεκτρόνια και οι οπές έχουν την τάση να επανενώνονται, με αποτέλεσμα να μειώνεται ριζικά η φωτοκαταλυτική δραστηριότητα και την αποτελεσματικότητα της παραγωγής υδρογόνου.

Τα ηλεκτρόνια που παράγονται από το ηλιακό φως αποβάλλονται εξάγονται με επιτυχία από τον καταλύτη πλατίνας κατά την διεργασία αποτρέποντας έναν ανεπιθύμητο ανασυνδυασμό. Αυτό ενισχύει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της παραγωγής υδρογόνου. Οι επαναχρησιμοποιήσιμοι καταλύτες θεωρούνται από τους αποδοτικότερους που έχει γίνει αναφορά τους, λόγω της υποβοήθησης της αποδοτικής παραγωγής υδρογόνου με την χρήση υψηλής κβαντικής απόδοσης 22,2% υπό φωτισμό LED-550.

Ερευνητές του Harvard πειραματίστηκαν με την ηλεκτρόλυση αλμυρού νερού μέσω προωθητικής (forward) ώσμωσης με σημαντικά αποτελέσματα δεδομένου ότι η προωθητική (forward) ώσμωση για να διαχωρίσει το θαλασσινό νερό σε καθαρό υδρογόνο και αέριο οξυγόνο επιτυχώς. Έτσι παράγεται αέριο υδρογόνο μέσω προωθητικής (forward) ώσμωσης και ηλεκτροχημικής διάσπασης του αλμυρού νερού, που έχει ως αποτέλεσμα να αποθηκεύεται ανανεώσιμη ενέργεια. Κατά την συγκεκριμένη έρευνα έγινε επιπλέον ενίσχυση του φυσικού μηχανισμού ώσμωσης για να συλλεχθεί το καθαρό νερό από πληθώρα φυσικών πηγών όπως είναι οι ωκεανοί. Κατά την μέθοδο αυτή δεν απαιτείται μια χωριστή πλατφόρμα καθαρισμού νερού όταν φθάνει στο τέλος του κύκλου ζωής. Με την εντατικοποίηση της υπεράκτιας παραγωγής αιολικής ενέργειας σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες υποδομές μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου, αυτή η μέθοδος παρέχει στο τέλος του κύκλου ζωής σημαντικές προοπτικές για την ανάπτυξη υπεράκτιων έργων πράσινου υδρογόνου.

Η ύπαρξη υπαρχουσών υποδομών για το φυσικό αέριο είναι δυνατόν να προβούν σε παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων από πράσινο υδρογόνο εντός των υπεράκτιων περιοχών όταν συνδυάζονται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλεκτρική από κάποιο υπεράκτιο ηλιακό και αιολικό πάρκο. Το γεγονός αυτό προβαίνει σε μείωση του κόστους για την μεταφορά και την παραγωγή και προβαίνει στην αποτροπή τεράστιων δαπανών για το κάθε ηλεκτρικό δίκτυο, λόγω της μεταφορά αερίων που κοστίζει λιγότερο από την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Το μέλλον της παραγωγής Πράσινου Υδρογόνου από θαλασσινό νερό έχει σίγουρα μεγάλες προοπτικές αφού φυσικός πόρος (ωκεανοί) είναι άφθονος. Είναι προφανές ότι με η παραγωγή πράσινου υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης μπορεί να συμβάλλει σε σημαντικό βαθμό ο βαθμό για την επίλυση της ενεργειακής κρίσης στον πλανήτη. Από τεχνικής άποψης όμως μέχρι σήμερα παραμένει εμπόδιο η υψηλή διάβρωση των ηλεκτροδίων από το αλμυρά νερό που αποτελεί τροχοπέδη για τη μαζική παραγωγή πράσινου υδρογόνου. Συνεπώς υπάρχει αδήριτη ανάγκη να αναπτυχθεί μια αποτελεσματική τεχνολογία ηλεκτροκαταλύτη που θα διασφαλίζει την αποφυγή ή και την ανθεκτικότητα στη διάβρωση χλωρίου και τον σχηματισμό ιζημάτων στα ηλεκτρόδια. Μέχρι σήμερα έχουν γίνει πολλές σημαντικές προσπάθειες με την ηλεκτρόλυση θαλασσινού νερού, μένει όμως να επιτευχθεί σε βάθος χρόνου σταθερή αποδοτικότητα και επιλεκτικότητα του μέσου.[4]

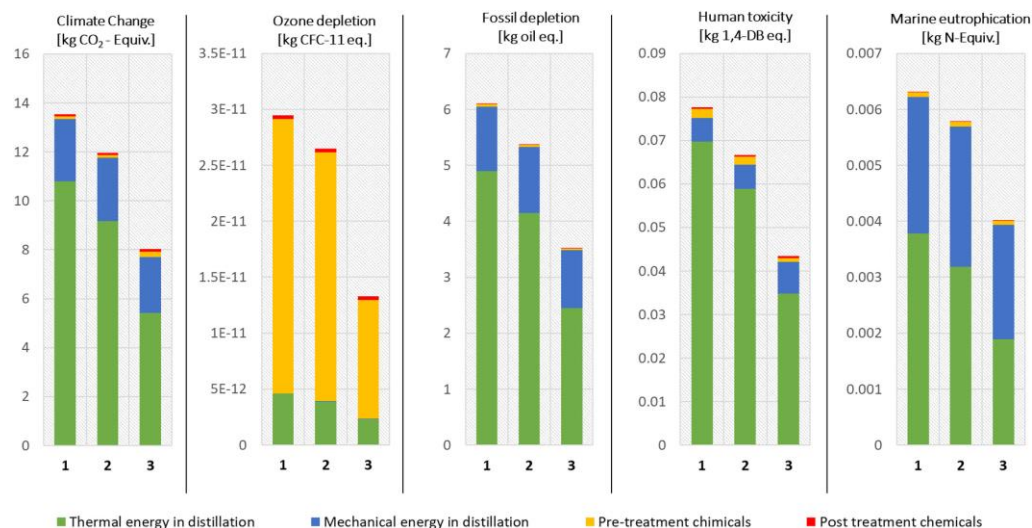
7. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η τεχνολογία της αφαλάτωσης είναι μια πολύ καλή και αποτελεσματική λύση, ιδίως σε περιοχές με σοβαρή έλλειψη νερού (π.χ. Μέση Ανατολή, νησιά). Ωστόσο, ενώ προσφέρει σημαντικά οφέλη για τον άνθρωπο, δημιουργεί επίσης σοβαρά προβλήματα για το περιβάλλον:

- Γενικά, η αφαλάτωση έχει απαίτηση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Στη περίπτωση της αντίστροφης ώσμωσης η ενεργειακή απαίτηση είναι πολύ υψηλή σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους, στη περίπτωση δε απουσίας συστήματος ανάκτησης της υδραυλικής ενέργειας του αλμόλοιπου, όπου η κατάσταση επιβαρύνεται. Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα παράγουν αέριους ρύπους προς το περιβάλλον (όπως διοξείδιο του άνθρακα κ.α), με καταστροφικές συνέπειες.
- Η τροφοδοσία του θαλασσινού νερού από τις μονάδες αφαλάτωσης γίνεται με αγωγούς ανοικτού άκρου. Καθώς το θαλασσινό νερό αποτελεί φυσικό περιβάλλον και εμπεριέχει ολόκληρα οικοσυστήματα από φυτοπλαγκτόν, ασπόνδυλα, ψάρια κ.α, παρατηρείται μεγάλη θνησιμότητα όλων αυτών των οργανισμών, λόγω συμπαράσυρσης στην εισροή της μονάδας. Επίσης, η θνησιμότητα ψαριών,

ασπόνδυλων και πουλιών είναι μεγάλη καθώς προσκρούουν στον αγωγό εισροής της μονάδας.

- Η άλμη που παράγεται στις μονάδες αφαλάτωσης έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί περιβαλλοντικό ρύπο, διότι, εκτός από το ότι περιέχει πολύ υψηλές συγκεντρώσεις αλατιού από τη θάλασσα, περιέχει επίσης χημικές ουσίες που προέρχονται από το στάδιο της προεπεξεργασίας και το τελικό της στάδιο, τη μετεπεξεργασία του νερού, η οποία γίνεται συνήθως σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Ως εκ τούτου, η απόρριψη αυτής της άλμης στη θάλασσα θεωρείται επιβλαβής ρύπος, με πιθανές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και απώλεια της θαλάσσιας ζωής. Η καταβύθιση αυτής της άλμης σε παράκτια (ρηγά) ύδατα μπορεί να έχει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς (θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα). Οι επιπτώσεις αυτές είναι πιθανό να οφείλονται στην πολύ υψηλή αλατότητα της άλμης και στα διάφορα χημικά συστατικά που μπορεί να υπάρχουν στην άλμη από την προεπεξεργασία του θαλασσινού νερού και τον καθαρισμό των μεμβρανών. Οι επιπτώσεις όλων των τύπων επιπτώσεων εξαρτώνται επίσης σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο και τη μορφολογία του πυθμένα, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι οι επιπτώσεις είναι μεγαλύτερες σε βραχώδεις περιοχές από ό,τι σε περιοχές όπου ο πυθμένας είναι αμμώδης ή λασπώδης.
- Μια άλλη περιβαλλοντική παράμετρος είναι και η εκπομπή θορύβου που προκαλείται από τις μονάδες αφαλάτωσης. Ηχορύπανση παρατηρείται κατά το στάδιο κατασκευής των μονάδων αλλά και κατά το στάδιο λειτουργίας αυτών (κυρίως σε εγκαταστάσεις που λειτουργούν με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης). Οι αντλίες υψηλής πίεσης που χρησιμοποιούνται, τα μηχανικά συστήματα ανάκτησης ενέργειας, οι τουρμπίνες κ.α., εκπέμπουν αυξημένα επίπεδα θορύβου, που σε πολλές περιπτώσεις υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια από την διεθνή νομοθεσία (παράγουν δηλαδή θόρυβο έντασης 90 dB όταν το όριο είναι 50-55 dB).
- Μειονέκτημα επίσης των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης αποτελεί και η υποβάθμιση της χρήσης γης σε συνδυασμό με την αισθητική ρύπανση, καθώς κατασκευάζονται σε παράκτιες περιοχές, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των περιοχών αυτών.
- Έχει παρατηρηθεί σε περιπτώσεις διαρροής από το δίκτυο σωλήνων τροφοδοσίας θαλασσινού νερού και της αποβολής άλμης, ότι υπάρχει σοβαρός κίνδυνος διείσδυσης του θαλασσινού νερού εντός του υδροφόρου ορίζοντα με σοβαρές επιπτώσεις στον υπόγειο υδροφόρο.



ΕΙΚΟΝΑ 17. Σχηματική απεικόνιση των επιπτώσεων από τη παραγωγή H₂ με τη μέθοδο αφαλάτωσης στις περιβαλλοντικές κατηγορίες ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ, ΜΕΙΩΣΗ ΟΖΟΝΤΟΣ (O₃), ΜΕΙΩΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ, ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ και ΘΑΛΑΣΣΙΟΣ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ.

Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της μονάδας αφαλάτωσης στο Al-Jubail (Αραβικός κόλπος), η οποία έχει εγκατασταθεί πολύ κοντά στη θάλασσα, εκεί έχει διαπιστωθεί ότι η θερμή άλμη που απορρίπτεται από τις μονάδες αφαλάτωσης έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υπάρχουσα θαλάσσια ζωή λόγω των υψηλών θερμοκρασιών του θαλασσινού νερού.

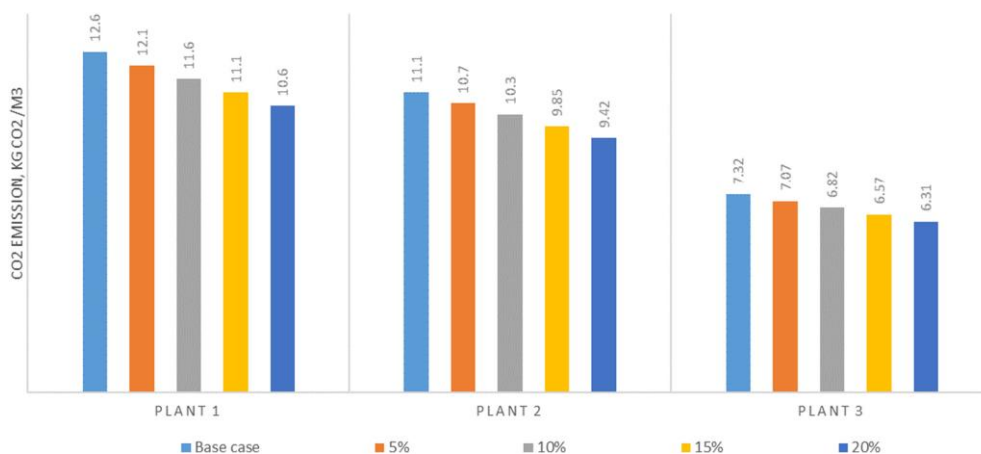
Αυτό συμβαίνει διότι ο συνδυασμός υψηλής θερμοκρασίας με την αυξημένη αλατότητα προκαλούν δραστική μείωση στην συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στο νερό της θάλασσας, γεγονός που περιορίζει τη βιοποικιλότητα των θαλάσσιων οργανισμών.[6]

Οικολογικές Επιπτώσεις / Νερό, Χρήση Γης για Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Υποδομές και άλλα

Η ποσότητα καθαρού νερού που απαιτεί η ηλεκτρόλυση είναι περίπου 4 m³/ημέρα (24 ώρες) ή 6 m³/ημέρα ακατέργαστου, δηλαδή μη καθαρού νερού ανά 1 MW ηλεκτρόλυσης. Οι συνήθεις πηγές που υπάρχουν για την άντληση νερού είναι από ήδη υπάρχουσα αφαλάτωση, από τα υπόγεια νερά, από λύματα (εφικτή αλλά πιο δαπανηρή η επεξεργασία από την παραγωγή αφαλατωμένου νερού). Τέλος υπάρχει η δυνατότητα χρήσης απευθείας θαλασσινού νερού χωρίς αφαλάτωση, αλλά αυτό μέχρι σήμερα βρίσκεται σε στάδιο Έρευνας και ανάπτυξης (Research and Development) και όχι εφαρμογή ευρείας κλίμακας.

Υπάρχουν βεβαίως και κάποιες μικρότερες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης πιο ευέλικτες, που έχουν εγκατασταθεί στη θάλασσα, που φαίνεται ότι είναι πιο αποτελεσματικές και κυρίως πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Η όποια πλεονάζουσα

παραγωγική ικανότητα αυτών των εγκαταστάσεων, είναι σε θέση να έχει πολλαπλά οφέλη για τις τοπικές κοινωνίες, κάτι που θα μπορούσε να θεωρηθεί σημαντικό για την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος του παραγόμενου νερού κυμαίνεται λιγότερο από 1% έως μέγιστο λιγότερο από 2% (στις πιο απαισιόδοξες εκτιμήσεις με πολύ ακριβό νερό) στο σύνολο της επιχειρηματικής δράσης. Συνεπώς φαίνεται ότι δεν είναι βασικός παράγοντας από οικονομική άποψη, αλλά έχει μεγάλη σημασία η επιλογή τοποθεσίας και για το πράσινο υδρογόνο, ενώ η ενέργεια για τις μονάδες αντίστροφης ώσμωσης μπορεί να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.



ΕΙΚΟΝΑ 18. Σχηματική απεικόνιση της μείωσης εκπομπών CO₂ ως αποτέλεσμα αξιοποίησης ηλιακής θερμικής ενέργειας σε μονάδες αφαλάτωσης MSF ανάλογα με την % συμβολή σε ΑΠΕ (5%, 10%, 15%, and 20% ηλιακής θερμικής ενέργειας αντίστοιχα).

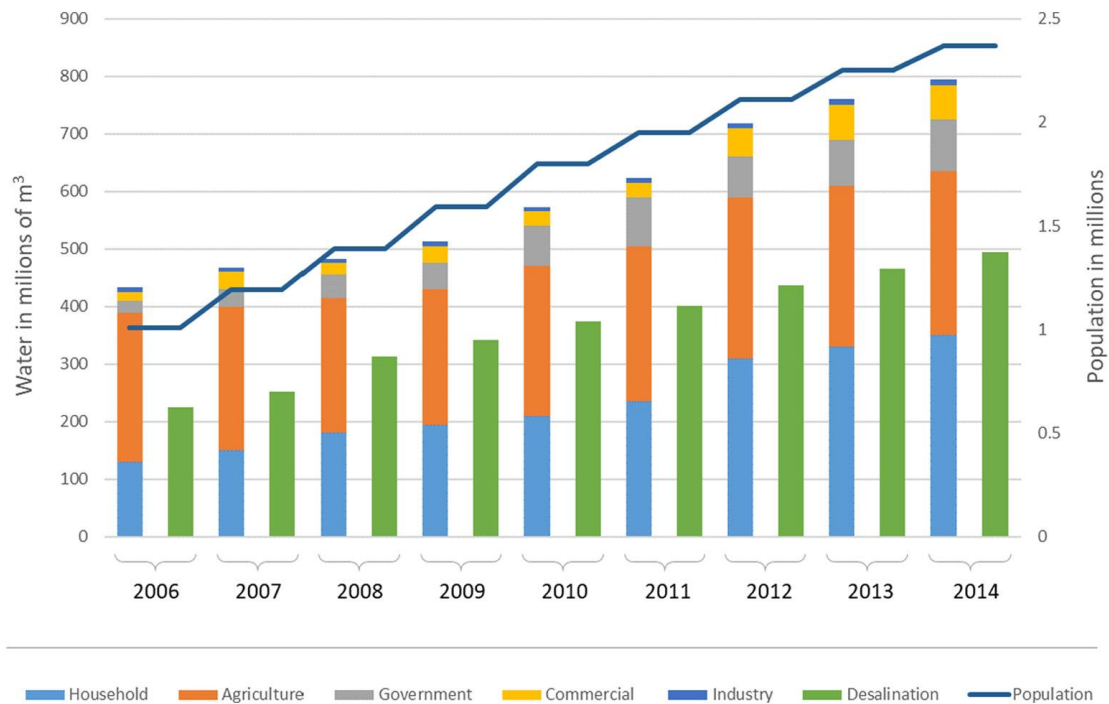
Εκτός από τις επιπτώσεις στο νερό, είναι αναγκαίο να εξεταστούν και περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε άλλους τομείς π.χ. τη τεράστια αλλαγή σε χρήσεις γης για την εγκατάσταση μονάδων ηλιακής και αιολικής ενέργειας (η χρήση γης είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος, τόσο από περιβαλλοντική όσο και από κοινωνική άποψη, αλλά δεδομένων των απέραντων, ακατοίκητων ερήμων, στην Αραβία είναι μικρότερο το πρόβλημα από ό,τι σε άλλες χώρες), οι απαιτήσεις για τη κατασκευή νέων υποδομών όπως οι αγωγοί μεταφοράς και γενικά η εκρηκτική φύση του υδρογόνου καθώς και οι επικίνδυνες επιπτώσεις των πράσινων μορίων του όπως η αμμωνία ή η μεθανόλη. Για τον τελευταίο κίνδυνο στη περίπτωση της αμμωνίας, ήδη μεταφέρεται σε πολλά μέρη του κόσμου και έχουν προκριθεί καθιερωμένα διεθνή πρότυπα υγείας και ασφάλειας.[5]

Αξιολογικά πρέπει να τεθεί στον επιστημονικό διάλογο ο προβληματισμός σχετικά με την παραγωγή υδρογόνου (για όλα τα χρώματα πλην του πράσινου), ότι θα υπάρξουν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις λόγω της αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του

άνθρακα CO₂, γεγονός που φαίνεται να είναι ένα σημείο που πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση κατά τη κατασκευή των έργων μεθοδολογίας Carbon Capture Use and Storage (CCUS). Συν τοις άλλοις όταν χρησιμοποιείται διοξείδιο του άνθρακος CO₂ με σκοπό να ενισχύσει την ανάκτηση στο πετρέλαιο δεν είναι δυνατόν να θεωρείται αυτό μέσο για να αποθηκεύεται αυτό το πετρέλαιο και να είναι βιώσιμη αυτή η πρακτική αφού γίνεται έκλυση και πάλι σημαντικής ποσότητας από διοξείδιο του άνθρακος CO₂. Όλες οι άλλες μορφές πλην του πράσινου υδρογόνου, δεν πρέπει να αποτελούν αιτιολογία για την καθυστέρηση της μετάβασης της βασικής ενέργειας προς τεχνολογίες χωρίς εκπομπές.[5]

8. ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ, ΤΟΠΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΕΣ

Σύμφωνα με το Bloomberg New Energy Finance (BNEF), το πράσινο υδρογόνο για μεγάλα έργα κοστίζει σήμερα μεταξύ 2,5-4,5 USD ανά κιλό. Ο IEA (International Energy Agency) έχει προβεί σε εκτίμηση της τιμής για να παραχθεί γκρι H₂ σε 1-1,80 USD/kg και το μπλε υδρογόνο σε 1,40-2,40 USD ανά kg (να σημειωθεί ότι η εκτίμηση των τιμών αυτών ήταν πριν να υπάρξουν πτώσεις στις τιμές για το φυσικό αέριο τον Μάρτιο/Απρίλιο 2020, επομένως οι σημερινές τιμές είναι πιθανότατα σημαντικά πιο υψηλές αφού οι τιμές που έχει το φυσικό αέριο είναι πιο ευαίσθητες). Υπάρχει πλειάδα ερευνητών έρευνας του ισοπεδωμένου κόστους για την παραγωγή σε πράσινο υδρογόνο (LCoH). Εργάστηκαν για την ανάπτυξη μιας καινοτόμου εργαλειοθήκης οικονομικών μοντέλων για την υποστήριξη των ενδιαφερόμενων μερών στην κατανόηση των υπολογισμών LCoH και, κυρίως, της ευαισθησίας της σε διάφορα σενάρια κεφαλαίου και ωφέλιμου κεφαλαίου που προβλέπονται στην περιοχή Middle East and Northern Africa (MENA).



ΕΙΚΟΝΑ 19. Στο σχήμα απεικονίζεται η παραγωγή νερού μέσα από την αφαλάτωση και την χρήση του νερού εντός διαφόρων οικονομικών τομέων εντός συσχέτισεως με το ότι αυξάνεται ο πληθυσμός για την τη περίοδο 2006–2014.

Αυτή η εργαλειοθήκη αποτελεί ένα αξιόλογο μέσο για τη μελέτη της σχέσης ανταγωνιστικότητας και των ευκαιριών παραγωγής πράσινου υδρογόνου στη MENA στη βάση της ποιοτική και ποσοτικής προσέγγισης. Αν υποθέσουμε ότι το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 2 σεντς USD ανά kWh και αν λάβουμε ως συντελεστή δυναμικότητας εγκατάστασης το ποσοστό 60%, υπολογιστικά περίπου το μισό του κόστους παραγωγής υδρογόνου αφορά στο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, ενώ το ένα τρίτο προέρχεται από τις λεγόμενες κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) και λιγότερο από το ένα πέμπτο από τα λειτουργικά έξοδα (OPEX), όλα αυτά αφορούν μια εγκατάσταση αφαλάτωσης με ηλεκτρολύτη. Όσον αφορά τις CAPEX, η εκτίμηση είναι ότι με τη βελτίωση της τεχνολογίας θα υπάρξει σημαντική μείωση του κόστους για τα επόμενα χρόνια. Ένας αντιπροσωπευτικός συντελεστής χωρητικότητας >50% έχει αποδειχτεί ότι είναι καθοριστικός παράγοντας για κάθε επιχειρηματική επένδυση στη παραγωγή υδρογόνου.

Αν συνδυαστεί ένας υψηλός συντελεστής αποδοτικότητας ηλιακής και αιολικής παραγωγής που αποφέρει χαμηλό LCoE (Εξισορροπημένο κόστος ηλεκτρισμού) στη περιοχή MENA είναι συμφέρουσα η παραγωγή πράσινου υδρογόνου με μέσο κόστος παραγωγής κάτω από 2 USD ανά κιλό. Η μεγάλη εγκατάσταση της NEOM για την παραγωγή πράσινης αμμωνίας στοχεύει επίσης και στην παραγωγή πράσινου υδρογόνου με εκτιμώμενο μέσο κόστος περίπου 1,5 USD ανά κιλό, όταν αυτή η εγκατάσταση τεθεί σε λειτουργία το 2025.

Η ύπαρξη μίας ευέλικτης σχεδιασμένης εγκατάστασης για να μετατρέπεται το υδρογόνο σε αμμωνία μέσα από την διαδικασία Haber-Bosch είναι δυνατόν να έχει συμβολή στο να στη μειωθεί το capex για την κάθε εγκατάσταση στην αποθήκευση. Αυτά τα καινοτόμα έργα που έγινε η ανακοίνωσή τους τον Ιούλιο του 2020 είναι δυνατόν να θεωρηθούν σαν πρότυπα για την ύπαρξη πολλών μελλοντικών έργων για να παράγεται το πράσινο υδρογόνο όχι μόνο σε περιφερειακά αλλά και σε παγκόσμια επίπεδα.

Είναι η καλύτερη απόδειξη ότι η περιοχή MENA έχει τη δυνατότητα να αναδειχθεί σε παγκόσμιο Leader σε ότι αφορά το χαμηλό κόστος παραγωγής πράσινου υδρογόνου, σε μια περίοδο που οι τιμές παραγωγής παγκοσμίως, αιολικής και ηλιακής ενέργειας ήταν σε ιστορικά χαμηλά. Εκτός από το κόστος παραγωγής, πρέπει να ληφθεί υπόψη και το κόστος μεταφοράς στις διεθνείς αγορές. Στη περίπτωση που π.χ. το υδρογόνο πρέπει να μεταφερθεί στην Ευρώπη, θα πρέπει να υπολογίσουμε ότι θα προστεθούν πολύ χονδρικά 2,00 USD ανά κιλό. Ωστόσο, αυτό το κόστος προέρχεται περισσότερο από μετατροπές (ή αντίστροφα για αμμωνία και LOHC), όπως από υδρογόνο σε αμμωνία, LOHC ή υγροποίηση, αν και υπάρχει καθαρό κόστος μεταφοράς. Με βάση τη γεωγραφία, τον τύπο της διαδρομής μεταφοράς και τη συνολική απόσταση, η μεταφορά με αγωγό αναμένεται να είναι ο νικητής σε αυτή την προσπάθεια, αλλά με ένα κλάσμα του κόστους. Στην πραγματικότητα, οι υπάρχοντες αγωγοί φυσικού αερίου μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν/επαναχρησιμοποιηθούν (π.χ. με νέους συμπιεστές) από φυσικό αέριο σε υδρογόνο με περιορισμένο κόστος. Το 13% των εισαγωγών φυσικού αερίου στην Ευρώπη προέρχεται από υπάρχουσες υποδομές στη Μεσόγειο. Για να παράγεται η αμμωνία μέσα από την διαδικασία Haber-Bosch μπορεί να φανεί ότι είναι η επιλογή που τρέχει αυτήν την στιγμή. Η εξέταση επίσης και άλλων μορφών, όπως είναι να υγροποιείται το υδρογόνο, να χρησιμοποιούνται οι υγροί φορείς οργανικού υδρογόνου (LOHC) ή για να μετατραπεί σε ηλεκτρονικών καυσίμων. Είναι πάρα πολύ σημαντικό το θέμα της σωστής επιλογής και μεταφοράς της κατάλληλης μορφής. Αυτό το θέμα είναι ανάμεσα στα βασικά ζητήματα που η επίλυσή τους είναι αναγκαία όπως και να δημιουργηθούν κατάλληλες συνθήκες εντός Ευρώπης για να εισάγεται (δημιουργία νομικού και ρυθμιστικού πλαισίου). Παρότι κάθε χώρα που συμμετέχει στην MENA θα

ήταν δυνατόν να προβεί στην δημιουργία σημαντικών ποσών στα εξαγωγικά έσοδα που προκύπτουν αφού πωλήσουν πράσινα μόρια μέσα στις παγκόσμιες αγορές, αυτοί που εισάγουν ορυκτά καύσιμα έχουν επιπροσθέτως την ευκαιρία να προβούν σε μείωση του λογαριασμού που αφορά στις εισαγωγές τους ακόμα πιο πολύ από ότι θα ήταν δυνατόν να ονειρευτούν πριν από μερικά χρόνια. [5]

8.1 ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΜΕΘΟΔΟ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Το οικονομικό κόστος των μονάδες αφαλάτωσης νερού διακρίνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Το κόστος της αρχικής επένδυσης
- Το κόστος της λειτουργίας και της συντήρησης
- Τέλος το κόστος του νερού που παράγεται.

Το οικονομικό κόστος της αρχικής επένδυσης περιλαμβάνει το σχεδιασμό, την κατασκευή, τα αναλώσιμα, τα απαραίτητα δάνεια και το κόστος για την απόκτηση αδειών για την εγκατάσταση της μονάδας αφαλάτωσης. Από τα παραπάνω κόστος, το υψηλότερο κόστος σχετίζεται με την κατασκευή της μονάδας αφαλάτωσης. Αυτό αντιπροσωπεύει το 50-80% του κόστους της αρχικής επένδυσης, συμπεριλαμβανομένου του κόστους προμήθειας, κατασκευής και εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης και της επεξεργασίας του νερού πριν και μετά την αφαλάτωση. Το υπόλοιπο 20-50% του κόστους αφορά τις διαδικασίες, τις έρευνες, το σχεδιασμό, την αδειοδότηση και τη χρηματοδότηση της μονάδας αφαλάτωσης, το ποσοστό ελικά εντάσσεται στην κατηγορία των "απρόβλεπτων" δαπανών. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης περιλαμβάνει το ενεργειακό κόστος για την εγκατάσταση, το εργατικό και λοιπό κόστος προσωπικού, τα απαραίτητα αναλώσιμα και ανταλλακτικά. Για τη λειτουργία και τη συντήρηση μιας μονάδας, το κόστος εξαρτάται από δύο παραμέτρους: το σταθερό κόστος και το μεταβλητό κόστος. Το σταθερό κόστος περιλαμβάνει όλες τις κατηγορίες δαπανών που δεν εξαρτώνται από την ποσότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού, όπως η εργασία, η συντήρηση του εξοπλισμού, οι τεχνικές επιθεωρήσεις, το κόστος για την περιβαλλοντική διαχείριση της μονάδας αφαλάτωσης, η ασφάλιση, το διοικητικό κόστος κ.λπ. ενώ το μεταβλητό κόστος σχετίζεται με την ποσότητα του παραγόμενου νερού και την καταναλισκόμενη ενέργεια, την απαιτούμενη χημική επεξεργασία, την αντικατάσταση φθαρμένων εξαρτημάτων, που σχετίζονται με την απομάκρυνση της άλμης, κ.λπ. Ένα άλλο 50-85% του κόστους είναι το κόστος συντήρησης και λειτουργίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το ενεργειακό κόστος μπορεί να ανέλθει στο 60% του μεταβλητού κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι όλα τα παραπάνω κόστη σε €/m³ πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την οικονομική αξιολόγηση των μονάδων αφαλάτωσης. Μια κρίσιμη π

αράμετρος για το κόστος παραγωγής αφαλατωμένου νερού είναι το μέγεθος της μονάδας αφαλάτωσης (οικονομίες κλίμακας). Για παράδειγμα, για μια μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση 5.000 m³/ημέρα, το κόστος παραγωγής είναι κατά μέσο όρο 1,5€/m³, αλλά όταν αυξάνεται σε 20.000 m³/ημέρα, το κόστος πέφτει κατά μέσο όρο σε 0,75€/m³. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τη σχέση μεταξύ της παραγωγικής ικανότητας και των πηγών ενέργειας και του κόστους του παραγόμενου νερού.

Είδος νερού που χρησιμοποιείται	Δυναμικότητα μονάδας αφαλάτωσης (m ³ /ημέρα)	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο	<1.000	0,63- 1,06
	5.000 - 60.000	0,21- 0,43
	<1.000	1,78- 9,00
Θαλασσινό	1.000 - 5.000	0,56- 3,15
“	12.000 - 60.000	0,35- 1,30
“	>60.000	0,40- 0,80

ΠΙΝΑΚΑΣ 20. Συσχέτιση είδους νερού και κόστους παραγωγής αφαλάτωσης

Είδος νερού που χρησιμοποιείται	Πηγή Ενέργειας	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο	Συμβατική	0,21- 1,06
“	Φ/Β	4,5- 10,32
Θαλασσινό	Γεωθερμία	2,0
(αλατότητα > 10000 ppm)	Συμβατική	0,35- 2,70
“	Άνεμος	1,00- 5,00
“	Φ/Β	3,14- 9,00

ΠΙΝΑΚΑΣ 21. Συσχέτιση είδους νερού και κόστους παραγωγής αφαλάτωσης ανάλογα με το είδος ΑΠΕ που χρησιμοποιείται,

Η διαθεσιμότητα των μονάδων είναι μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το τελικό κόστος του παραγόμενου νερού. Είναι το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο μια μονάδα αφαλάτωσης παράγει ποσότητα νερού ίση ή μικρότερη από τη δυναμικότητα παραγωγής. Υποθέτοντας ότι μια μονάδα αφαλάτωσης με δυναμικότητα 100 m³/ημέρα που χρησιμοποιείται αντίστροφη ώσμωση παράγει 100x365x1 = 36500 m³/έτος, το ποσοστό διαθεσιμότητας είναι 100%. Εάν μια παρόμοια μονάδα λειτουργεί με δυναμικότητα 10% με δυναμικότητα μικρότερη από 365 m³/ημέρα, η ετήσια παραγωγή θα είναι 100x365x0,9=32850 m³/έτος. Καθώς αυξάνεται ο μοναδιαίος ρυθμός λειτουργίας, αυξάνεται και το ετήσιο μεταβλητό κόστος λειτουργίας, αλλά σε αυτή την περίπτωση έσοδα από τις πωλήσεις νερού θα καλύψουν το αυξημένο κόστος παραγωγής. Εκτός από τον μοναδιαίο ρυθμό λειτουργίας, το κόστος του νερού που παράγεται σε εγκαταστάσεις αντίστροφης ώσμωσης επηρεάζεται από την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, δηλαδή την αλατότητα, τη θερμοκρασία, τη θολότητα, την παρουσία ή απουσία οργανικής ύλης και άλλων (παραμέτρων) χημικών στοιχείων (ιδίως πυρίτιο, μαγνήσιο και κάλιο). Καθώς αυξάνεται η αλατότητα του νερού τροφοδοσίας, αυξάνεται το αρχικό

κόστος παραγωγής της μονάδας. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες, από την άλλη πλευρά, συνήθως μειώνουν το κόστος παραγωγής, αλλά προκαλούν βλάβη στη διάταξη των μεμβρανών. Τέλος, η ποιότητα του χρησιμοποιούμενου νερού είναι επίσης σημαντική, καθώς οι χημικές ουσίες που διαλύονται στο νερό τροφοδοσίας αυξάνουν το κόστος της ανάντη επεξεργασίας. Το συνολικό κόστος της μονάδας αυξάνεται σημαντικά λόγω της απαίτησης για πόσιμο νερό υψηλής ποιότητας. Ο τρόπος διαχείρισης της άλμης επηρεάζει επίσης το κόστος, με τη φθνότερη λύση να είναι η απόρριψη της άλμης στη θάλασσα. Τα τελευταία χρόνια, με αφορμή την κατασκευή διαφόρων φραγμάτων και άλλων έργων αξιοποίησης υδάτινων πόρων, ιδίως σε νησιά, έχουν γραφτεί και συζητηθεί συγκρίσεις μεταξύ του κόστους παραγωγής πόσιμου νερού από τα έργα αυτά και από μονάδες αφαλάτωσης. Οι συγκρίσεις αυτές δεν λαμβάνουν υπόψη τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις και τάσεις, ιδίως τη μικροδιήθηση, την υπερδιήθηση, τη μικροδιήθηση και την αντίστροφη ώσμωση. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, πολλά νησιά του Αιγαίου (Μήλος, Σαντορίνη και Σύρος) αντιμετωπίζουν δυσκολίες επειδή είναι αναγκασμένα να εξοικονομούν νερό. Το κόστος μεταφοράς πόσιμου νερού ανέρχεται σε 8-9 ευρώ/m³ και επιπλέον 0,70 ευρώ/m³ καταβάλλονται στον κύριο προμηθευτή, την ΕΥΔΑΠ. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, περισσότερα από 2.500 m³ νερού μεταφέρονται τελικά στα νησιά κατά τη διάρκεια της ξηράς περιόδου, αλλά αυτό δεν είναι αρκετό για να καλύψει την αυξημένη ζήτηση από τον τουρισμό. Η τιμή της αφαλάτωσης φτάνει τα 4 ευρώ/m³ και σε ορισμένες περιπτώσεις οι ιδιοκτήτες ιδιωτικών εταιρειών. Στη Μήλο, μια ιδιωτική εταιρεία με ανεμογεννήτριες λειτουργεί με άδεια του Υπουργείου Ανάπτυξης και η υπό κατασκευή μονάδα αφαλάτωσης είναι επίσης και ολική και θα παράγει αρκετό νερό για να καλύψει τις ανάγκες του νησιού. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση σημαίνει ότι ο δήμος ενεργεί ως πελάτης της εταιρείας και όχι ως διαχειριστής του νερού. Μια άλλη λύση που πολλοί κάτοικοι είναι πιθανόν να υιοθετήσουν είναι η αγορά μονάδων αφαλάτωσης από ιδιώτες. Στη Σύρο, για παράδειγμα, ορισμένοι βιομήχανοι αποφάσισαν να εγκαταστήσουν οι ίδιοι εγκαταστάσεις αντίστροφης ώσμωσης θαλασσινού νερού, αφού υπολόγισαν το κόστος που συνεπάγεται αυτό σε σύγκριση με την αγορά πόσιμου νερού από το δήμο: το 2006, η Αμοργός, τα Κουφονήσια, η Κίμωλος, η Ηρακλεία, η Σινώα και η Φώρογανδρος, 510.000 m³ νερού στάλθηκαν στα νησιά Σίκινο, Θηρασιά και Μήλο για να καλύψουν τις ανάγκες των κατοίκων και των χιλιάδων τουριστών που επισκέπτονται τα νησιά. Ειδικότερα, η ποσότητα νερού που μεταφέρθηκε στα άνυδρα νησιά των Κυκλάδων μεταξύ 1997 και 2006 ανήλθε στο Υπουργείο Αιγαίου σε 48 εκατ. ευρώ, ποσό που αντιστοιχεί σε 9 εκατ. m³ συνολικά. Τα δημόσια τέλη που καταβλήθηκαν στις ναυτιλιακές εταιρείες για τα δεξαμενόπλοια που μετέφεραν νερό στα νησιά των Κυκλάδων το 2006 ανήλθαν σε 4 εκατ. ευρώ. Είναι εύλογο για πολλούς να πιστεύουν ότι αν τα χρήματα αυτά είχαν επενδυθεί στην κατασκευή κατάλληλων εγκαταστάσεων, θα είχαν αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά οι καιρινές ελλείψεις νερού και η τιμή του εμφιαλωμένου νερού δεν θα ήταν τόσο υψηλή. Σε πολλές μεσογειακές χώρες, το λειτουργικό κόστος της αφαλάτωσης και της επεξεργασίας λυμάτων έχει μειωθεί σημαντικά με την παροχή των νετών, καθώς έχουν καταστεί διαθέσιμοι νέοι τύποι μεμβρανών και, κυρίως, έχει μειωθεί η ενέργεια ανά μονάδα παραγόμενου νερού. Σε πολλές περιπτώσεις, οι επιφανειακοί ταμιευτήρες δεν λαμβάνουν υπόψη το κόστος επεξεργασίας

και μεταφοράς για τη μετατροπή του νερού που συλλέγεται εκεί σε πόσιμο νερό και τη φυσική διάθεσή του στους καταναλωτές. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, αναμένεται ότι το κόστος της αφαλάτωσης, ιδίως της αφαλάτωσης ψάλμυρου νερού, θα μειωθεί στο εγγύς μέλλον σε επίπεδο χαμηλότερο από εκείνο των συμβατικών δάτινων πόρων. Στη Μάλτα, το 70% της συνολικής κατανάλωσης νερού είναι αφαλάτωση, η οποία κοστίζει 0,46 ευρώ/m³ για τις μεμβράνες που χρησιμοποιούνται σήμερα. Η δοκιμή νέων μεμβρανών αναμένεται να μειώσει το κόστος σε 0,34 ευρώ/m³. Η Κύπρος, η χώρα με την υψηλότερη πυκνότητα φραγμάτων στον κόσμο, αντιμετωπίζει αποτελεσματικά την παροχή νερού με μονάδες αφαλάτωσης την τελευταία δεκαετία. Συμπερασματικά, με βάση το κόστος κατασκευής των εγκαταστάσεων σε διάφορες χώρες τα τελευταία 15 χρόνια, το κόστος της αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση μπορεί να διαπιστωθεί ότι έχει μεταβληθεί με την πάροδο του χρόνου, από 1,50 ευρώ το 2001 σε 0,20 ευρώ το 2005. [9]

9. ΠΙΛΟΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΜΟΝΑΔΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΊΟ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζουμε τη περίπτωση της μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού στο νησί Ίος των Κυκλάδων. Η εν' λόγω μονάδα έχει κατασκευαστεί στο δήμο Ιητών της Ίου στη περιοχή Πούντα. Η έναρξη λειτουργίας της ξεκίνησε το 2010 και το κόστος εγκατάστασης της καλύφθηκε από το Υπουργείο Εσωτερικών μέσω του χρηματοδοτικού μέσου «Πρόγραμμα Αντιμετώπισης Λειψυδρίας σε νήσους του Αιγαίου Πελάγους». Η κατασκευή της μονάδας ολοκληρώθηκε το 2008 και αποτελείτο από προκατασκευασμένο εξοπλισμό έτοιμο προς λειτουργία, εργονομικά ενσωματωμένη εντός μεταλλικού περιβλήματος (container).

Η εγκατάσταση βρίσκεται σε οικόπεδο ιδιοκτησίας του δήμου Γέτου, όπως εγκρίθηκε από τον διαχειριστή του έργου, και είναι πλήρως συνδεδεμένη με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, θαλασσινού και παραγόμενου νερού και διάθεσης άλμυς. Η μονάδα είναι εξοπλισμένη με όλες τις τεχνικά απαραίτητες βαλβίδες ασφαλείας και τα απαραίτητα όργανα για τη μέγιστη ασφάλεια του προσωπικού και του εξοπλισμού και είναι επίσης πλήρως συνδεδεμένη. Προκειμένου να ξασφαλιστεί η εύρυθμη λειτουργία της εγκατάστασης προηγήθηκαν οι προβλεπόμενες από τον κατασκευαστή δοκιμές και αναλύσεις του παραγόμενου νερού.

Το παραγόμενο υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εναλλακτικό καύσιμο σε πολλές τεχνολογίες καύσης, όπως καταλυτικοί καυστήρες, λέβητες αερίου και κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η παρουσία των κυψελίδων καυσίμου είναι τελευταίας τεχνολογίας δίνει τη δυνατότητα μέσω μιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια έχοντας ως μοναδικό υποπροϊόν το νερό. Η αρχή λειτουργία των κυψελίδων καυσίμου είναι η αντίστροφη από την ηλεκτρολυτική μονάδα και μοιάζει με μια μπαταρία, με τη μοναδική διαφορά ότι δεν υφίσταται ο περιορισμός της εξάντλησης του καυσίμου.

Με τη συγκεκριμένη τεχνική αποφεύγονται ζητήματα εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα κυρίως υδρογονάνθρακες με ταυτόχρονη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων που απελευθερώνονται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Εξάγεται συνεπώς το συμπέρασμα ότι μελλοντικά με τη παραγωγή υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα υπάρξει θετικό αποτέλεσμα :

- μεσοπρόθεσμα, σαν μέσο αποθήκευσης της ενέργειας
- μακροπρόθεσμα, σαν «πράσινο» καύσιμο για τη βιομηχανία ή για τις μεταφορές.

Στο project της Ίου η επιτυχία προέκυψε με την απόκτηση πρωτόγνωρης για τα ελληνικά δεδομένα τεχνογνωσίας σχετικά με τις τεχνολογίες υδρογόνου ήτοι:

- του υεχνολογικού εξοπλισμού για την παραγωγή υδρογόνου από ΑΠΕ,
- του εξοπλισμού «βιομηχανικής κλίμακας» για την παραγωγή υδρογόνου από ηλιακή,
- ειδικού εξοπλισμού που απαιτείται για την αποθήκευση - μεταφορά και «πράσινη» αξιοποίηση του υδρογόνου (κυψελίδες καυσίμου) και
- τέλος με την ανάπτυξη λογισμικού και άλλου εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις παραγωγής υδρογόνου σε ενεργειακές εφαρμογές, στις μεταφορές, τη βιομηχανία και στα κτίρια.

Εισαγωγική περιγραφή μονάδας

-Τα μη διασυνδεδεμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας στα ελληνικά νησιά χαρακτηρίζονται από: υψηλό κόστος παραγωγής/εξάρτησή από το πετρέλαιο /χαμηλό συντελεστή φορτίου.

-λειτουργία-υψηλό κόστος νερού (υδροφόρες, δεξαμενές).

- Χαρακτηριστικάτης ζήτησης Ηλεκτρισμός(μεγάλεςδιακυμάνσεις εντός24ωρώνκαι εποχιακές διακυμάνσεις) /Νερό(αυξημένοκατά τους καλοκαιρινούς μήνες).
- Οι μεταφορέςείναιο κύριοςλόγοςγιατην αύξηση της ζήτησηςενέργειας στην Ευρώπη μέχρι το2020.
- Νέος δεσμευτικόςστόχοςτης ΕΕ(το18% της κατανάλωσης ενέργειαςπρέπει να καλύπτεταιαπόανανεώσιμεςπηγές ενέργειαςτο 2020).
- Ανάγκη επιτάχυνσης της δράσηςστοηλεκτρισμό,τη θερμότητακαι τις μεταφορές
- Απότομηαύξησητωντιμών του πετρελαίου.

Σκοπόςέργου:

- Παραγωγή νερού που θα χρησιμοποιείται για ύδρευση και άρδευση και
- Παραγωγή Υδρογόνου που θα χρησιμοποιείται για την κίνησηΕπιδεικτικών οχημάτων.

Σχεδιασμόςέργου -Διαστασιολόγηση:

- Ανεμογεννήτρια : 400kW – εκτός δικτύου
- Αφαλάτωση : 4x60kW – 1400m³/d
- Μονάδα παραγωγής Υδρογόνου (ηλεκτρόλυση): ~11kW, με ικανότητα παραγωγής 2Nm³/hr H₂, καθαρότητας 99,999% σε πίεση 15 ή 20 bar.
- Επιδεικτικά οχήματα που λειτουργούν με Υδρογόνο (π.χ.: scooter, μικρό επιχειρησιακό όχημα -σκουπιδιάρικο, μικρόδιθέσιοόχημα –smart, πλεούμενο)

Αποτίμηση μονάδας ανεμογεννήτριας με αφαλάτωση

- Δυναμική να παραχθεί αιολική ισχύς : 1424MWh
- Κατανάλωση αιολικής ισχύος από τις μονάδες αφαλάτωσης :987–137MWh
- Παραγωγήνερού: 240 - 275 (1000m³)
- Χωρητικότητακάτωδεξαμενής: 230 (1000m³)
- Εκτίμηση αναγκών νερού : 220lt/ημέρα/άτομο
- 2000 μόν. Κάτοικοι +4000 επισκέπτες (2 μήνες) : 160+53=213 (1000m³)
- + ανάγκεςάρδευσης

Ζητούμενα :

- Καλή διαστασιολόγηση αφαλάτωση,
- Κάλυψη των αναγκών νερού
- Καλή εκμετάλλευση αιολικής ισχύος (69% - 79%) και
- Καλή εκμετάλλευση εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης (47% - 54%)

Ηλεκτρόλυση –Αποθήκευση -Οχήματα

- Συσκευή ηλεκτρόλυσης τύπου PEM, 11kW - 2Nm³/hr H₂, καθαρότητας 99,999% σε πίεση 15 ή 20 bar, που μπορεί να λειτουργήσει στο 20%-110% της ονομαστικής της ισχύος με αντίστοιχο βαθμό απόδοσης.
- Για τη λειτουργία της και την παραγωγή 1Nm³H₂ απαιτείται η παροχή απιονισμένου νερού, μέσω κατάλληλης συσκευής απιονισμού.
- Για την αποθήκευση του H₂ απαιτούνται δύο δεξαμενές με συνολικό όγκο 8m³, και συνολική χωρητικότητα 200Nm³H₂.
- Επιδεικτικά οχήματα (Δύο scooter ~0.5 kW, μικρό επιχειρησιακό όχημα ελέκτρο για τα στενά σοκάκια της Ύψους κατάλληλο για την αποκομιδή των σκουπιδιών ~2kW, μικρό διαθέσιμο επιβατικό όχημα ~1 kW).
- Τα μικρο-οχήματα θα κινούνται με κυψέλες καυσίμου τύπου PEM, θα διαθέτουν δεξαμενές αποθήκευσης υδρογόνου τύπου μεταλλοϋδριδίων, κατάλληλα προδιαγεγραμμένων ώστε να πληρώνονται σε χαμηλή πίεση απευθείας από την δεξαμενή δίχως την απαίτηση συμπίεσής.

Ηλεκτρόλυση –Αποθήκευση -Οχήματα

- Η μονάδα ηλεκτρόλυσης λειτουργεί: ~8760 ή 2800 ώρες στο ονομαστικό φορτίο
- Παράγει ~17000 ή 5600Nm³H₂ (Δεξαμενή 200Nm³H₂),
- Και εξασφαλίζει στα οχήματα (4kW) κίνηση για 3 – 9 ώρες ημερήσιας λειτουργίας για όλο το έτος.
- Βαθμός εκμετάλλευσης μονάδας Ηλεκτρόλυσης: 100%-32%

Οφέλη από το Πρόγραμμα

- Πρωτοποριακές πρωτοβουλίες σε ευρωπαϊκό επίπεδο.
- Τεχνογνωσία για τη χρήση του υδρογόνου ως ενεργειακού φορέα στον τομέα των μεταφορών
- Συμμετοχή των τοπικών αρχών
- Ευαισθητοποίηση του κοινού μέσω συστημάτων πληροφόρησης για την αιολική ενέργεια, την παραγωγή νερού και την παραγωγή υδρογόνου
- Προώθηση της Ίου, ενός νησιού που καλύπτει πλήρως τις ανάγκες του σε νερό που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια - Island Municipal Hydrogen Vehicles
- Ανάπτυξη του ενεργειακού τουρισμού. [8]

10. ΠΟΣΟ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ ΚΑΙ ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ;

Είναι σημαντικό να διευκρινήσουμε ότι, στη Γη, το νερό ως παρρουσία χημικής ένωσης είναι αδύνατον να εξαντληθεί στο μέλλον. Αντίθετα, αυτό που γνωρίζουμε είναι ότι η υπάρχουσα ποσότητά του παραμένει σταθερή. Βάσει υπολογισμών είναι περίπου 1,386 δισεκατομμύριο κυβικά χιλιόμετρα και ο υδρολογικός κύκλος εγγυάται ότι στη Γη υπάρχει τώρα ποσότητα νερού περίπου όση και πριν δισεκατομμύρια χρόνια. Το ανησυχητικό είναι η αδυναμία πρόσβασης στη μεγαλύτερο μέρος του υπάρχοντος νερού.

Πού βρίσκεται το νερό;

Είναι σε όλους μας γνωστό ότι περίπου το 97% του νερού βρίσκεται στους ωκεανούς, δηλαδή αλμυρό νερό άρα ακατάλληλο προς χρήση. Από το υπόλοιπο το 2% υπάρχει στην συμπύκνωση των παγετώνων και των πολικών παγοκαλυμμάτων.

Από το εναπομείναν 1% το μισό δεν είναι προσβάσιμο. Μένει συνεπώς για χρήση και κατανάλωση τα επιφανειακά ύδατα των ποταμών, των λιμνών και των υπόγειων υδροφορέων μέσω των γεωτρήσεων κ.α.

Γιατί μειώνονται τα αποθέματα;

Τα αποθέματα νερού που είναι διαθέσιμα υφίστανται έντονες πιέσεις τόσο όσο αφορά στη ποσότητα τους αλλά στη ποσότητα τους.

Σε ότι αφορά στις χρήσεις νερού περισσότερο από το 75% των γλυκών υδάτων καταναλώνεται για τις ανάγκες της γεωργικής παραγωγής. Η ζήτησή κατανάλωσης του νερού άρδευσης αναμένεται να αυξηθεί κατά 55% έως το 2050 (σε σχέση με το 2010), για προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες του πληθυσμού του πλανήτη μας που αναμένεται να φθάσει τα 10 δισεκατομμύρια κατοίκους.

Η απαίτηση βιομηχανικού νερού και για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (υδροηλεκτρικά) αναμένεται αύξηση περίπου 20% μέχρι το 2035. Λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι σήμερα περίπου 844 εκατομμύρια άνθρωποι το 1/9 του παγκόσμιου πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση σε επαρκές και καθαρό πόσιμο νερό φαίνεται ότι θα υπάρξει επιδείνωση της κατάστασης και λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Η ρύπανση και μόλυνση των υδάτων και του εδάφους συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην επιδείνωση της επάρκειας σε καθαρό νερό λόγω της χρής λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων στη γεωργία.

Η εξάντληση των υπόγειων υδάτων

Η μείωση επίσης των αποθεμάτων στους υπόγειους υδροφορείς αποτελεί ζήτημα προβληματισμού των επιστημόνων αφού σύμφωνα με υπολογισμούς φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των υπόγειων υδάτων εξαντλείται γρηγορότερα από την αναπλήρωση που φέρνει ο υδρολογικός κύκλος. Στους 21 από τους 37 γνωστούς και σημαντικότερους υπόγειους υδροφορείς της Γης τα αποθέματα συνεχώς μειώνονται.

Ποιες περιοχές του πλανήτη αντιμετωπίζουν ήδη πρόβλημα

Υπάρχουν περιοχές στον πλανήτη που η μείωση των αποθεμάτων νερού προκαλεί στην επιστημονική κοινότητα μεγαλύτερο προβληματισμό από άλλες. Το πιο ενδεικτικό

παράδειγμα είναι η Κίνα που αντιπροσωπεύει περίπου το 20% του πληθυσμού του πλανήτη και στην οποία το γλυκό νερό που είναι προσβάσιμο αντιπροσωπεύει μόνο το 6% του παγκόσμιου γλυκού νερού. Εκεί η κατάσταση δεδομένης της τεράστια βιομηχανικής ανάπτυξης της Κίνας η κατάσταση συνεχώς χειροτερεύει συνυπολογίζοντας και τη χημική ρύπανση των υδάτων από τη βιομηχανία.

Μια άλλη ενδεικτική περίπτωση είναι αυτή της Ιταλίας, όπου μετά την υποχώρηση του παγετώνα Βέρα Γκράντε του Μόντε Ρόζα, στις Άλπεις τα αποθέματα σε νερό υπέστησαν ριζική μείωση. Ο συγκεκριμένος παγετώνας, έδινε νερό στον ποταμό Εβανσόν, το νερό του οποίου καταλήγει στη περιοχή της Αόστα στην οποία αρδεύονται αγροτικές καλλιέργειες. Κανείς δεν γνωρίζει για πόσο μετά την υποχώρηση του παγετώνα για πόσο ακόμα θα υπάρχει επαρκές νερό για άρδευση.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι στη πολιτεία της Καλιφόρνια, στην οποία παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες ξηρασίες των τελευταίων 1.200 ετών τη πενταετία 2011 - 2016. Κατά τη ίδια περίοδο τα υδάτινα αποθέματα των υπόγειων υδροφορέων μειώθηκαν κατά περίπου 20 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα και ξεράθηκαν περίπου 1.900 πηγάδια. Μικρή ανάκαμψη παρατηρήθηκε το 2017, χρονιά μεγάλου ύψους κατακρημνησμάτων τα οποία ανέταξαν εν' μέρει τη προηγούμενη δυσμενή κατάσταση.

Το αρνητικό σενάριο δεν πραγματοποιήθηκε και μέσω σφιχτής εξοικονόμησης και περιστολής της κατανάλωσης που έγινε από τους κατοίκους της περιοχής μετά από συντονισμένη καμπάνια που έγινε από τον διαχειριστή του νερού. Εφαρμόστηκαν επίσης και τεχνικές άρδευσης στις καλλιέργειες ή προγράμματα επαναχρησιμοποίηση του νερού κατά την οικιακή χρήση.[11]

Τα μέτρα που μπορεί να κάνουν τη διαφορά

Στο Κέιπ Τάουντης Νότιας Αφρικής το 2017 η κατάσταση επάρκειας νερού είχε φθάσει σε οριακό σημείο, γεγονός που οφείλονταν κυρίως στη κατασπατάληση νερού. Τη χρονιά αυτή η κυβέρνηση ανέλαβε σημαντική πρωτοβουλία ενημέρωσης των καταναλωτών επισείοντας τον κίνδυνο ότι η "ημέρα μηδέν" κατά την οποία οι βρύσες δεν θα έτρεχαν πλέον νερό δεν ήταν μακριά.

Ευτυχώς αυτή η αρνητική εξέλιξη αποφεύχθηκε αφού πείστηκαν οι πολίτες – καταναλωτές να περιορίσουν δραστικά τη σπατάλη νερού, ζώντας κάθε νοικοκυριό μια απόλυτα βιώσιμη διαχείριση νερού. Παρόμοιο γεγονός προωθήθηκε και στις αγροτικές περιοχές, προς τους καλλιεργητές με αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης στην αγροτική άρδευση. Τέλος προωθήθηκε η λογική της επαναχρησιμοποίησης του νερού από τα ντουζ και στη πλύση ρούχων και σε βιομηχανικό επίπεδο με τη δημιουργία ενός μονάδας αφαλάτωσης.

Η Αυστραλία επίσης αντιμετώπισε τη παρατεταμένη ξηρασία του Millennium (1997-2009) εφαρμόζοντας μέτρα με σκοπό τη μείωση της χρήσης νερού έως και 50%, με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των πηγών και των πηγαδιών σε ανεκτά επίπεδα.

Ίσως η πλέον επιτυχημένη περίπτωση είναι αυτή του Ισραήλ, μια χώρα με πολύ μεγάλες περιόδους ανομβρίας (7-9 μήνες το χρόνο) όπου η εξοικονόμηση του νερού τέθηκε ως θέμα εθνικής ασφάλειας. Έφθασε στο επίπεδο να ανακυκλώνει περίπου το 40% του χρησιμοποιημένου νερού, επιστρέφοντας στη γεωργική χρήση τη τεράστια ποσότητα των 140 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων. Μέσα από την ίδια πολιτική στο Ισραήλ ανακυκλώνεται περίπου το 86% του νερού που ρέει προς τα σιφόνια και ένα εντυπωσιακό ποσοστό λαμβανομένου υπόψη ότι η επόμενη χώρα στη σειρά που το επιτυγχάνει η Ισπανία έχει ποσοστό 19%.

Είναι η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού το μέλλον;

Τα κράτη της Μέσης Ανατολής και το Ισραήλ φυσικά έχουν αποφασίσει να επενδύσουν σημαντικά δημόσια κονδύλια προκειμένου να εφαρμόσουν σε ευρεία κλίμακα την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Το ερώτημα που μπαίνει είναι αν με την απομάκρυνση της άλμης από το θαλασσινό νερό της θάλασσας θα λύσουμε το πρόβλημα της επάρκειας νερού.

Τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά όσο φαίνονται. Η αφαλάτωση του νερού της Θάλασσας μέχρι και σήμερα θεωρείται μία οικονομικά δαπανηρή και ενεργειακά κοστοβόρα μέθοδο που τελικά επιβαρύνει την κλιματική αλλαγή. Δεν είναι όμως μόνο το οικονομικό κόστος. Η άλμη που απομονώνεται είναι δύσκολο στη διαχείριση του και η απόρριψη στην θάλασσα δεν θεωρείται λύση περιβαλλοντικά αποδεκτή.

Μία λύση περιβαλλοντικά πιο αποδεκτή έχει την αρχή λειτουργίας της στο μακρινό παρελθόν. Έχει ως πρότυπο τη Βασιλική Κινστέρνα, τη μεγαλύτερη υπόγεια δεξαμενή νερού που ιστορικά κατασκευάστηκε ποτέ, στην Κωνσταντινούπολη, από τον Βυζαντινό Αυτοκράτορα Ιουστινιανό, που είχε δυνατότητα αποθήκευσης έως 1 80.000 κυβικά μέτρα όμβριου νερού.

Περίπου 1500 χρόνια μετά, στην εποχή μας κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιούνται σχεδόν ίδιες δεξαμενές σε πολλές χώρες, όπως την Ινδία, τις Βερμούδες, τη Σιγκαπούρη και την Αυστραλία.

Σημαντικές τεχνολογικές λύσεις μπορούν να εφαρμοστούν και στις καλλιέργειες, στην άρδευση για να αποφευχθεί η σπατάλη νερού και βεβαίως να μεγιστοποιηθεί η κατασκευή αποθηκευτικών υποδομών νερού (υδραγωγεία).

Οι πόλεμοι του νερού

Ένα άλλο ζήτημα που πριν μερικά χρόνια θεωρείτο αδιανόητο είναι ότι λόγω της ζήτησης του νερού, είναι προφανής η πρόκληση πολεμικών συρράξεων. Τα πολυπηθή επίσης μεταναστευτικά ρεύματα είναι συχνή αιτία διασυνοριακών συρράξεων για το νερό. Ο εμφύλιος στη Συρία, είναι ενδεικτικό παράδειγμα πολέμου που στη βάση του έχει το νερό. Αυτό γιατί η Συρία ήρθε αντιμέτωπη πριν 15 χρόνια (2007-2012) πρωτόγνωρη ξηρασία, η οποία ερημοποίησε μεγάλες καλλιεργήσιμες γαίες και οδήγησε εκατοντάδες χιλιάδες κατοίκους των περιοχών να μεταναστεύσουν και να διαβιούν σε άθλιες συνθήκες.

Οι εκθέσεις της UNESCO και μάλιστα αυτή του 2019 αναφέρει ότι έλαβαν χώρα κατά τη τελευταία δεκαετία 263 πολεμικές συρράξεις βασική αιτία των οποίων ήταν η περιορισμένη πρόσβαση σε καθαρό και άφθονο στο νερό, αριθμός ο οποίος είναι τριπλάσιος από τον αντίστοιχο της προηγούμενης δεκαετίας.

Το 1995, ο IsmailSerageldin, πρώην πρόεδρος της Παγκόσμιας Τράπεζας, προειδοποιούσε: *"Από το Ισραήλ έως την Ινδία και διαμέσου της Τουρκίας, υπάρχουν πολυάριθμες εκρηκτικές καταστάσεις που θα μπορούσαν σύντομα να οδηγήσουν σε ένοπλες*

διαμάχες. Εάν θεωρηθεί ότι κάθε πόλεμος του 20ού αιώνα έγινε για την πρόσβαση στο πετρέλαιο, αυτοί που θα γίνουν τον 21ο θα έχουν γίνει για την πρόσβαση στο νερό".[11]

10.1 Η ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΧΡΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Ακρωνύμια και όροι

Acronym	Explanation
CCS / CCU	Carbon Capture and Storage or Carbon Capture and Utilisation
EJ, exajoules	Exajoules, equal to 1×10^9 gigajoules
GL, ML, L	Gigalitre, Megalitre, Litre, used for volumes of water
GW, MW	Gigawatt, Megawatt
H ₂	Hydrogen
kWh	Kilowatt-hour
LHV	Lowerheatingvalue
Mtpa	Milliontonnes per annum

Το υδρογόνο με σχεδόν μηδενικές ή μηδενικές εκπομπές άνθρακα έχει τη δυνατότητα να συμβάλει σημαντικά στη συνολική μείωση των εκπομπών στους τομείς της παραγωγής ενέργειας, των μεταφορών και της βιομηχανίας παγκοσμίως. Όσο ταχύτητα εξερευνάται και αναπτύσσεται το μπλε και το πράσινο υδρογόνο, και η βιομηχανία υδρογόνου που αρχίζει να αντικαθιστά πιο παραδοσιακές πηγές ενέργειας, η χρήση του νερού, η ζήτηση και η διαχείριση θα γίνονται όλο και πιο σημαντικά ζητήματα. Οι υποστηρικτές της παραγωγής υδρογόνου και η βιομηχανία νερού θα πρέπει να γίνει υιοθέτηση μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης και να γίνει προσεκτική εξέταση της επίδρασης που έχει κάθε διαφορετικό χρώμα στον τρόπο που παράγεται το υδρογόνο εντός του νερού. Κρίσιμο για να επιτύχει η ενεργειακή μετάβαση, οι υποστηρικτές πρέπει να προβούν σε προσδιορισμός μιας βιώσιμης προσέγγισης για την παροχή και την επεξεργασία νερού και να εξετάσουν πώς να μειώσουν τη συνολική ζήτηση νερού για να αποφευχθεί η επιδείνωση των ζητημάτων ασφάλειας του

νερού και οι αρνητικές επιπτώσεις σε κοινότητες και βιομηχανίες που ήδη αντιμετωπίζουν υδατικό στρες.

Έχουν διερευνηθεί αρκετές επιλογές για τους τρόπους παραγωγής υδρογόνου από νερό. Παραδείγματος χάριν, οι απαιτήσεις σε νερό για την παραγωγή υδρογόνου μπορούν να μειωθούν σημαντικά εάν χρησιμοποιηθεί σύστημα ψύξης αέρα ή ψύκτη για την κάλυψη των περισσότερων αναγκών ψύξης. Σε ορισμένες περιπτώσεις (δηλαδή, όπου είναι διαθέσιμο ακατέργαστο νερό υψηλής ποιότητας), αυτό θα οδηγήσει σε ένα έργο πράσινου υδρογόνου με κατανάλωση νερού <math><18\text{L}</math> ακατέργαστου νερού/kgH₂. Ωστόσο, εάν μπορεί να υπάρξει απόδειξη ότι παρέχεται επαρκής ποσότητα νερού με βιώσιμο τρόπο, οι υποστηρικτές μπορούν να επιλέξουν να μειώσουν τον χώρο δαπέδου και την κατανάλωση ενέργειας χρησιμοποιώντας ψύξη με εξάτμιση, η οποία έχει ως αποτέλεσμα απαιτήσεις σε νερό στην περιοχή από 60-95 L/kgH₂. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τον τρόπο που απαιτείται το ακατέργαστο νερό περιλαμβάνουν τη μορφή παραγωγής υδρογόνου (π.χ. το μπλε υδρογόνο συνήθως χρησιμοποιεί λιγότερο νερό από το πράσινο υδρογόνο) και την ποιότητα του ακατέργαστου νερού (υψηλότερης συγκέντρωσης αλατότητας και άλλων ρευμάτων από απόβλητα, τα οποία θα είναι δυνατόν να φέρουν ως αποτέλεσμα το να μειώνεται σημαντικά η πρόσληψη ακατέργαστου νερού, ενώ ταυτοχρόνως αντιμετωπίζεται μία πιθανή περιβαλλοντική πρόκληση στον τρόπο που διαχειρίζονται τα βιομηχανικά λύματα.

Χρήση νερού για παραγωγή υδρογόνου το πλαίσιο

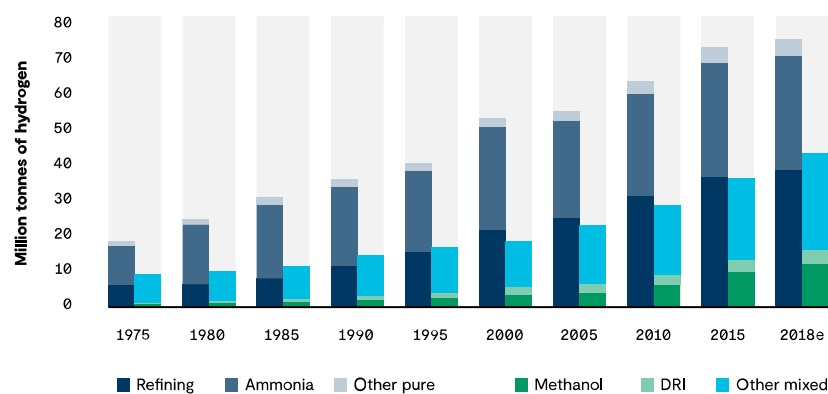
Το να αναπτυχθεί μια βιώσιμη βιομηχανία για την παραγωγή υδρογόνου είναι βασικό στοιχείο της ενεργειακής μετάβασης που απαιτείται για να μειωθεί ή να απαλλαχθεί από τον άνθρακα της οικονομίας και την προστασία του πλανήτη. Το νερό, η διαχείριση και η χρήση του είναι ζωτικής σημασίας για να κατανοηθούν οι επιπτώσεις που έχει η κλιματική αλλαγή εντός των κοινοτήτων και του περιβάλλοντος, καθώς και για το πώς οι οικονομίες και τα συστήματά μας λειτουργούν για τη διατήρηση του ανθρώπινου πολιτισμού. Οι συνδέσεις μεταξύ των συστημάτων νερού, τροφίμων και ενέργειας και η ισορροπία μεταξύ τους πρέπει να γίνονται κατανοητές και να διαχειρίζονται με βιώσιμο τρόπο.

Εντός αυτού του πλαισίου, η παγκόσμια οικονομία μπορεί να προβεί πλέον στην αναγνώριση της κατανόησης και της βελτιστοποίησης για τον τρόπο που αλληλεπιδρά η οικονομία του υδρογόνου και τα συστήματα του νερού που θεωρείται ότι έχουν κρίσιμη σημασία για τον τρόπο προώθησης του κοινού βιώσιμου μέλλοντος του κόσμου. Ο κόσμος

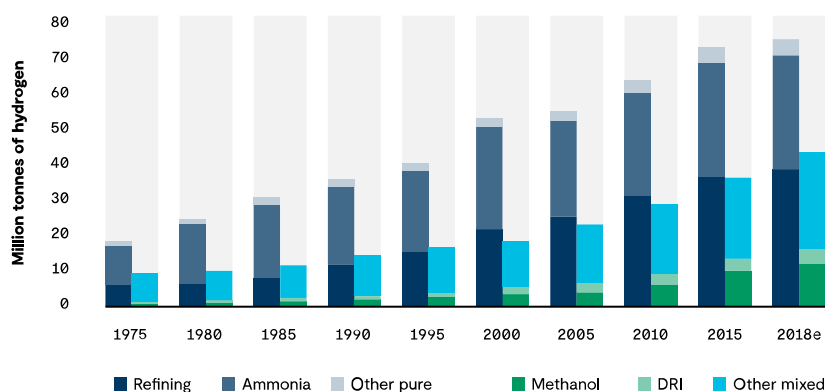
έχει ήδη αίσθηση των επιπτώσεων που έχουν οι προκλήσεις που αφορούν στην ασφάλεια που αφορά στα ύδατα όπως αυτά προκύπτουν λόγω της κλιματικής αλλαγής και της αυξανόμενης ζήτησης για γλυκό νερό για να υποστηρίξεται ο αυξανόμενος πληθυσμός και είναι επιτακτικές οι ανάγκες σε νερό για να αναπτυχθεί το υδρογόνο ώστε να υπάρχει κάλυψη χωρίς να υπάρξει επιδείνωση αυτών των προκλήσεων. Μάλλον μέσα από το πρώιμο στάδιο της αξιολόγησης, η ανάλυση για τα τεχνικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά θέματα θα οδηγήσει σε μεγιστοποίηση της ευκαιρίας για να δημιουργηθεί κοινοτικό όφελος, ενώ παράλληλα θα υπάρξει διευκόλυνση της βεβαιότητας και της σκοπιμότητας για να αξιολογηθούν τα έργα, οι εγκρίσεις και η εφαρμογή που είναι τόσο απαραίτητες για να επιταχυνθεί η μετάβαση αρκετά σύντομα για την αποφυγή μιας κλιματικής καταστροφής.

Στήσιμοτουσκηνικού

Το αέριο υδρογόνο («υδρογόνο») είναι ένας ευέλικτος φορέας ενέργειας και πρώτη ύλη. Επί του παρόντος, υπάρχει παραγωγή περίπου 120 Μtpa (14,4 exajoules) υδρογόνου ανά τον πλανήτη που όμως γίνεται χρήση του πιο μεγάλου ποσοστού του υδρογόνου εντός της δύλισης (39 Μtpa) και της παραγωγής αμμωνίας (33 Μtpa).



ΕΙΚΟΝΑ 22. Παγκόσμια ζήτηση υδρογόνου από το 1975 έως το 2018



ΕΙΚΟΝΑ 23. Το υδρογόνο ταξινομείται ανάλογα με το χρώμα, ανάλογα με την οδό παραγωγής του.

Περίπου το 98% της τρέχουσας παραγωγής υδρογόνου προέρχεται από την αναμόρφωση μεθανίου ή την αεριοποίηση άνθρακα ή παρόμοιων πρώτων υλών ορυκτών καυσίμων. Η χρήση υδρογόνου αναμένεται να υπάρξει σημαντική αύξηση εντός των επόμενων χρόνων, καθώς το υδρογόνο αρχίζει να προβαίνει σε εκτοπισμό άλλων πηγών ενέργειας, όπως υγρών καυσίμων για οχήματα και φυσικού αερίου για ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης, και η αναμονή των πηγών υδρογόνου επίσης προβλέπεται να έχουν αλλαγή, σε αυτά συμπεριλαμβάνονται μεγάλες ποσότητες από ανανεώσιμο υδρογόνο ή «πράσινο» υδρογόνο (υδρογόνο που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέσω ηλεκτρόλυσης νερού) και «μπλε υδρογόνο», δηλαδή υδρογόνο που παράγεται μέσω δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα ή αναμόρφωσης φυσικού αερίου με χρήση άνθρακα (CCS/CCU).

Η χρωματική ταξινόμηση του υδρογόνου φαίνεται στο Σχήμα 2, με περιγραφή της αντίστοιχης διαδικασίας παραγωγής υδρογόνου για αναφορά.

Βραχυπρόθεσμα, το «μπλε υδρογόνο» αναμένεται να διαδραματίσει μεγαλύτερο ρόλο καθώς η τεχνολογία ηλεκτρολυτών εξελίσσεται ώστε να γίνεται φθηνότερη, πιο αποτελεσματική και δυνητικά πιο επεκτάσιμη. Αυτές οι δύο πηγές υδρογόνου, συν η αεριοποίηση βιομάζας, είναι πιθανόν να τις θεωρήσει κάποιος πηγές συμβατές με βιώσιμες, ασφαλούς για το κλίμα χρήση ενέργειας, όπου μόνο το «πράσινο» είτε το ανανεώσιμο H₂ να έχει απαλλαχθεί πλήρως από εκπομπές. Ο υπολογισμός για το κατά πόσο θα ζητείται υδρογόνο το 2050 είναι περίπου 70+ exajoules, τα 2/3 από τα οποία θα έχουν προέρθει από πράσινο υδρογόνο.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει ότι το υδρογόνο που παράγεται από ηλεκτρόλυση νερού περιμένει κανείς ότι είναι ακόμα πιο ακριβό από το να παράγεται υδρογόνο αναμορφώνοντάς το από το φυσικό αέριο για το άμεσο μέλλον, αλλά μόλις συμπεριληφθεί η

δέσμευση άνθρακα, το ανώτατο όριο για την αναμόρφωση φυσικού αερίου (παραγωγή μπλε υδρογόνου) σχεδόν διπλασιάζεται..

ΠΙΝΑΚΑΣ 24. Παράμετροι παραγωγής H₂ μέσω διαφορετικών μονοπατιών.

Technology	Parameter	Units	Today	2030	LongTerm
Water electrolysis (green H ₂)	CAPEX	USD/kWe	900	700	450
	CAPEX ⁵	USD/kWH ₂	1,350	1,050	675
	Efficiency (LHV)	%	64	69	74
	Annual OPEX	% of CAPEX	1.5	1.5	1.5
	Stack lifetime (operating hours)	hours	95,000	95,000	100,000+
Natural gas reforming (grey H ₂)	CAPEX	USD/kWH ₂	910	910	910
	Efficiency (LHV)	%	76	76	76
	Annual OPEX	% of CAPEX	4.7	4.7	4.7
	Emissions factor	kg CO ₂ /kg H ₂	8.9	8.9	8.9
	Natural gas reforming with CCS (blue H ₂)	CAPEX	USD/kWH ₂	1,680	1,360
Efficiency (LHV)		%	69	69	69
Annual OPEX		% of CAPEX	3	3	3
CO ₂ capture rate		%	90	90	90
Emissions factor		kg CO ₂ /kg H ₂	1	1	1
Coal gasification (black H ₂)	CAPEX	USD/kWH ₂	2,670	2,670	2,670
	Efficiency (LHV)	%	60	60	60

Technology	Parameter	Units	Today	2030	LongTerm
	Annual OPEX	% of CAPEX	5	5	5
	Emissionsfactor	kg CO ₂ /kg H ₂	20.2	20.2	20.2
Coal gasification with CCS (can also be classified as blue H ₂)	CAPEX	USD/kW _{H2}	2,780	2,780	2,780
	Efficiency (LHV)	%	58	58	58
	Annual OPEX	% of CAPEX	5	5	5
	Emissionsfactor	kg CO ₂ /kg H ₂	20.2	20.2	20.2
Coal gasification with CCS (can also be classified as blue H ₂)	CAPEX	USD/kW _{H2}	2,780	2,780	2,780
	Efficiency (LHV)	%	58	58	58
	Annual OPEX	% of CAPEX	5	5	5
	CO ₂ capture rate	%	90	90	90
	Emissionsfactor	kg CO ₂ /kg H ₂	2.1	2.1	2.1

Είναι επομένως σαφές ότι η «πράσινη» ή ανανεώσιμη παραγωγή υδρογόνου αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα 30 χρόνια. Η παραγωγή υδρογόνου, ειδικά το να παραχθεί πράσινο υδρογόνο, απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού και είναι σημαντικό να κατανοήσουμε αυτήν την πτυχή της παραγωγής υδρογόνου και πώς να προβούμε σε μείωση πριν αυξηθούν σημαντικά οι δυνατότητες να παραχθεί το υδρογόνο.

Από την άλλη πλευρά, σχετικά με τον τρόπο που παράγεται το απιονισμένο νερό, η απαίτηση του οποίου για την χρήση του πράσινου υδρογόνου είναι να χρησιμοποιούνται λύματα ή άλμη η παραγωγή της οποίας γίνεται πιθανότατα αφαιρώνοντας πηγές νερού που πιθανών να υπάρχει απαίτησή τους και η διαδικασία για την αφαιμάτωση που είναι αναγκαία για την επίτευξη της κατάλληλης ποιότητας νερού που απαιτείται για να ηλεκτρολυθεί. Αυτή η ροή μπορεί να έχει αντίκτυπο στο περιβάλλον και θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με τρόπο

που να μην προβαίνει σε επηρεασμό των πλωτών οδών. Αυτό γίνεται ακόμη πιο σημαντικό καθώς η ικανότητα να παραχθεί πράσινο υδρογόνο οδηγεί σε αύξηση και άμεση εξάρτηση σε μεγάλο βαθμό από την τοποθεσία. Ως εκ τούτου, αυτή η μελέτη διεξήχθη για την κατανόηση της κατανάλωσης νερού που σχετίζεται με διάφορες οδούς παραγωγής υδρογόνου, εστιάζοντας στην παραγωγή πράσινου ή υδρογόνου.

Κατανάλωση νερού για παραγωγή υδρογόνου

Το νερό είναι μια από τις βασικές εισροές για τις πράσινες εγκαταστάσεις υδρογόνου. Μια ολιστική προσέγγιση για την επιλογή τεχνολογιών νερού μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στο συνολικό υδατικό ισοζύγιο και τη βιωσιμότητα ενός τέτοιου έργου. Ενώ το νερό και η επεξεργασία του νερού γενικά δεν είναι δαπανηρή, το να βρεθούν βιώσιμες πηγές νερού και να μειώνεται η κατανάλωση νερού για να παράγεται υδρογόνο θα βοηθήσει το να παράγεται υδρογόνο μέσω ανανεώσιμων πηγών για την απόκτηση κοινωνικής άδειας λειτουργίας. Με δεδομένο το γεγονός ότι στις πιο ξηρές περιοχές του κόσμου υπάρχει συχνά πρόσβαση εντός των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδιαίτερα στην ηλιακή ενέργεια, δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στη μείωση της κατανάλωσης νερού και στη βιώσιμη διαχείριση του νερού ως βασικά στοιχεία των έργων βιώσιμου υδρογόνου.

Για άλλες τεχνολογίες αναμόρφωσης, όπως η μερική οξείδωση ή η αυτοθερμική αναμόρφωση, η αρχική ζήτηση νερού μπορεί να είναι χαμηλότερη, αλλά λόγω των απαιτήσεων ατμού αερίου νερού μετά τη μεταρρύθμιση για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής φυσικού αερίου υδρογόνου, η συνολική ζήτηση νερού θα είναι πολύ παρόμοια και μπορεί να είναι ελαφρώς υψηλότερη σε αναμόρφωση ατμού.

Για να παραχθεί «μπλε» υδρογόνο, η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακος κατά τη διαδικασία που αναμορφώνεται πρέπει να προβεί σε απομόνωση. Η κάθε απαίτηση για να δεσμευτεί ο άνθρακας και να συμπιεστούν οι ατμοί και η ψύξη πρόκειται να προβούν σε περαιτέρω αύξηση των συνολικών απαιτήσεων σε νερό για να παραχθεί υδρογόνο από την αναμόρφωση φυσικού αερίου σε περίπου 18-44 L_{H₂O}/kg_{H₂}.

Επομένως, οι σημερινές δημοφιλείς τυπικές διαδικασίες παραγωγής υδρογόνου απαιτούν όλες μεγάλες ποσότητες νερού για την παραγωγή ενός κιλού υδρογόνου και κάνουν

υπέρβαση κατά πολύ των συχνών αναφερόμενων στοιχειομετρικών απαιτήσεων για να ηλεκτρολυθεί το πράσινο υδρογόνο μόνο από νερό.

Δεδομένου ότι η ύπαρξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι συχνώς διαθέσιμων στα ξηρότερα μέρη του κόσμου, ιδίως η ηλιακή ενέργεια, αυτό δίνει ακόμη μεγαλύτερη έμφαση στη μείωση της κατανάλωσης νερού και στη βιώσιμη διαχείριση του νερού ως βασικό στοιχείο ενός έργου βιώσιμου υδρογόνου.

Για την παραγωγή υδρογόνου από αεριοποίηση άνθρακα και βιομάζας (καφέ και μαύρο), το να καταναλώνεται το νερό είναι δυνατή περίπου 70 L ανά kgH₂, η παραγωγή της οποίας γίνεται στην περίπτωση τροφοδοσίας άνθρακος και ελαφρά πιο χαμηλή στα 60 L ανά kgH₂ για να τροφοδοτηθεί η βιομάζα στο να αεριοποιείται, κατά κύριο λόγο επειδή είναι υψηλότερη μέση περιεκτικότητα σε υγρασία της πρώτης ύλης βιομάζας.

Για την αναμόρφωση του βιοαερίου (το οποίο θα μπορούσε επίσης να θεωρηθεί πράσινο υδρογόνο), η στοιχειομετρική κατανάλωση νερού θα ήταν πολύ παρόμοια με εκείνη του υδρογόνου που παράγεται από αναμόρφωση φυσικού αερίου (4,5 LH₂O/kgH₂), αλλά η συνολική ζήτηση θα ήταν ελαφρώς υψηλότερη σε περίπου 20-45 LH₂O ανά kgH₂ που παράγεται λόγω αυξημένων απαιτήσεων θέρμανσης και ψύξης για την απομάκρυνση του CO₂ από το βιοαέριο πριν από την αναμόρφωση.

Επομένως, οι τυπικές διαδικασίες παραγωγής υδρογόνου που επικρατούν σήμερα απαιτούν όλες μια σημαντική ποσότητα νερού για να παραχθεί ένα κιλό υδρογόνου και πολύ μεγαλύτερη ποσότητα από τις συχνά αναφερόμενες στοιχειομετρικές ανάγκες για ηλεκτρόλυση πράσινου υδρογόνου μόνο από νερό.

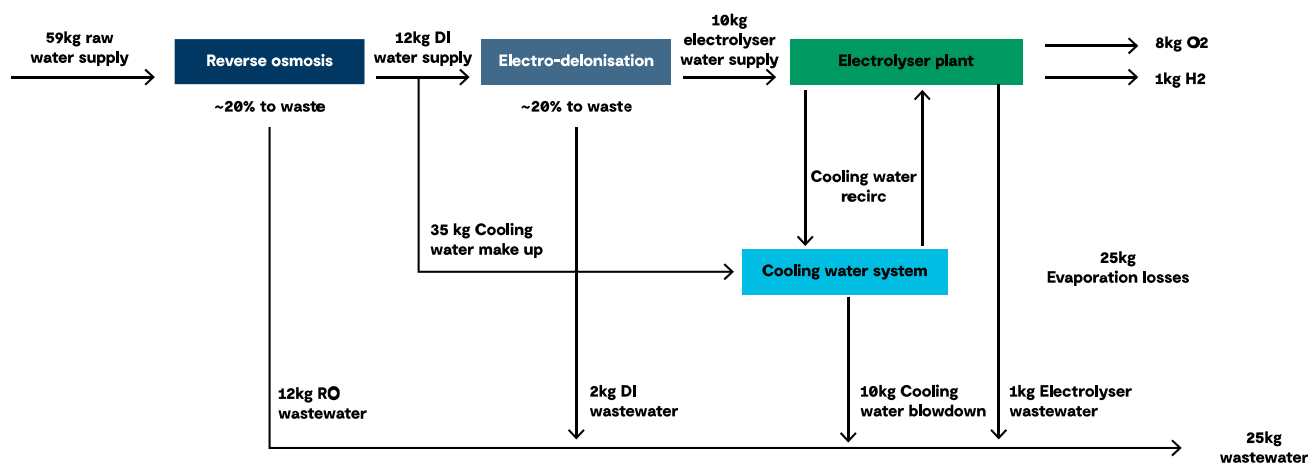
Το πράσινο υδρογόνο παράγεται λαμβάνοντας ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, νερό υψηλής καθαρότητας και μετατροπής εντός υδρογόνου και αερίου οξυγόνου μέσα ηλεκτρόλυσης. Το νερό που απαιτείται για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου είναι στοιχειομετρικά 9LH₂O για κάθεkgH₂ παραγωγής. Αυτό είναι πιο υψηλό από ό,τι για να αναμορφώνεται το φυσικό αέριο, όπου υπάρχει ήδη κάποια μορφή υδρογόνου εντός της πρώτης ύλης (κυρίως CH₄). Επιπλέον, οι παράγοντες που παρέχεται και διατίθεται το νερόπου συνήθως γίνεται παράλειψή τους περιλαμβάνουν:

- Σημαντικό ψυκτικό φορτίο για συσκευές ηλεκτρόλυσης – η απαίτηση του οποίου έχει επιπλέον 30 έως 40 kg νερού για κάθεkg υδρογόνου για να αναπληρώνονται τα συστήματα ψύξης όταν εξατμίζονται. Όσο ο χρόνος περνάει, υπάρχει μείωση της απόδοσης στοίβας που έχει ο ηλεκτρολύτης και λόγω των περισσότερων απωλειών απόδοσης έχουν αναφορά λόγω

της πρόσθετης θέρμανσης της στοίβας. με αποτέλεσμα το ψυκτικό φορτίο να έχει αύξηση σημαντικά κατά τη διάρκεια ζωής της στοίβας (συνήθως 8 έως 10 χρόνια χρόνου λειτουργίας). Η ανάγκη ψύχεται ο ηλεκτρολύτης είναι δυνατόν τυπικώς να προβεί σε αύξηση κατά 40 έως 70% από την αρχή της ζωής έως το τέλος της διάρκειας ζωής της στοίβας.

- Άλλα φορτία ψύξης – όπως οι συμπιεστές πολλαπλών σταδίων με ενδοψύξη για τη συμπίεση του παραγόμενου υδρογόνου σε κατάλληλη πίεση για αποθήκευση ή χρήση.
- Τροφοδοσία ακατέργαστου νερού που απαιτεί επεξεργασία για να καλύψει τις απαιτήσεις υψηλής καθαρότητας ηλεκτρόλυσης – με περίπου 20-40% του νερού να αποστέλλεται στα απόβλητα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επεξεργασίας, ανάλογα με την ποιότητα του εισαγόμενου ακατέργαστου νερού.
- Απόρριψη νερού – λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης ακαθαρσιών τροφοδοσίας στα ρεύματα αποβλήτων, αυτό το νερό σιχνά δεν μπορεί να απορριφθεί στο περιβάλλον και απαιτεί σύνδεση με εγκατάσταση επεξεργασίας αποβλήτων ή επιτόπια επεξεργασία ή διάθεση.

Αυτά τα πρόσθετα φορτία μπορούν να οδηγήσουν σε έως και 60 έως 95 kg H₂O που απαιτούνται ανά kg πράσινου H₂ που παράγεται.



ΕΙΚΟΝΑ 25. Ανάλυση ζήτησης νερού παραγωγής πράσινου υδρογόνου, ~60 LH₂O ανά kg H₂

Μία τυπική ζήτηση για να παράγεται πράσινο υδρογόνο για να ψύχεται πλήρως εντός εξάτμισης και προϋποτίθεται ότι εισάγεται ακατέργαστο νερό που έχουν καλή ποιότητα.

Όλοι οι αριθμοί που αναφέρονται παραπάνω για τη ζήτηση ακατέργαστου νερού υποθέτουν ότι η εισαγωγή ακατέργαστου νερού στην τοποθεσία είναι γλυκό νερό που έχει σχετικά καλή ποιότητα.

Σε περίπτωση που το νερό είναι υφάλμυρο, θαλασσινού νερού ή βιομηχανικών λυμάτων, ο όγκος του ακατέργαστου νερού θα προβεί σε δραματική αύξηση και το ίδιο θα υπάρξει αύξηση και των λυμάτων/άλμης η παραγωγή της γίνεται από το νερό που επεξεργάζεται στην τοποθεσία.

Οι απαιτήσεις του νερού αναφέρονται περιληπτικά για τις κάθε διάφορες οδούς για να παράγεται υδρογόνο φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα

ΠΙΝΑΚΑΣ 26. Παραγωγή Υδρογόνου - Λογιστική Ζήτησης Νερού για Ψύξη με Εξάτμιση

H ₂ production pathway	Stoichiometric demand (L/kg H ₂)	Total demand (L/kg H ₂), assuming good quality raw water import and evaporative cooling
Natural Gas reforming (grey H ₂)	4.5	*15-40
Natural Gas reforming with carbon capture (blue H ₂)	4.5	*18-44
Biogas reforming (can be classified as green H ₂)	4.5	*20-45
Coal gasification (black H ₂)	Dependent on C:H ratio in coal and coal moisture content	70
Biomass gasification (can be classified as green H ₂)	Dependent on C:H ratio in biomass and biomass moisture content	60
Water electrolysis (green H ₂)	9	60-95
<p>Note that evaporative cooling requires less capital and energy but significantly increases the water requirement. For example, an air cooled green hydrogen system should use less than 18 L/kg H₂ depending on the raw water quality. * Includes some air cooling</p>		

Η αντικατάσταση του μπλε υδρογόνου με πράσινο υδρογόνο θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση της κατανάλωσης νερού κατά περίπου 35% έως 100% ανά κιλό παραγόμενου υδρογόνου. Η ζήτηση υδρογόνου αναμένεται να αυξηθεί σημαντικός κατά 70 exajoules ετήσια μέχρι το 2050 και να καταναλώνεται το νερό για να παράγεται υδρογόνο μέσα από την ηλεκτρόλυση νερού είναι πιθανό να είναι περίπου 35.000 έως 55.000 GL ετησίως.

Παρόλο που το ποσό αυτό είναι σχετικά μικρό συγκρίνοντας το με τους άλλους χρήστες, όπως η παγκόσμια γεωργία 2.800.000 GL/έτος, οι βιομηχανικοί χρήστες 800.000 GL/έτος και οι δημοτικοί χρήστες 470.000 GL/έτος, μεγάλο μέρος του αντιπροσωπεύει νέα πρόσθετη ζήτηση και επομένως θα αυξηθεί. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, πολλά εξαρτήματα του κόσμου αντιμετωπίζουν άγχος για την ασφάλεια του νερού. Επομένως, η μείωση της ζήτησης νερού για πράσινο ή ανανεώσιμο υδρογόνο θα ήταν ευεργετική.

Για να θέσουμε σε προοπτική την κατανάλωση νερού, όταν το πράσινο υδρογόνο έχει παραγωγή από μιας μονάδας ηλεκτρολύτης 10 MW, παράγονται χονδρικά 4 tpd υδρογόνου, απαιτώντας περίπου 0,24+ ML/ημέρα (240+ m³/ημέρα) ακατέργαστου νερού. Για μια εγκατάσταση πράσινου υδρογόνου 1 GW, αυτό θα αυξηθεί σε 24 + ML/ημέρα (24.000+ m³/ημέρα), παράγοντας 400 tpd πράσινου υδρογόνου.

Φορείς υδρογόνου

Εκτός από την παραγωγή του υδρογόνου, να παράγεται τυπικά το υδρογόνο μετατρέποντας τον φορέα επιλογής, όπως αμμωνίας, υγροποιημένου υδρογόνου ή υγρού οργανικού φορέος υδρογόνου. Όλοι αυτοί οι φορείς απαιτούν το βήμα που μετατρέπεται χρησιμοποιώντας σχετικής ζήτησης ατμού, νερό τροφοδοσίας λέβητα και/ή νερού ψύξης.

Αν και αυτή η ύπαρξη μεμονωμένων απαιτήσεων σε νερά δεν θα πρέπει να είναι οι κύριοι παράγοντες για να επιλεγεί ο φορέας, είναι σημαντικό να γίνει συμπερίληψη του μέρους από το συνολικό ισοζύγιο για το νερό όπως αυτό γίνεται συσχέτιση με τα φυτά. Για παράδειγμα, για την παραγωγή αμμωνίας, συμπεριλαμβανομένης της μονάδας σύνθεσης αμμωνίας και της μονάδας διαχωρισμού αέρα για την παραγωγή αζώτου ως πρώτης ύλης στη μονάδα σύνθεσης αμμωνίας, το ψυκτικό φορτίο υπερδιπλασιάζεται σε σύγκριση με την παραγωγή μόνο αέριου συμπιεσμένου υδρογόνου.

Όταν υιοθετείται η αμμωνία σαν φορέας εισαγάγετε ένα παραπάνω στρώμα για να αλληλοεπιδρά και να πολυπλοκότητα που θα είναι αναγκαίο για να κατανοηθεί και να αξιολογηθούν πλήρως οι ανάγκες του νερού από ένα ολοκληρωμένο έργο για το υδρογόνο όσον αφορά το νερό.

Μείωση της ζήτησης νερού για ενεργοποίηση του πράσινου υδρογόνου

Για να μειωθεί η ζήτηση νερού για ανανεώσιμο υδρογόνο, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στη μείωση της ζήτησης αναπλήρωσης νερού ψύξης, καθώς αυτή η παράμετρος κυριαρχεί στη συνολική ζήτηση νερού. Απαιτείται συμπλήρωση νερού ψύξης λόγω απωλειών ψύξης λόγω

εξάτμισης από τον πύργο ψύξης (που αντιπροσωπεύει το 75% των απωλειών από το σύστημα νερού ψύξης) και εκτόνωσης (που αντιστοιχεί στο 15% των απωλειών), με πρόσθετες μικρές άλλες απώλειες.

Αερόψυξη και εναλλακτικές λύσεις

Για να μειωθεί η ζήτηση για αναπλήρωση νερού ψύξης, μπορεί να ληφθεί υπόψη η ψύξη με αέρα, ωστόσο η εφαρμογή της εξαρτάται από την τοποθεσία και τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες. Η ψύξη με αέρα είναι γενικά πιο ακριβή από την ψύξη με εξάτμιση και έχει μεγαλύτερο αποτύπωμα και υψηλότερες απαιτήσεις ισχύος. Ωστόσο, ενώ το κόστος κεφαλαίου και οι απαιτήσεις ισχύος για συστήματα ψύξης αυξάνονται, αυτά τα συστήματα συμβάλλουν ελάχιστα στο συνολικό κόστος της εγκατάστασης και στις απαιτήσεις ισχύος ενός έργου, με τους ηλεκτρολύτες να κυριαρχούν στο κόστος κεφαλαίου και στις απαιτήσεις ισχύος. Η ψύξη του αέρα περιορίζεται στους 40 ή 50°C ανάλογα με τις συνθήκες της τοποθεσίας, επομένως δεν μπορεί να αντικαταστήσει όλη την ψύξη με υγρό αέρα, αλλά έως και 50% έως 60% του συνολικού φορτίου ψύξης μπορεί να καλυφθεί με την αντικατάσταση μονάδων ανανεώσιμων πηγών υδρογόνου. Αυτό μπορεί να μειώσει τη συνολική ζήτηση νερού κατά 30 έως 40 τοις εκατό σε ορισμένες περιοχές.

Ανάπτυξη Τεχνολογίας

Η ψυκτική ισχύς των ηλεκτρολύσεων είναι πολύ υψηλή. Εάν παράγεται συμπιεσμένο αέριο υδρογόνο (αντί για φορέας υδρογόνου), η λειτουργία ψύξης που σχετίζεται με τις συσκευές ηλεκτρόλυσης μπορεί να αντιπροσωπεύει το 80 έως 90% του συνολικού καθήκοντος ψύξης που σχετίζεται με την εγκατάσταση. Καθώς υπάρχει ανάπτυξη της τεχνολογίας ηλεκτρόλυσης παραπάνω γίνεται και αύξηση των αποδόσεων, της απαίτησης ψύξης για τους ηλεκτρολύτες για να μειωθούν και επομένως να μειωθεί συνολικά η ζήτηση νερού για την ψύξη επίσης. Εάν αυξηθεί ο τρόπος π αποδίδει η στοίβα κατά 15%, να ζητηθεί η ψύξη θα προβεί σε αναλογική μείωση.

Μια άλλη επιλογή είναι να υπάρξει μείωση της διάρκειας ζωής της στοίβας για τον κάθε ηλεκτρολύτη, έτσι ώστε να ζητηθεί η ψύξη για τη στοίβα μην φτάνοντας το μέγιστο στην απαίτησή της (ζήτηση στο τέλος ζωής). Παρόλα αυτά, συγκρίνοντας το κόστος του νερού, το κόστος αντικατάστασης στοίβας και ο χρόνος εκτός σύνδεσης για να αντικατασταθεί η στοίβα είναι επί του παρόντος πολύ υψηλός για να υπάρξει δικαιολόγηση της προηγούμενης αντικατάστασης στοίβας. Το πιθανότερο μέλλον εδώ θα ήταν οι προγραμματιστές τεχνολογίας να βρουν μέσα που θα οδηγήσουν σε παράταση της διάρκειας ζωής της στοίβας

χωρίς να υποβαθμιστεί σημαντικά και να μειωθεί η απόδοση από την αρχή της ζωής έως το τέλος της ζωής.

Βιώσιμες πηγές νερού

Ανεξαρτήτως από το πόσο θα μπορούσε να υπάρξει μείωση της κατανάλωσης νερού από ανανεώσιμων μονάδων υδρογόνου, να βρίσκονται βιώσιμες πηγές νερού για να παράγεται υδρογόνο είναι σημαντική. Η ύπαρξη τριών πιο κοινών επιλογών για να αξιοποιηθεί το γλυκό νερό, να αξιοποιηθούν τα λύματα βιομηχανικών πηγών και να αξιοποιείται η αφαλάτωση στο θαλασσίνο νερό. Το γλυκό νερό που χρησιμοποιείται έχει πιθανά το πιο χαμηλό κόστος για να επεξεργαστεί, αλλά συνήθως δεν είναι αυτή η προτίμηση, καθώς αυτό έχει εκτροπή του νερού από κάθε άλλο οικονομικό και κοινωνικό χρήστη για να παραχθεί υδρογόνο.

Τα κέντρα υδρογόνου βρίσκονται συχνά εντός άλλων βιομηχανικών δραστηριοτήτων ή οικισμών, επομένως η δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων λυμάτων είναι κοντά σε εγκαταστάσεις για να παραχθεί το υδρογόνο. Παρότι το να επεξεργάζονται τα οικιακά και βιομηχανικά λύματα είναι δαπανηρό εντός της απαιτούμενης ποιότητας (ειδικότερα το απιονισμένο νερό για ηλεκτρόλυση), δεν έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη διαφορά κεφαλαίου για τη μονάδα. Επιπλέον, αυτές οι πηγές νερού μπορεί να είναι πιο κοντά στη μονάδα από άλλες πηγές γλυκού νερού, μειώνοντας το κόστος αγωγών και μεταφοράς. Το κόστος παροχής νερού είναι επίσης σχετικά χαμηλό. Ή το έργο θα μπορούσε να πληρώσει για να πάρει νερό από άλλη βιομηχανική τοποθεσία και να το επεξεργαστεί.

Για κάθε μεγάλη εγκατάσταση, η αφαλάτωση μπορεί να είναι η μόνη πραγματικά βιώσιμη πηγή νερού. Η χρήση θαλασσινού νερού αυξάνει την πρόσληψη ακατέργαστου νερού κατά 2,5 έως 5 φορές σε σύγκριση με το γλυκό νερό, ανάλογα με τα ποσοστά ανάκτησης, αλλά το θαλασσίνο νερό είναι ένας τεράστιος πόρος και το κόστος κεφαλαίου και η κατανάλωση ενέργειας της αφαλάτωσης είναι μικρό σε σύγκριση με τον ηλεκτρολύτη. Ωστόσο, η αφαλάτωση εισάγει μια σειρά πρόσθετων περιβαλλοντικών θεμάτων και θεμάτων έγκρισης, συμπεριλαμβανομένων θεμάτων κοινωνικής αδειοδότησης και χρονοδιαγράμματα σχεδιασμού και έγκρισης που σχετίζονται με την οικολογική αξιολόγηση πιθανών τοποθεσιών.

Στον Πίνακα 3, η εισαγωγή γλυκού ακατέργαστου νερού σχετικά καλής ποιότητας (καλύτερη περίπτωση) συγκρίνεται με την εισαγωγή θαλασσινού νερού και αφαλάτωσης (χειρότερη περίπτωση). Η χρήση βιομηχανικών λυμάτων αναμένεται να κυμαίνεται μεταξύ του καλύτερου και του χειρότερου σεναρίου, ανάλογα με την ποιότητα των λυμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 27. Παραγωγή Υδρογόνου - Απαίτηση Ακατέργαστου Νερού ανάλογα με την ποιότητα του Ακατέργαστου Νερού και την υπόθεση της Ψύξης με Εξάτμιση

H₂ production pathway	Total demand (L/kg H₂), assuming good quality raw water import and evaporative cooling	Total demand (L/kg H₂), assuming seawater as raw water import and evaporative cooling
Natural Gas reforming (grey H ₂)	15-40	38-100, and upto 200
Natural Gas reforming with carbon capture (blue H ₂)	18-44	45-110, an upto 220
Biogas reforming (can be classified as green H ₂)	20-45	50-113, and upto 225
Coalgasification (black H ₂)	70	175-350
Biomass gasification (can be classified as green H ₂)	60	150-300
Water electrolysis (green H ₂)	60-95	150-238. and upto 475

Με το θαλασσινό νερό ή το υφάλμυρο νερό ως εισαγωγή ακατέργαστου νερού, η ροή λυμάτων/άλμης γίνεται επίσης πιο έντονη και πρέπει να γίνεται προσεκτικά από την άποψη της διαχείρισης και της διάθεσης ως μέρος του σχεδιασμού του έργου παραγωγής υδρογόνου και των απαιτήσεων και του προγράμματος εγκρίσεων.

Μία από τις προκλήσεις της αφαλάτωσης είναι ότι συχνά πρέπει να κατασκευαστούν μονάδες κοντά στην ακτή για τη χρήση θαλασσινού νερού. Ωστόσο, αυτό θα ήταν βολικό δεδομένου ότι τα προϊόντα υδρογόνου μπορούν να εξάγονται μετά τη μαζική παραγωγή.

Μια άλλη πρόκληση στην αφαλάτωση είναι η διάθεση του νερού άλμης, η οποία μπορεί να έχει τοπικές επιπτώσεις στα θαλάσσια οικοσυστήματα και θα πρέπει να αντιμετωπιστεί προσεκτικά, ειδικά για εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας (GW). Η άλμη μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία για τη μείωση των περιβαλλοντικών της επιπτώσεων. Η διαχείριση της άλμης που παράγεται από μονάδες αφαλάτωσης είναι τόσο τεχνοοικονομική όσο και περιβαλλοντική πρόκληση. Η κάθε διεργασία για την θερμή άλμη (όπως οι κρυσταλλοποιητές εξατμιστήρα) είναι αρκετά ενεργοβόρος, απαιτώντας σχετικώς

κεφαλαιουχικών δαπανών εν συγκρίσει με της αντίστροφης ώσμωσης και θέτουν πολλών λειτουργικών προκλήσεων.

Η βελτιστοποίηση των απαιτήσεων νερού απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση

Οι ευκαιρίες για να βελτιστοποιηθούν οι συνολικές απαιτήσεις νερού στη τοποθεσία ενός έργου, και κατά συνέπεια της αποτελεσματικής διαχείρισης και μείωσης στους κινδύνους που έχουν συσχέτιση της βιώσιμης ασφάλειας στο νερό και των κοινωνικών και περιβαλλοντικών ανησυχιών μπορούν να προβούν σε εντοπισμό με μιας έγκαιρης, ολοκληρωμένης προσέγγισης για να παραχθεί/διατεθεί το νερό, να ζητηθεί η ενέργεια και οι τεχνολογίες ψύξης, την τοποθεσία του έργου και εξέταση της τεχνολογίας φορέα.

Η σωστή επιλογή τεχνολογιών (επεξεργασία νερού, συστήματα ψύξης, απόρριψη νερού), σε αυτό συμπεριλαμβάνεται η σωστή αξιολόγηση για τις υβριδικές λύσεις, θα έχει συχνή ποικιλία αναλόγως του έργου, αλλά όλα θα είναι αναγκαίο να προβούν σε αντιμετώπιση τελικώς για την επιτυχία του τα έργα.

Μπορούμε επομένως να περιμένουμε ότι καθώς η βιομηχανία πράσινων υδρογόνου θα καρποφορήσει ως μέρος της ενεργειακής μας μετάβασης, το νερό για το υδρογόνο είναι και θα γίνει όλο και πιο σημαντικό μέρος της βιομηχανίας νερού σε όλο τον κόσμο.[9]

11. ΠΟΙΕΣ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΟΥ ΓΙΝΕΤΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΜΕΝΟ ΝΕΡΟ ΤΑ ΕΠΟΜΕΝΑ 10-20 ΧΡΟΝΙΑ;

«Ο κόσμος παράγει λιγότερο αφαλατωμένο νερό από ό,τι άλμη», δήλωσε στο Γαλλικό Πρακτορείο Τύπου ο ερευνητής Μανζούρ Καντίρ. «Σχεδόν όλη η άλμη επιστρέφει στο περιβάλλον, κυρίως στον ωκεανό», πρόσθεσε.

Αυτό το επιπλέον αλάτι αυξάνει τη θερμοκρασία των παράκτιων υδάτων και μειώνει τα επίπεδα οξυγόνου, δημιουργώντας ενδεχομένως μια "νεκρή ζώνη" στη θάλασσα. Οι υδρόβιοι οργανισμοί χρειάζονται οξυγόνο για να επιβιώσουν, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη λειτουργία τους σε αυτές τις συνθήκες, δήλωσε ο Kadir.

Περισσότερο από το 50% της άλμης προέρχεται μόνο από τέσσερις χώρες της Μέσης Ανατολής, τη Σαουδική Αραβία (22%), τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (20,2%), το Κουβέιτ (6%) και το Κατάρ (5,8%).

Τα μικρά νησιωτικά κράτη στη Βόρεια Αφρική, τη Μέση Ανατολή και τον Ειρηνικό βασίζονται στην αφαλάτωση για τη παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού, αντιπροσωπεύοντας

σχεδόν τα δύο τρίτα της κατανάλωσης. Το υπόλοιπο νερό χρησιμοποιείται για βιομηχανικούς σκοπούς, νερό ψύξης για την παραγωγή ενέργειας και για γεωργική χρήση.

Σύμφωνα με τον ΟΗΓΕ, περίπου ένας στους τέσσερις ανθρώπους ζει σε περιοχές όπου οι υδάτινοι πόροι είναι ανεπαρκείς για μέρος του έτους και περίπου 500 εκατομμύρια αντιμετωπίζουν έλλειψη νερού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η λειψυδρία επιδεινώνεται από τον υπερπληθυσμό, τη ρύπανση και η κλιματική αλλαγή. Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή του ΠΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή, για κάθε αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας 1°C περίπου το 7% του παγκόσμιου πληθυσμού θα έχει 20% λιγότερη πρόσβαση σε γλυκό νερό.

Το 1990, υπήρχαν ήδη 3.000 μονάδες αφαλάτωσης σε λειτουργία παγκοσμίως. Με τις τρέχουσες τάσεις, ο αριθμός αυτός θα φτάσει τις 17.500 μονάδες μέχρι το 2025, σύμφωνα με τον Καντίρ. [9]

12. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ (Περίπτωση του Κατάρ)

Η κρίση του γλυκού νερού είναι μία από τις προκλήσεις που περιορίζουν την παγκόσμια αειφόρο ανάπτυξη και αποδίδεται κυρίως στην ταχεία πληθυσμιακή και οικονομική ανάπτυξη καθώς και στην έλλειψη σωστής ανάπτυξης στον τομέα της διαχείρισης των υδάτων. Η αφαλάτωση, μια μη συμβατική πηγή πόσιμου νερού, έχει γίνει μια εφικτή λύση στο πρόβλημα της έλλειψης νερού για μία πλειάδα παγκόσμιων κοινοτήτων, με την διασφάλιση του μέλλοντος της ανθρωπότητας. Είναι η μόνη βιώσιμη πηγή νερού στις χώρες του Συμβουλίου Συνεργασίας του Κόλπου (GCC) όπου το νερό είναι ένα σπάνιο αγαθό. Το Κατάρ ως χώρα του GCC, έχει στην διάθεσή του μια εκ των μεγαλύτερων δυνατοτήτων για να αφαλατώνει νερό παγκόσμια. Σχεδόν το 99% από το δημοτικό πόσιμο νερό στο Κατάρ έχει την προέλευσή του εκ του αφαλατωμένου νερού.

Στο κράτος του Κατάρ, οι βροχοπτώσεις (80 mm κατά μέσο όρο ετησίως) και τα υπόγεια ύδατα είναι οι μόνοι πόροι γλυκού νερού στο Κατάρ, και τα υπόγεια ύδατα αντλούνται εκτενώς σε γεωργικές δραστηριότητες. Οι ετήσιοι κατά κεφαλήν ανανεώσιμοι υδάτινοι πόροι (βροχόπτωση και υπόγεια ύδατα) στο Κατάρ είναι 71 m³, ενώ τα 1000 m³/yca θεωρούνται ως η ελάχιστη απαιτούμενη διατήρηση ζωής .

Τα θαλασσινά νερά είναι δυνατόν να προβούνσε αφαλάτωση με χρήση είτε των θερμικών διαδικασιών είτε με χρήση διαδικασιών με μεμβράνη. Στο Κατάρ, γίνεται χρήση συνήθως τριών διαδικασιών αφαλάτωσης: (α) ταχεία απόσταξη πολλαπλών σταδίων (MSF), (β) απόσταξη πολλαπλών αποτελεσμάτων (MED) και (γ) αντίστροφη ώσμωση (RO). Ανάμεσα σε αυτές τις τρεις τεχνολογίες, η ταχεία απόσταξη πολλαπλών σταδίων (MSF), έχει ευρεία χρήση, με την παροχή του 75% από το συνολικό αφαλατωμένο νερό στο Κατάρ. Παρόλα αυτά, παγκόσμια, η αντίστροφη ώσμωση (RO θεωρείται ως η κορυφαία τεχνολογία αφού έχει χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και κόστος για να παραχθεί, αλλά αυτή η τεχνολογία δεν είναι δυνατόν ακόμα να υπάρξει απόδειξη ότι είναι η πιο κατάλληλη από τη μέθοδο ταχείας απόσταξης πολλαπλών σταδίων (MSF) για το Κατάρ. Οι λόγοι για αυτό είναι κυρίως η αξιοπιστία των μονάδων MSF, η ικανότητα επεξεργασίας του θαλασσινού νερού με: υψηλής αλατότητας, χαμηλής ποιότητας, υψηλής θολότητας και υψηλής θερμοκρασίας, ελάχιστης προ και μεταγενέστερης επεξεργασίας για την παλίρροια εν συγκρίσει με την αντίστροφη ώσμωση (RO), και έλλειψης επαρκούς εμπειρίας εν σχέση με άλλες τεχνολογίες. Σύν τοις άλλοις, η εγκατάσταση και η συντήρηση μονάδων MSF είναι λιγότερο περίπλοκη από άλλες τεχνολογίες. Όλες αυτές οι ειδικές συνθήκες τοποθεσίας κάνουν επικύρωση της μελλοντικής χρήσης της τεχνολογίας των MSF μακροπρόθεσμος με παραπάνω επέκταση εντός του κράτους του Κατάρ.

Αξιολόγηση κύκλου ζωής στην αφαλάτωση.

Εντός των τελευταίων δύο δεκαετιών, υπάρχει πληθώρα αρκετών μελετών που έχουν προβεί σε αξιολόγηση διαφορετικών πτυχών για την αφαλάτωση και ορισμένες είχαν επικεντρωθεί εντός των επιπτώσεων που έχει η αφαλάτωση επί του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης ζωής. Πραγματοποιήθηκαν τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές έρευνες για την αξιολόγηση των επιπτώσεων διαφορετικών τύπων αφαλάτωσης. Στις ποιοτικές μελέτες αξιολόγησης, συζητήθηκαν και εξηγήθηκαν οι επιπτώσεις από τις ατμοσφαιρικές εκπομπές, η απόρριψη θερμαινόμενων λυμάτων και χημικών στο θαλάσσιο περιβάλλον, οι επιπτώσεις του θορύβου, οι επιπτώσεις στη χρήση γης και οι επιπτώσεις στους υδροφόρους ορίζοντες χωρίς να ληφθεί υπόψη η αξιολόγηση του κύκλου ζωής (LCA).

Τρεις διαφορετικές τεχνικές αφαλάτωσης, σε συνδυασμό με διαφορετικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας, αξιολογήθηκαν μέσω της LCA για την αποσαφήνιση των περιβαλλοντικών φορτίων και συμπέραναν ότι, στην περίπτωση των αερομεταφερόμενων εκπομπών, η αφαλάτωση με RO με διαφορετικά ενεργειακά συστήματα έχει μικρότερο αντίκτυπο από τους MSF και το MED Τα πλεονεκτήματα του Ένας συνδυασμένος κύκλος

σε μια υβριδική μονάδα με ολοκληρωμένη παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω της συμβατικής διαδικασίας παρουσιάστηκε σε αυτό το έγγραφο. Στη συνέχεια αξιολογήθηκαν τρία εμπορικά συστήματα παραγωγής νερού (MSF, MED και RO) χρησιμοποιώντας LCA στο πρώτο μέρος και, στο δεύτερο μέρος, συνέκριναν το σύστημα μεταφοράς νερού στον ποταμό Ebro με τη λιγότερη ενεργειακά - εντατική διαδικασία αφαλάτωσης, RO. Στο πρώτο μέρος, οι φάσεις συναρμολόγησης και λειτουργικής κύκλου ζωής συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη, ενώ οι επιπτώσεις των χημικών ουσιών και της απόρριψης άλμης δεν λήφθηκαν επίσης υπόψη σε αυτήν τη μελέτη και τα δεδομένα για το φυσικό αέριο και την ηλεκτρική ενέργεια βασίστηκαν στην ευρωπαϊκή βάση δεδομένων «BUWAL 250». [10]

Σε παρόμοιο συμπέρασμα με την προηγούμενη μελέτη, οι συγγραφείς διαπιστώθηκε ότι η φάση λειτουργίας των τριών διαφορετικών τεχνολογιών είχε υψηλότερο αντίκτυπο από όλες τις άλλες φάσεις του κύκλου ζωής και ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος του συστήματος RO ήταν ο χαμηλότερος (λόγω της υψηλότερης ενεργειακής του απόδοσης). Ωστόσο, το δεύτερο μέρος αυτής της έρευνας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν παρόμοια περιβαλλοντικά φορτία και για τις δύο εναλλακτικές λύσεις (μεταφορά νερού και RO). Επιπλέον, σε μια ξεχωριστή μελέτη διεξήχθησαν πιο λεπτομερείς αναλύσεις για αφαλάτωση ενσωματωμένη με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και έδειξαν ότι, υπό ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική, η ηλιακή και η υδροηλεκτρική ενέργεια μπορούν να προσφέρουν σημαντικά οφέλη και να μειώσουν σημαντικά το CO₂ εκπομπές. [10]

Η LCA διεξήχθη χρησιμοποιώντας το εργαλείο LCAqua 2.0 και υιοθετώντας την προσέγγιση εκτίμησης επιπτώσεων Eco-Indicator 95. Η εφαρμογή του RO σε δύο εναλλακτικά συστήματα οδήγησε σε υψηλότερα οικοσημεία από το υπάρχον σύστημα, υποδεικνύοντας ότι δημιουργούνται περισσότερες επιπτώσεις από το RO.

Η προσέγγιση μέσω της LCA που ακολουθήθηκε σε αυτή τη μελέτη για να εξεταστεί η περιβαλλοντική επιβάρυνση που σχετίζεται με MSF. Αυτή η προσέγγιση παρέχει την ευκαιρία να εντοπιστούν οι επιπτώσεις κάθε συγκεκριμένου σταδίου της διαδικασίας αφαλάτωσης, συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής πρόσληψης, της χρήσης χημικών και της ίδιας της διαδικασίας απόσταξης.

Η λειτουργική μονάδα για αυτήν την αξιολόγηση ήταν 1 m³ πόσιμου νερού υψηλής ποιότητας σε κάθε μονάδα, έτσι ώστε τα σενάρια να είναι συγκρίσιμα, ενώ το επιλεγμένο πεδίο εφαρμογής ήταν η προσέγγιση από πύλη προς πύλη. Η χημική παραγωγή και η παραγωγή ενέργειας για τις φάσεις αφαλάτωσης και λειτουργίας συμπεριλήφθηκαν στα όρια του συστήματος κάθε μονάδας αφαλάτωσης. Το πεδίο εφαρμογής του συστήματος δεν περιλαμβάνει τις φάσεις κατασκευής και αποσυναρμολόγησης, καθώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των φάσεων είναι αμελητέες σε σύγκριση με αυτές των φάσεων παραγωγής και λειτουργίας σύμφωνα με ορισμένες βιβλιογραφίες. Επίσης, αποκλείστηκε η παροχή νερού από μονάδες αφαλάτωσης. Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού τροφοδοσίας ήταν 35 °C για κάθε φυτό. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του χώρου, ορισμένες αρχικές παραδοχές και περιορισμοί ήταν οι εξής:

- Η ποιότητα του τελικού επεξεργασμένου αποστάγματος είναι συμβατή με τις απαιτήσεις της Αρχής Υδάτων του Κατάρ.
- Το στάδιο διάθεσης άλμης δεν λήφθηκε υπόψη εδώ για τους ακόλουθους λόγους:
 - 1) η πλειονότητα των μελετών LCA για τις μονάδες MFS δεν έχει συμπεριλάβει τη διάθεση άλμης, καθώς οι επί του παρόντος διαθέσιμες μέθοδοι LCIA δεν μπορούν να μεταφράσουν τη συγκέντρωση των ιόντων άλατος που υπάρχουν στην άλμη σε σχετικό οικολογικό περιβάλλον -τοξική επίδραση. Ως εκ τούτου, αυτές οι μελέτες υπέθεσαν ότι η απορριπτόμενη άλμη είχε μικρό αντίκτυπο καθώς αραιώθηκε πλήρως πριν από την απόρριψη σε υδάτινα σώματα
 - 2) σε δημοσιευμένες βιβλιογραφίες, η σύνθεση άλμης των μονάδων MFS δεν έχει αναφερθεί πλήρως σε σύγκριση με την άλμη από RO ενώ απαιτεί εκτεταμένο σύνολο δεδομένων για την αξιολόγηση της άλμης.

Οι χημικές ουσίες πριν και μετά την επεξεργασία εισήχθησαν από την Ευρώπη, με μέση απόσταση μεταφοράς ωκεανών 5000 km.

Απογραφή κύκλου ζωής

Η φάση ανάλυσης απογραφής κύκλου ζωής (LCI) στοχεύει στη συγκέντρωση όλων των δεδομένων εισόδου και εξόδου που σχετίζονται με το τιτλοποιημένο σύστημα (για τις τρεις διαδικασίες των FMS). Μεταξύ των τριών διαφορετικών μεθόδων LCI, το process-LCI καλύπτει τις συγκεκριμένες λεπτομέρειες των ροών ενέργειας και υλικών που εισέρχονται

και εξέρχονται από το σύστημα και είναι ο κύριος μοχλός αυτής της μελέτης. Για τη μοντελοποίηση του συστήματος, τα πρωτογενή δεδομένα LCI και για τις τρεις μονάδες δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό VDS και μια τοπική βάση δεδομένων GaBi (ειδικά για την εισαγωγή ενεργειακών δεδομένων για το Κατάρ).

Η κατανάλωση χημικών για προ και μετά την επεξεργασία και τα ποσοστά δοσολογίας έχουν επικυρωθεί και είναι συγκρίσιμες με τις πραγματικές μονάδες αφαλάτωσης του Κατάρ.

Η προαναφερθείσα μελέτη εξέτασε μια μονάδα MFS που τροφοδοτείται από ατμό που παράγεται απευθείας από λέβητα ορυκτών καυσίμων και αυτό έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη κατανάλωση θερμικής ενέργειας (333 MJ/m³ για τις MFS). Οι εμπορικές μονάδες αφαλάτωσης στο Κατάρ λειτουργούν πάντα σε λειτουργία συμπαραγωγής χρησιμοποιώντας ατμό χαμηλής πίεσης από το GTCC και αυτό έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη ισοδύναμη κατανάλωση καυσίμου. Οι αναλύσεις των εγκαταστάσεων 1, 2 και 3 αποκάλυψαν εκπομπές CO₂ που ήταν 46,2%, 52,6% και 68,7% χαμηλότερες από την αναφερόμενη τιμή στη βιβλιογραφία (23,41 kg CO₂/m³), αντίστοιχα. Τα αποτελέσματά μας διαφέρουν επίσης λόγω του μίγματος δικτύου στο Κατάρ που βασίζεται 100% στο φυσικό αέριο, ενώ το ευρωπαϊκό μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που χρησιμοποιείται σε παρόμοια μελέτη, αποτελείται από άνθρακα (43%), πυρηνική ενέργεια (40%) και υδροηλεκτρική ενέργεια (17%). Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η ποιότητα του θαλάσσιου νερού και το εύρος των μελετών δεν ήταν πανομοιότυπα για δύο περιπτώσεις. Παρά τις σχετικά χαμηλότερες τιμές, το Κατάρ παράγει τεράστια ποσότητα αφαλατωμένου νερού ετησίως. Σύμφωνα με τις τελευταίες διαθέσιμες πληροφορίες, η συνολική παραγωγή αφαλατωμένου νερού ήταν 493,20 εκατομμύρια m³ το έτος 2014 [4]. Σύμφωνα με το μερίδιο τεχνολογίας, το 75% του αφαλατωμένου νερού ή περίπου 370 εκατομμύρια m³ νερού παράγεται με την τεχνολογία των μονάδων MFS. Ως εκ τούτου, η ετήσια παραγωγή νερού μέσω των μονάδων MFS απελευθερώνει περίπου 4,66 εκατομμύρια τόνους CO₂ που έχουν τόσο βραχυπρόθεσμες όσο και μακροπρόθεσμες δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Η τροποποίηση των υφιστάμενων μονάδων MFS σύμφωνα με τις προδιαγραφές της μονάδας 3 έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις εκπομπές CO₂ σε 2,7 εκατομμύρια τόνους ετησίως.

Στη μελέτη LCA που αναφερθήκαμε, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συμβατικών μονάδων MFS που λειτουργούν στη βιομηχανία αφαλάτωσης του Κατάρ εξετάστηκαν και συγκρίθηκαν με μια προηγμένη διαμόρφωση των MFS χρησιμοποιώντας το λογισμικό LCA,

GaBi, της Thinkstep. Αν και αυτή η μελέτη είχε ορισμένους περιορισμούς και υποθέσεις, τα αποτελέσματα είναι σημαντικά για την υδάτινη αρχή του Κατάρ, καθώς από όσο γνωρίζουμε, αυτή η μελέτη είναι η πρώτη προσπάθεια ποσοτικοποίησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που σχετίζονται με το σύστημα παραγωγής νερού μέσω της LCA. Καθώς η διαδικασία των MFS παράγει το μεγαλύτερο μέρος του πόσιμου νερού στο Κατάρ, αυτή η μελέτη έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει ως βάση για τη χάραξη πολιτικής στον τομέα του νερού. Επίσης, τα ποσοτικά αποτελέσματα είναι εξαιρετικά σημαντικά για την αύξηση της ευαισθητοποίησης των πολιτών στο Κατάρ για τη μείωση της καθημερινής κακής χρήσης νερού.

1. Η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για την διαδικασία που έχει η αφαλάτωση με στόχο της συνολικής μεγαλύτερης συμβολής εντός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Για να αναλυθούν οι επιπτώσεις εντός του υψηλότερου ποσοστού για την επίπτωση σε κάθε κατηγορία ανθρώπινης τοξικότητας που ακολουθείται από τις κατηγορίες για την κλιματική αλλαγή, εξάντληση στα απολιθώματα, θαλάσσιο ευτροφισμό και καταστροφή του όζοντος που προέρχεται από την χρήση θερμικής ενέργειας στη διαδικασία αφαλάτωσης.

2. Υπάρχει μεγάλη δυνατότητα να μειωθούν οι επιπτώσεις που έχει η αφαλάτωση των MFS με αύξηση της GOR μέσα από προηγμένη προεπεξεργασία στο τροφοδοτικό νερό με χρήση NF.

3. Ο ενεργειακός περιορισμός αναγκάζει πολλές χώρες παγκοσμίως να ξεκινήσουν μία εκτεταμένη έρευνα και να εφαρμόσουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον τομέα του νερού. Παρόλο που οι χώρες του Κόλπου είναι πλούσιες ενεργειακών, έχουν υιοθετήσει και οι ίδιες πολλές από αυτές τις τάσεις. Παραδείγματος χάριν, μια μελέτη στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα έκανε μία επιτυχή έρευνα επί του σχεδιασμού και της σκοπιμότητας για την χρήση σε παραβολικούς συλλέκτες και ηλιακές λίμνες για να καλυφθεί πλήρως η ενεργειακή απαίτηση αφαλάτωσης των MFS. Στο σύντομο μέλλον, το Κατάρ είναι απαραίτητο να προβεί σε εξέταση του ενδεχόμενου να χρησιμοποιηθούν οι διαθέσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για αφαλάτωση. Οπότε, αναλύοντας αυτό το σενάριο έχει παροχή των προκαταρκτικών αποτελεσμάτων για την αξιολόγηση των υπεύθυνων να χαράξουν πολιτική με υπόδειξη των πιθανών ποσών για να μειωθεί το CO₂. Ως εκ τούτου, αυτή η μελέτη ανοίγει περισσότερες πόρτες για μελλοντική έρευνα σχετικά με την αποτελεσματικότερη εφαρμογή της ηλιακής θερμικής ενέργειας σε συνδυασμό με την αφαλάτωση των MFS. Αυτή η μελλοντική ερευνητική περιοχή μπορεί να αποκαλύψει πιο βιώσιμες λύσεις για την επίτευξη της ασφάλειας του νερού στο Κατάρ με ελάχιστες επιπτώσεις στο περιβάλλον. **[10]**

13. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ και ΛΥΜΑΤΑ

Η κρίσιμη παράμετρος της προμήθειας νερού στις εργασίες παραγωγής ενέργειας υδρογόνου

Το καθαρό, καθαρό νερό είναι ζωτικής σημασίας για την παραγωγή ενέργειας/καυσίμου υδρογόνου. Περίπου 5 μετρικοί τόνοι (1321 γαλόνια ΗΠΑ) νερού την ημέρα χρειάζονται για κάθε μεγαβάτ ισχύος που παράγεται από μια μονάδα ηλεκτρόλυσης.

Η απόκτηση αυτής της ποσότητας νερού δεν είναι τόσο εύκολη όσο το άνοιγμα της βρύσης, παρόλο που σε πολλές βιομηχανικές χώρες μπορεί να φαίνεται έτσι.

Δεν θα υποθέσουμε ότι το γλυκό νερό θα είναι πάντα διαθέσιμο για σκοπούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, το κόστος και η πολυπλοκότητα της παροχής καθαρού, αφαλατωμένου νερού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του νερού της πηγής είτε προέρχεται από θαλασσινό νερό, είτε από τριτογενή λύματα, επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα.

Η υποδομές επεξεργασίας νερού μπορεί να είναι το 11% ή περισσότερο του κόστους μιας εγκατάστασης παραγωγής υδρογόνου και σε συνδυασμό με ζητήματα λειψυδρίας που μπορεί να περιορίσουν τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων θα μείωνε την οικονομική σκοπιμότητα αυτής της εγκατάστασης.

Επομένως, μια λεπτομερής ανάλυση διασφαλίζει ότι θα επιλέξετε τη σωστή πηγή νερού για τις μοναδικές απαιτήσεις της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας υδρογόνου.

Η επίλυση των προκλήσεων για την απόκτηση καθαρού, καθαρού νερού είναι απαραίτητη για την πράσινη παραγωγή υδρογόνου και εταιρείες όπως η Genesis Water Technologies είναι εξειδικευμένες στο να σας βοηθήσουν με αυτές τις προκλήσεις επεξεργασίας νερού πηγής για να επιτρέψουν την ομαλή λειτουργία παραγωγής υδρογόνου.

Οι προκλήσεις του νερού σε σχέση με τη παραγωγή της πράσινης ενέργειας υδρογόνου

Για παράδειγμα, μια μονάδα ηλεκτρόλυσης πράσινου υδρογόνου με χωρητικότητα 100 MW απαιτεί τυπικά περίπου (132.000 USgal) 500 τόνους καθαρού νερού την ημέρα και παράγει περίπου 50 τόνους υδρογόνου την ημέρα. Εάν το σύστημα χρησιμοποιεί υδρόψυξη, το νερό που χρειάζεται θα είναι διπλάσιο από αυτήν την ποσότητα. [12]

Επομένως, μια μεγάλη εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας υδρογόνου, με χωρητικότητα περίπου 30.000 MW ισχύος, θα απαιτήσει αναμενόμενους (39,6 MGD ΗΠΑ) 150.000 τόνους την ημέρα καθαρού, καθαρού νερού. Αυτές είναι συνήθως οι απαιτήσεις παροχής νερού μιας πόλης με πληθυσμό μεταξύ 450.000 και 950.000 ανθρώπων.

Λόγω του τεράστιου όγκου του νερού που απαιτείται, το θαλασσινό νερό, τα βαθιά υφάλμυρα πηγάδια ή ακόμη και τα λύματα τριτοβάθμιας επεξεργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή του απαραίτητου όγκου νερού.

Για αυτές τις πηγές νερού που αναφέρονται παραπάνω, μπορούν να απαιτηθούν ειδικές τεχνολογίες επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένης της φυσικής κροκίδωσης, της αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση, της διήθησης μετά την επεξεργασία και της απολύμανσης με βάση τον τύπο των μονάδων ηλεκτρόλυσης που θα χρησιμοποιηθούν.

Οι κρίσιμες αποφάσεις για το νερό που πρέπει να παρθούν στην παραγωγή πράσινης ενέργειας υδρογόνου

Η διαθεσιμότητα νερού είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για οποιαδήποτε εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας υδρογόνου, ωστόσο, υπάρχουν πολλές άλλες παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να αξιολογηθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα νωρίς στη διαδικασία σχεδιασμού της πηγής νερού και της απαιτούμενης επεξεργασίας της για τις μονάδες ηλεκτρόλυσης.

Πρόσθετα στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη, θα μπορούσαν ενδεχομένως να περιλαμβάνουν ενσωμάτωση θερμότητας, πλεονασμό, ροές αιχμής ζήτησης και αποθήκευση υδρογόνου, καθώς και αποθήκευση οξυγόνου υποπροϊόντων.

Τέλος, κατά τον σχεδιασμό της εγκατάστασης, οι περιβαλλοντικές εκτιμήσεις, συμπεριλαμβανομένων των τοπικών καιρικών συνθηκών στο πιθανό εργοστάσιο, θα μπορούσαν να παίξουν ρόλο. Αυτό θα περιλαμβάνει εποχιακές αλλαγές θερμοκρασίας του νερού, την αλατότητα του νερού και άλλες πιθανές επιπτώσεις που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες στη διαδικασία επεξεργασίας.

Λύσεις καθαρού νερού για βιώσιμη παραγωγή υδρογόνου

Αναμένεται ότι η χρήση μιας διαδικασίας αφαλάτωσης με προ και μετά επεξεργασία θα προσέθετε μόνο λιγότερο από το 0,2% της ελάχιστης ενέργειας που απαιτείται για την

παραγωγή του υδρογόνου με ηλεκτρόλυση και το ενεργειακό κόστος θα προσθέσει περίπου 0,011 \$ στην τιμή του υδρογόνου ανά kg.

Κατά συνέπεια, αυτοί οι αριθμοί υποδηλώνουν ότι μια σωστά επεξεργασμένη παροχή νερού δεν θα είναι ο περιορισμός για την παραγωγή υδρογόνου με τη χρήση μονάδων ηλεκτρόλυσης. Θα προσβλέπουμε σε εταιρίες στη βιομηχανία για να παρέχουμε τις συνεχείς τεχνολογικές βελτιώσεις για την ενεργειακή απόδοση των μονάδων ηλεκτρόλυσης που παράγουν υδρογόνο για να κλιμακώσουμε περαιτέρω την παραγωγή για να διακυβεύσουμε την αξίωση να καλύψει τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες.

Η Genesis Water Technologies βρίσκεται στην πρώτη γραμμή της καινοτομίας, συνεργαζόμενη με τοπικούς καταρτισμένους και έμπειρους εργολάβους, εταιρίες συμβούλων πολιτικού μηχανικού και τοπικούς συνεργάτες και θυγατρικές του καναλιού για να καλύψει τις ανάγκες εταιριών και κοινοτήτων στις ΗΠΑ και σε όλο τον κόσμο για την παροχή βιώσιμου και προηγμένου καθαρού νερού λύσεις για την πράσινη παραγωγή ενέργειας από υδρογόνο.

Πράσινο υδρογόνο από τα λύματα - Μια βιώσιμη επιλογή;

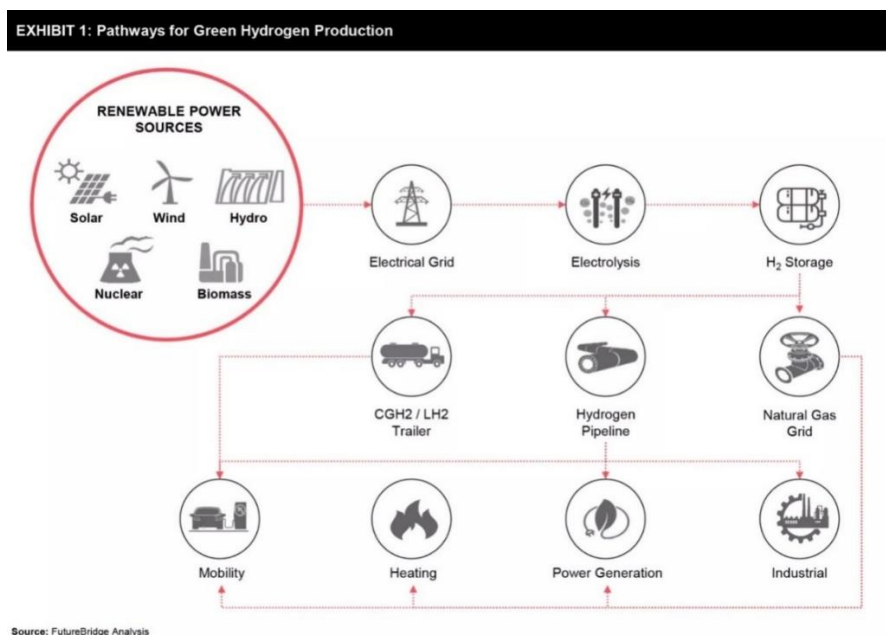
Οι παγκόσμιοι κλιματικοί κίνδυνοι και τα ζητήματα ενεργειακής ασφάλειας ανάγκασαν τις χώρες να αυξήσουν γρήγορα την υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό τους μείγμα και να μειώσουν την υπερβολική εξάρτηση από τις εισαγωγές καυσίμων. Για παράδειγμα, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκπονήσει το σχέδιο REPowerEU για διαφοροποίηση των ενεργειακών της αποθεμάτων ενισχύοντας την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και υδρογόνου για να αντικαταστήσει το φυσικό αέριο, τον άνθρακα και το πετρέλαιο. Είναι επίσης ως απάντηση στην αντιμετώπιση της αβεβαιότητας στις τιμές της ενέργειας λόγω της συνεχιζόμενης σύγκρουσης Ρωσίας-Ουκρανίας. Η REPowerEU έχει θέσει στόχο να παράγει 10 εκατομμύρια τόνους εγχώριου πράσινου υδρογόνου και να εισάγει 10 εκατομμύρια τόνους πράσινου υδρογόνου έως το 2030 από διάφορες πηγές.

Το πράσινο υδρογόνο που παράγεται με τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (κυρίως ηλιακή και αιολική ενέργεια). Βοηθά στον μετριασμό των διαλείψεων των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ενεργεί ως μέσα αποθήκευσης ενέργειας για την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, πολλές χώρες όπως η Κίνα, η Ιαπωνία, η Ινδία, οι ΗΠΑ και άλλες έχουν πλαισιώσει πολιτικές και κεφαλαιοποιούν την αυξανόμενη ζήτηση για πράσινο υδρογόνο.[12]

Πράσινο υδρογόνο - εναλλακτική λύση στα συμβατικά καύσιμα;

Η αγορά πράσινου υδρογόνου ήταν περίπου 755 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2020 και αναμένεται να φτάσει τα 1,4 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2026 με CAGR 13,8% κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Οι εξελίξεις σε αυτήν την αγορά είναι συνεχώς αυξανόμενες, με τη δυνατότητα παγκόσμιων τεχνολογικών διαταραχών να απελευθερώσουν τομείς όπως η ενέργεια, η βιομηχανία, οι μεταφορές, η κατασκευή χάλυβα, τα χημικά κ.λπ. Η τρέχουσα τιμή του πράσινου υδρογόνου είναι μεταξύ 3 \$/kg στις ΗΠΑ 10 \$/κιλό, που είναι πιθανό να πέσει κάτω από τα 2 \$/κιλό έως το 2030. Έτσι, έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσει τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα και να συμβάλει στους στόχους καθαρών μηδενικών εκπομπών.

Διαδρομές για το πράσινο υδρογόνο. Το πράσινο υδρογόνο παράγεται κυρίως χρησιμοποιώντας ηλεκτρολύτες που χρησιμοποιούν ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια ως πηγή ενέργειας από τις εγκαταστάσεις ηλιακής, αιολικής, υδροηλεκτρικής, πυρηνικής και βιομάζας για να διασπάσουν τα μόρια του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο. Και τα δύο προϊόντα έχουν εφαρμογές σε διάφορες βιομηχανικές διεργασίες. [12]



ΕΙΚΟΝΑ 28. Μονοπάτια παραγωγής πράσινου H₂.

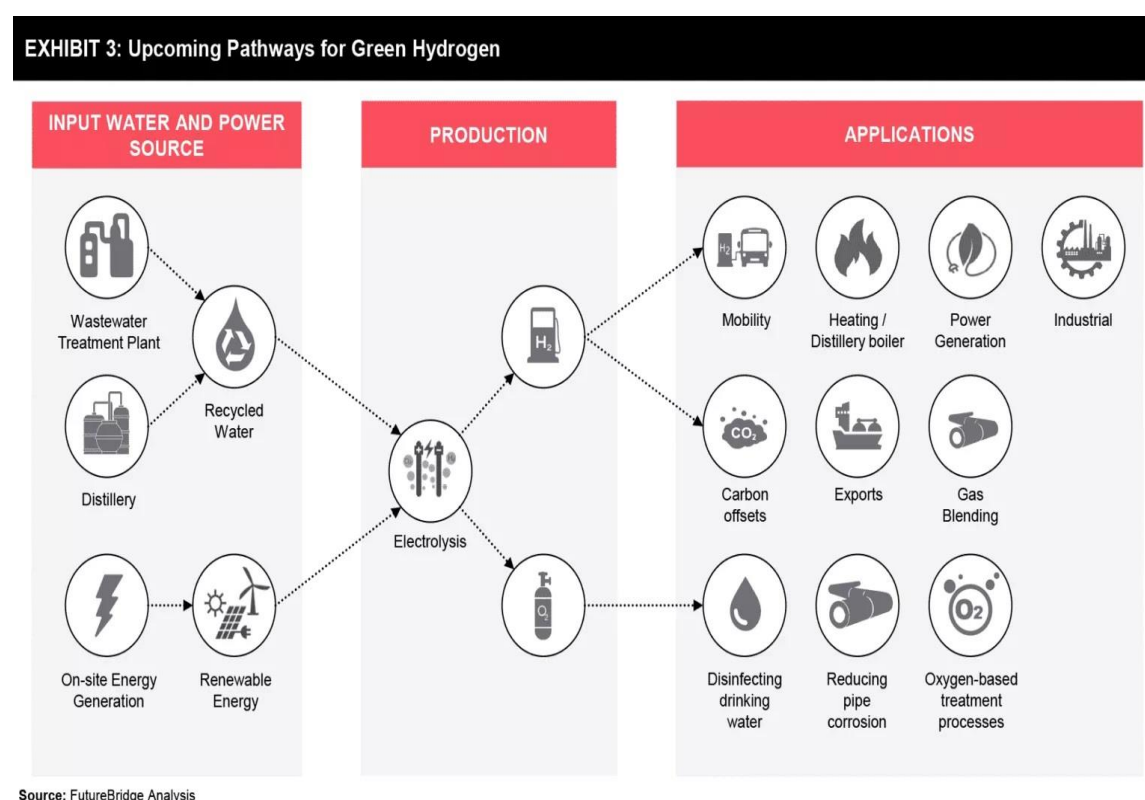
Τεχνολογίες ηλεκτρολύτη για παραγωγή πράσινου υδρογόνου

Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες ηλεκτρολύτη που διατίθενται στο εμπόριο, όπως αλκαλικοί (ALK), μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM), κυψέλη ηλεκτρολύτη στερεού οξειδίου

(SOEC) και μεμβράνη ανταλλαγής ανιόντων (AEM) και ορισμένες βρίσκονται σε φάση ανάπτυξης, όπως κυψέλη κεραμικής ηλεκτρόλυσης Proton (PCEC) και Ηλεκτρολύτες Ατμού Ενδιάμεσης Θερμοκρασίας (ITSE). Οι ηλεκτρολύτες αποτελούνται από μια άνοδο και μια κάθοδο που χωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη. Η λειτουργικότητα κάθε τύπου ηλεκτρολύτη είναι διαφορετική κυρίως λόγω των διαφορετικών τύπων ηλεκτρολυτικού υλικού που εμπλέκονται.

Πράσινο υδρογόνο από τα λύματα

Οι πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες παραγωγής πράσινων υδρογόνου δοκιμάζονται σε διάφορα νέα μονοπάτια. Η διαθεσιμότητα των λυμάτων από πολλαπλές πηγές όπως η WWTP και τα αποστακτήρα μπορεί να ανακυκλωθεί και να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου. Μπορεί περαιτέρω να πωληθεί ως καύσιμο για διάφορες εφαρμογές σε διάφορους τομείς.[12]



ΕΙΚΟΝΑ 29.Ανερχόμενα μονοπάτια για παραγωγή πράσινου H₂.

Εφαρμογές για Πράσινο Υδρογόνο από Λύματα

Αποστακτήρια: Σκοπός χρήσης πράσινου υδρογόνου σε αποστακτήρια

- Αντικαταστήστε τους υπάρχοντες λέβητες υγραερίου ή άλλων ορυκτών καυσίμων με πράσινο υδρογόνο
- Το πράσινο H₂ θα είναι η πηγή θερμότητας που απαιτείται για τους λέβητες αποστακτηρίου
- Η χρήση των λυμάτων από το αποστακτήριο είναι μια πιθανή πηγή νερού

Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων: Υπάρχει άφθονο νερό στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου.

Τεχνολογίες για Πράσινο Υδρογόνο από Λύματα

Οι τεχνολογίες ηλεκτρολύτη είναι κατάλληλες για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου από λύματα. Επιπλέον, μια άλλη τεχνολογία που δοκιμάζεται είναι η Graforce Waste water Plasmalyzer.

Χρησιμοποιεί ηλιακή ή αιολική ενέργεια για να δημιουργήσει ένα πεδίο τάσης υψηλής συχνότητας πάνω από τα λύματα. Διαχωρίζει τις ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και άζωτο όπως η ουρία, τα νιτρικά άλατα και το αμμώνιο σε μοναδικά άτομα C, N, H και O.

Αυτά τα άτομα ανασυνδυάζονται για να σχηματίσουν πράσινο υδρογόνο, μεθάνιο και άζωτο. Τα αέρια διαχωρίζονται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία μεμβράνης Graforce και μεταφέρονται περαιτέρω. Αυτή η μονάδα παραγωγής πράσινου υδρογόνου από λύματα (3.000 l/h) βρίσκεται στο Berliner Wasserbetriebe στη μονάδα επεξεργασίας Waßmannsdorf. Παράγεται έως και 50 κιλά υδρογόνου την ημέρα, κάτι που απαιτεί 20 kWh ενέργειας ανά κιλό παραγωγής υδρογόνου. Ωστόσο, αυτή η τεχνολογία βρίσκεται ακόμη στην πρώιμη φάση επίδειξης.

Πλεονεκτήματα

- Η συστεγαζόμενη παραγωγή υδρογόνου σε εγκαταστάσεις WWTP θα μπορούσε να λειτουργήσει ως καταλύτης για την ανάπτυξη κόμβων υδρογόνου. Η ικανότητα για να προσφέρεται βιώσιμο υδρογόνο σε τιμές ανταγωνιστικές είναι δυνατόν να προωθούνται με την πιο γρήγορη ανάπτυξη στους κόμβους για υδρογόνο με την προώθηση της ασφαλούς ζήτησης σε οξυγόνο από τα WWTP, ουσιαστικά με την επιδότηση του κόστους για την παραγωγή υδρογόνου.

- Η συστεγαζόμενη παραγωγή υδρογόνου σε WWTP είναι δυνατόν να προβεί σε υποστήριξη των στόχων για την περιφερειακή και εθνική κυβέρνηση, καθώς και την σχεδίαση πολλών χωρών για την επιτυχία των αντίστοιχων στόχων για καθαρές μηδενικές εκπομπές. Έτσι η πώληση του πράσινου υδρογόνου από αυτές τις εγκαταστάσεις είναι δυνατή να αναπτυχθεί θετικά η υποδομή για το πράσινο υδρογόνο.
- Εναλλακτική προσέγγιση για την απόκτηση χρηματοδότησης έργων σε γεωγραφίες με καθαρή λειψυδρία: Πολλές χώρες αντιμετωπίζουν ζητήματα που σχετίζονται με το νερό κατά τη διάρκεια του έτους, τα οποία εμποδίζουν την ανάπτυξη και την ανάπτυξη υποδομών πράσινης υδρογόνου σε αυτές τις περιοχές. Έτσι, η αξιοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων μπορεί να είναι μια αποτελεσματική στρατηγική για την απόδειξη της σκοπιμότητας των έργων πράσινου υδρογόνου.
- Το υδρογόνο και το οξυγόνο που πωλούνται πρόκειται να οδηγήσουν σε δημιουργία νέων ροών για τα έσοδα όπως και να ζητούνται τα προϊόντα αυτά από μία πλειάδα διαφορετικών κλάδων.

Προκλήσεις για το μέλλον

- Υπάρχουν πρόσθετες ενεργειακές απαιτήσεις για τον καθαρισμό του νερού σε αποστακτήρια και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, ώστε το νερό να είναι κατάλληλο για χρήση στις διαθέσιμες τεχνολογίες ηλεκτρολύσεων και να λειτουργεί με υψηλότερη απόδοση παραγωγής υδρογόνου.
- Αν και αυτή η οδός παραγωγής υδρογόνου βρίσκεται ακόμη στις αρχικές της φάσεις δοκιμών, οι επενδύσεις που έγιναν για αυτήν τη μέθοδο παραγωγής υδρογόνου θα είναι επωφελείς για την αντιμετώπιση των στόχων παραγωγής πράσινης υδρογόνου με βάση τα Εθνικά Σχέδια Υδρογόνου πολλών χωρών.[12]

Αποστακτήριο Ardmore (Distillery Ardmore)

Το έργο θα χρησιμοποιήσει λύματα από αποστακτήριο Aberdeenshire ως πρώτη ύλη για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου καθαρής καύσης. Το τριετές πρόγραμμα «WhiskHy» ύψους 4,5 εκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ περιλαμβάνει την εγκατάσταση ενός ηλεκτρόλυσης – που χρησιμοποιείται για τη διάσπαση του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο – στο αποστακτήριο

Ardmore στο Kennethmont. Η μελέτη σκοπιμότητας φάσης 1 για το έργο έχει ήδη ολοκληρωθεί. Το έργο βρίσκεται στη φάση 2 της επίδειξης, από την οποία η ομάδα του WhiskHy αναμένει να παράγει σχεδόν 165.000 φιάλες 70cl ουίσκι «μηδενικού διοξειδίου του άνθρακα» ετησίως. Αυτό θα μειώσει τις ετήσιες εκπομπές CO₂ από το αποστακτήριο κατά 71 τόνους.

Παραγωγή λυμάτων σε υδρογόνο (Αυστραλία)

Ερευνητές από το Πανεπιστήμιο Monash συνεργάζονται με εταιρείες κοινής ωφελείας όπως η Yarra Valley Water, η Melbourne Water, η Southeast Water και η Water Corporation για να μελετήσουν τη σκοπιμότητα των λυμάτων ως τροφοδοσίας για την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης νερού.

Το εργοστάσιο θα παράγει περίπου 100 τόνους υδρογόνου ετησίως χρησιμοποιώντας τη νέα καταλυτική διαδικασία της Hazer. Η θερμοκαταλυτική αποσύνθεση του μεθανίου διασπά το φυσικό αέριο σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία χρησιμοποιώντας έναν καταλύτη σιδηρομεταλλεύματος. Τα έργα 11,7-11,9 εκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ θα χρησιμοποιούν το βιοαέριο που παράγεται κατά την επεξεργασία του νερού ως πρώτη ύλη για την παραγωγή υδρογόνου και γραφίτη - μια σταθερή μορφή άνθρακα που χρησιμοποιείται σε πολλαπλές διαδικασίες παραγωγής. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος βρίσκεται ακόμη στις πρώτες φάσεις ανάπτυξης για το πράσινο υδρογόνο από την οδό των λυμάτων.

Το μέλλον του πράσινου υδρογόνου από τα λύματα

Το πράσινο υδρογόνο από το μονοπάτι των λυμάτων έχει τεράστιες δυνατότητες για περαιτέρω ανάπτυξη. Ειδικά οι βιομηχανικές διεργασίες όπως τα αποστακτήρια και οι μονάδες επεξεργασίας λυμάτων σε δήμους σε όλο τον κόσμο μπορούν να αναπτύξουν μεθόδους ανακύκλωσης νερού και να χρησιμοποιήσουν αυτό το νερό για να παράγουν πράσινο υδρογόνο και οξυγόνο.[12]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παγκόσμια οικονομία θα συνεχίσει να αναπτύσσεται με ρυθμό 3,6% ετησίως μεσομακροπρόθεσμα (έως το 2030). Μεγάλο μέρος αυτής της ανάπτυξης θα προέλθει από την οικονομική ανάπτυξη στις ασιατικές χώρες με υψηλούς ρυθμούς αύξησης του πληθυσμού (Κίνα και Ινδία). Η οικονομική ανάπτυξη θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση

της κατανάλωσης ενέργειας, η οποία θα αυξάνεται με ετήσιο ρυθμό 1,8%. Αυτό οφείλεται στη σταδιακή αύξηση της ενεργειακής αξιοποίησης των πρωτογενών πηγών ενέργειας, η οποία είναι χαμηλότερη από τον ρυθμό οικονομικής ανάπτυξης. Η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας αναμένεται να καλυφθεί με μέσο ρυθμό 6,7% ετησίως, λόγω της σημαντικής αύξησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, παράλληλα με την αυξημένη κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Η αυξημένη κατανάλωση ορυκτών καυσίμων οδηγεί στην εξάντληση των αποθεμάτων και στο σχετικό υψηλότερο κόστος εξόρυξης και διάθεσης, επιταχύνει την κλιματική αλλαγή και ρυπαίνει την ατμόσφαιρα. Το H₂ δεν αποτελεί πρωτογενή πηγή ενέργειας, καθώς δεν είναι ελεύθερα διαθέσιμο στη φύση σε μεγάλες ποσότητες. Το H₂ αποτελεί φορέα ενέργειας για τεχνικές εφαρμογές και είναι ισοδύναμο της ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η παραγωγή του μπορεί να προωθήσει την εξάπλωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: τα πλεονεκτήματα του H₂ είναι η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, η υψηλή απόδοση της συσκευής κατά τη μετατροπή και η απουσία αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρύπων όταν χρησιμοποιείται σε ηλεκτροχημικές διεργασίες. Σήμερα υπάρχει σημαντική δραστηριότητα παγκοσμίως για την προώθηση της χρήσης του H₂, συμπεριλαμβανομένης της βασικής έρευνας για τη μετατροπή του σε διεργασίες και συσκευές, μελέτες αποθήκευσης και διανομής, έργα επίδειξης, έργα τυποποίησης και ανάπτυξη τεχνικών κανονισμών.

Το H₂ μπορεί να παραχθεί από ΑΠΕ σε κατανεμημένες (διανεμημένες) μονάδες για να διευκολυνθεί η συμμετοχή των ΑΠΕ στην παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας. Η κατανεμημένη παραγωγή έχει το πλεονέκτημα της ενίσχυσης των τοπικών οικονομιών και της μείωσης της ανάγκης για δίκτυα διανομής. Επί του παρόντος, η πιο συνηθισμένη μέθοδος παραγωγής ενέργειας είναι από φυσικό αέριο με αναμόρφωση ατμού, με αποδόσεις που κυμαίνονται από 65% (μικρής κλίμακας) έως 85% (μεγάλης κλίμακας)- η συμπίεση H₂ και η δέσμευση άνθρακα μειώνουν την απόδοση κατά 5-10 ποσοστιαίες μονάδες η καθεμία. Άλλες μέθοδοι περιλαμβάνουν τη μερική οξείδωση και τη συνδυασμένη αναμόρφωση και οξείδωση (αυτοθερμική αναμόρφωση). Οι μέθοδοι αυτές παρουσιάζουν μικρό εμπορικό ενδιαφέρον λόγω του σημαντικού κόστους τους. Ο στερεός άνθρακας (π.χ. λιγνίτης, λιθάνθρακας) μπορεί να αεριοποιηθεί σε υψηλές θερμοκρασίες μαζί με ατμό για την παραγωγή H₂. Η εφαρμογή αυτή προσελκύει την προσοχή σε περιοχές όπου ο ορυκτός άνθρακας χρησιμοποιείται ευρέως (π.χ. Κίνα), καθώς μπορεί να συνδυαστεί με τη δέσμευση άνθρακα για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Η παραγωγή H₂ με ηλεκτρόλυση νερού με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι μια καθαρή λύση (δεν παράγονται παραπροϊόντα άνθρακα), αλλά εξακολουθεί να είναι ακριβή. Ωστόσο, το κόστος παραμένει υψηλό. Η παραγωγή H₂ με τη μέθοδο αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι μέσω της αποθήκευσης

H₂ μπορούν να μειωθούν οι διακυμάνσεις του φορτίου στο δίκτυο λόγω των ΑΠΕ, συμβάλλοντας περαιτέρω στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Άλλες μέθοδοι διάσπασης του νερού (φωτοηλεκτρόλυση, φωτοβιολογική παραγωγή και θερμοχημική αποσύνθεση) έχουν επίσης μεγάλες δυνατότητες, αλλά βρίσκονται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο-H₂ μπορεί επίσης να παραχθεί από βιομάζα μέσω αναερόβιας ζύμωσης ή αεριοποίησης. Και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται σήμερα σε κάποιο βαθμό και αναμένεται να αυξηθούν στο μέλλον. Και οι δύο μέθοδοι θεωρούνται κατάλληλες για αποκεντρωμένη παραγωγή H₂: το αποτύπωμα άνθρακα της παραγωγής H₂ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαδικασία και κυμαίνεται από μηδενικό (ηλεκτρόλυση με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) έως μεγάλο (αεριοποίηση ορυκτών καυσίμων χωρίς δέσμευση άνθρακα). Οι διαδικασίες δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα αρχίζουν να αναπτύσσονται, αλλά αυξάνουν σημαντικά το κόστος επένδυσης και μειώνουν την αποδοτικότητα της παραγωγής ενέργειας. Η παραγωγή H₂ σε μια κεντρική μονάδα με την τεχνολογία που παρουσιάζεται εδώ θα απαιτούσε σημαντική μείωση του κόστους-3-10 φορές το σημερινό κόστος. Αυτό είναι τεχνικά εφικτό σε κάποιο βαθμό. Σε κάθε περίπτωση, το κόστος παραγωγής αναμένεται να αυξηθεί για όλες τις πηγές ενέργειας λόγω της ανάγκης μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό θα καταστήσει την παραγωγή H₂ πιο ανταγωνιστική. Η παραγωγή H₂ σε αποκεντρωμένες μονάδες προσφέρει τη δυνατότητα εξισορρόπησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ μέσω της ενδιάμεσης αποθήκευσης H₂. Τέτοια συστήματα θα είναι σε θέση να ανταγωνιστούν οικονομικά τις συμβατικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όταν το κόστος της περαιτέρω συντήρησης του δικτύου γίνει υψηλό και ο κορεσμός του δικτύου μειώσει τα οικονομικά οφέλη της "πράσινης" παραγωγής.

14. ΠΙΝΑΚΕΣ – ΕΙΚΟΝΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ – ΕΙΚΟΝΑ	ΣΕΛΙΔΑ
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Συγκριτική έρευνα του υδρογόνου αλλά και των άλλων ενεργειακών φορέων με την πυκνότητα κατά βάρος και κατ' όγκο.	9
ΕΙΚΟΝΑ 2. Μονάδα αφαλάτωσης σε νησί των Κυκλάδων	11
ΕΙΚΟΝΑ 3. Σχηματική απεικόνιση των δυο κατηγοριών αφαλάτωσης	12
ΕΙΚΟΝΑ 4. Σχηματική απεικόνιση πολυβάθμιας εκτόνωσης (Multiple Stage Flashing, MSF)	12
ΕΙΚΟΝΑ 5. Σχηματική απεικόνιση Πολυβάθμιας εξάτμισης (Multiple Effect Distillation, MED)	13

EIKONA 6. Σχηματική απεικόνιση της ηλιακής απόσταξης	14
EIKONA 7. Σχηματική απεικόνιση Αντίστροφης ώσμωσης (Reverse Osmosis, RO)	16
EIKONA 8. Σχηματική απεικόνιση Ηλεκτροδιάλυσης (Electrodialysis, ED/EDr)	17
EIKONA 9 : Πρώτες ύλες και εναλλακτικές διεργασίες για παραγωγή του Η ₂ .	19
EIKONA 10 :Βραχυ-,Μέσο-,και Μακροπρόθεσμες τεχνολογίες παραγωγής Η ₂	19
EIKONA 11. Απεικόνιση συστήματος αφαλάτωσης και παραγωγής Η ₂ με την αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας.	20
EIKONA 12 :Σχηματική απεικόνιση της διεργασίας αναμόρφωσης του μεθανίου με ατμό.	23
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Σύγκριση των τεχνολογιών παραγωγής Η ₂ από φυσικό αέριο	24
EIKONA 14. Σχηματική απεικόνιση της Ηλεκτρόλυσης που τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	28
EIKONA 15	29
:Διάγραμμα ροής μίας αλκαλικής συσκευής ηλεκτρόλυσης για την παραγωγή Η ₂ .	
EIKONA 16. Κατάταξη του Η ₂ ανάλογα με το χρώμα του	32
EIKONA 17. Σχηματική απεικόνιση των επιπτώσεων από τη παραγωγή Η ₂ με τη μέθοδο αφαλάτωσης στις περιβαλλοντικές κατηγορίες ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ, ΜΕΙΩΣΗ ΟΖΟΝΤΟΣ (O ₃), ΜΕΙΩΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ, ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ και ΘΑΛΑΣΣΙΟΣ ΕΥΤΟΡΦΙΣΜΟΣ.	39
EIKONA 18. Σχηματική απεικόνιση της μείωσης εκπομπών CO ₂ ως αποτέλεσμα αξιοποίησης ηλιακής θερμικής ενέργειας σε μονάδες αφαλάτωσης MSF ανάλογα με την % συμβολή σε ΑΠΕ (5%, 10%, 15%, and 20% ηλιακής θερμικής ενέργειας αντίστοιχα).	40
EIKONA 19. Σχηματική απεικόνιση της παραγωγής νερού μέσω αφαλάτωσης και της χρήσης νερού σε διάφορους οικονομικούς τομείς σε συσχέτιση με την αύξηση του πληθυσμού τη περίοδο 2006–2014.	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 20. Συσχέτιση είδους νερού και κόστους παραγωγής αφαλάτωσης	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 21. Συσχέτιση είδους νερού και κόστους παραγωγής αφαλάτωσης ανάλογα με το είδος ΑΠΕ που χρησιμοποιείται,	45

EIKONA 22. Παγκόσμια ζήτηση υδρογόνου από το 1975 έως το 2018	58
EIKONA 23. Το υδρογόνο ταξινομείται ανάλογα με το χρώμα, ανάλογα με την οδό παραγωγής του.	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 24. Συσχέτιση είδους νερού και κόστους παραγωγής αφαλάτωσης ανάλογα με το είδος ΑΠΕ που χρησιμοποιείται,	60-61
EIKONA 25. Ανάλυση ζήτησης νερού παραγωγής πράσινου υδρογόνου, ~60 LH ₂ O ανά kg H ₂	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 26. Παραγωγή Υδρογόνου - Λογιστική Ζήτησης Νερού για Ψύξη με Εξάτμιση	65-66
ΠΙΝΑΚΑΣ 27. Παραγωγή Υδρογόνου - Απαίτηση Ακατέργαστου Νερού ανάλογα με την ποιότητα του Ακατέργαστου Νερού και την υπόθεση της Ψύξης με Εξάτμιση.	70
EIKONA 28. Μονοπάτια παραγωγής πράσινου H ₂ .	87
EIKONA 29. Ανερχόμενα μονοπάτια για παραγωγή πράσινου H ₂ .	88

15. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ

1. "Παραγωγή ενέργειας από υδρογόνο και πειραματική μελέτη στην συσκευή υδρογόνου" ΤΣΑΡΚΟΒΕΝΤΣΗΣ ΤΑΣΟΣ, ΜΕΛΙΔΟΝΙΩΤΗΣ ΣΤΕΡΓΙΟΣ - ΤΕΙ Καβάλας, Σχολή Τεχνολογίας Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας (2013).
2. "Το Υδρογόνο κατά της Κλιματικής Αλλαγής" ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΝΙΚΟΛΕΤΟΠΟΥΛΟΣ - Natural Resources PC (2020)
3. "Αφαλάτωση και συνοδά έργα "ΕΛΕΝΗ ΕΙΡΗΝΗ ΜΠΟΥΤΣΙΚΟΥ, ΑΝΤΩΝΗΣ ΔΡΑΓΟΝΙΓΟΣ - Μονάδα Οργάνωσης Αναπτυξιακών Προγραμμάτων (ΜΟΔ) Α.Ε. 2019.
4. "Can Salt Water Help Produce Green Hydrogen?" ALI OWAIS (2022) <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=1607>
5. "Green Hydrogen Production and Export From the MENA Region to Europe" CORNELIUS MATTHES, VALERIA ARUFFO, LOUIS RETBY-PRADEAU - MENA HYDROGEN ALLIANCE (2020)

6. "Αφαλάτωση νερού με χρήση ΑΠΕ" ΣΩΤΗΡΗΣ ΛΕΒΕΝΤΗΣ - Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Τμήμα Γεωγραφίας (2017)
7. "Παραγωγή Υδρογόνου" Αναπλ. Καθηγητής: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΡΝΕΛΛΟΣ - Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας (2019)
8. "Πιλοτικό πρόγραμμα με μονάδα αφαλάτωσης και παραγωγή υδρογόνου από ΑΠΕ στην νήσο Ίο" ΓΙΩΡΓΟΣ ΚΑΡΑΛΗΣ Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΠΜ, ΜΑΝΟΣ ΖΟΥΛΙΑΣ Δρ. Χημικός Μηχανικός ΕΠΜ (2010).
9. "Τεχνολογίες Αφαλάτωσης και Προοπτικές Εφαρμογής στον Ελληνικό χώρο» ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΑΜΑΣΗΣ - Διπλωματική Εργασία του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών: «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» ΕΠΜ
10. "Examining the life-cycle environmental impacts of desalination: A case study in the State of Qatar" MEHZABEEN MANNANA, MOHAMED ALHAJA, ABDEL NASSER MABROUKA, B, SAMI G. AL-GHAMDIA (2019).
11. "Η ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΧΡΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ" (2020)
[https://www.ghd.com/en/perspectives/water-for-hydrogen.aspx#:~:text=The%20water%20requirement%20for%20green,feedstock%20\(mainly%20CH4\)\](https://www.ghd.com/en/perspectives/water-for-hydrogen.aspx#:~:text=The%20water%20requirement%20for%20green,feedstock%20(mainly%20CH4)\)
12. "How to Power the Energy–Water Nexus: Coupling Desalination and Hydrogen Energy Storage" ARIANNA BALDINELLI, LINDA BARELLI, GIANNI BIDINI, GIOVANNI CINTI, ALESSANDRO DI MICHELE AND FRANCESCO MONDI - Processes is an international, peer-reviewed, open access journal (2020)