

**Ο**πως η πανδημία άλλαξε πολλά πράγματα στη ζωή μας και μάλιστα με γρήγορο ρυθμό, έτσι και η κλιματική αλλαγή θα αλλάξει αρκετά από αυτά που θεωρούμε δεδομένα, γιατί η ανάγκη δημιουργεί εγρήγορση και συγκέντρωση.

Έχουν ήδη τεθεί στόχοι, το 2030 και το 2050, να μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα.

Κύριο όπλο αυτής της αλλαγής είναι η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων που παράγουν ενέργεια, από ανανεώσιμες πηγές, κυρίως με ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, υδατοπτώσεις κ.ά.

## Ηλεκτρική ενέργεια: Από την παραγωγή στην κατανάλωση

Το πρόβλημα εντοπίζεται στο ότι η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να καταναλώνεται την ίδια στιγμή που παράγεται. Αποθηκεύεται μόνο με έμμεσους τρόπους, όπως π.χ. τα υδροηλεκτρικά φράγματα, σε περίοδο περίσσιας ενέργειας, ξαναστέλνουν πίσω στο φράγμα το νερό και το αποθηκεύουν εκεί για να είναι διαθέσιμο όταν απαιτείται.

Επειδή ακριβώς η ενέργεια δεν αποθηκεύεται, συμβαίνουν τα γνωστά black out όταν υπάρχει μεγάλη κατανάλωση και δεν υπάρχει αντίστοιχη παραγωγή.

Ηλεκτρική ενέργεια μπορεί φυσικά να αποθηκευτεί και σε μπαταρίες, αλλά με την παρούσα τεχνολογία είναι ασύμφορη η αποθήκευση ενέργειας αυτής της κλίμακας σε μπαταρίες.



Γράφει ο  
**Βýρων Τομάζος**  
Μηχανολόγος,  
Απόφοιτος Πολυτεχνείου  
Μονάχου  
e-mail: btomazos@gmail.com

## Ηλεκτρόλυση

Ηλεκτρόλυση (λύση διά ηλεκτρισμού), ονομάζεται η διαδικασία της διάσπασης μιας ουσίας με τη βοήθεια του ηλεκτρικού ρεύματος.

- Η ηλεκτρόλυση χρησιμοποιείται ειδικά τόσο στην εξαγωγή καθαρών στοιχείων όσο και στις επιμεταλλώσεις.
- Θεωρείται ειδική χημική αντίδραση και αποτελεί αντικείμενο έρευνας και μελέτης της Ηλεκτροχημείας.

Στο σημερινό άρθρο μιάς αφορά η ηλεκτρόλυση του

νερού, κατά την οποία το νερό διασπάται στα βασικά στοιχεία που το αποτελούν, υδρογόνο και οξυγόνο με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

Κατά την ηλεκτρόλυση, στην κάθοδο ιόντα υδρογόνου (πρωτόνια) ανάγονται σε υδρογόνο, ενώ στην άνοδο το νερό οξειδώνεται σε οξυγόνο και πρωτόνια.

Το πλεονέκτημα αυτής της διεργασίας είναι η παραγωγή υψηλής καθαρότητας υδρογόνου, για βιομηχανική ή άλλη χρήση. Το μειονέκτημα είναι ότι αποτελεί ακριβή μέθοδο, εξαιτίας του κόστους του ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο απαιτείται.

## Άρα καταλήγουμε στην αναζήτηση φθηνής ενέργειας.

Το υδρογόνο είναι το ελαφρότερο και το πιο άφθονο στοιχείο στη φύση, αλλά σε ελεύθερη μορφή υπάρχει μόνο σε ελάχιστες ποσότητες. Παράγεται από την ηλεκτρόλυση και από ορυκτά καύσιμα.

**Το αυτοκίνητο με κίνηση υδρογόνου** είναι στην ουσία ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο, που αντί για μπαταρίες τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα μέσω μιας κυψέλης καυσίμου που μετατρέπει το υδρογόνο σε ηλεκτρική ενέργεια.

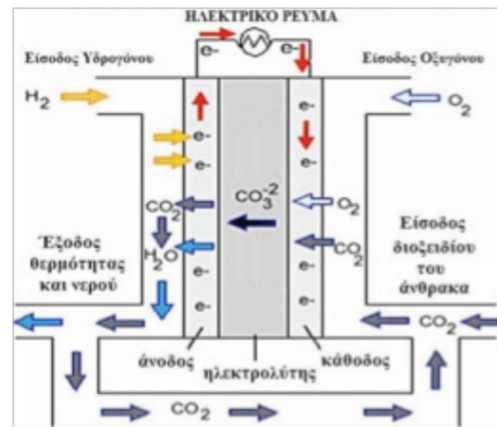
Υπάρχουν αρκετά είδη κυψελών καυσίμου, που μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του τύπου του ηλεκτρολύτη τον οποίο χρησιμοποιούν. Το πιο γνωστό είδος είναι οι κυψέλες πολυμερισμένης μεμβράνης (proton exchange membrane, PEM).

## Κυψέλες Πολυμερισμένης Μεμβράνης (PEM)

Οι PEM είναι ο κινητήρας του αυτοκινήτου χωρίς πιστόνια, στροφαλοφόρο άξονα, καπάκια, βαλβίδες κλπ. Δηλαδή δύο ηλεκτρόδια, κατασκευασμένα από ένα πολύ

λεπτό στρώμα λευκόχρυσου (Pt) πάνω σε επιφάνεια άνθρακα, διαχωρίζονται από μία μεμβράνη, η οποία έχει τον ρόλο του ηλεκτρολύτη. Το υδρογόνο τροφοδοτεί το αρνητικό ηλεκτρόδιο (την άνοδο της κυψέλης), και ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Το ηλεκτρόδιο και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται ομοιόμορφα. Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την κάθοδο (θετικό ηλεκτρόδιο) παράγοντας ηλεκτρισμό, αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευσή τους μέσω αυτής.

Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (πρωτόνια) δια-



περνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο, το οποίο τροφοδοτείται στην κάθοδο και παράγεται νερό και θερ-

μότητα, γι' αυτό οι μεμβράνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ηλεκτρικού και ζεστού νερού και για οικιακή χρήση.

Με πιο απλά λόγια, όταν το υδρογόνο που αποθηκεύεται στις δεξαμενές διέρχεται από την κυψέλη, διασπάται σε πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Η ροή ηλεκτρονίων που δημιουργείται στην κυψέλη καυσίμου παρέχει ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδοσία του ηλεκτροκινητήρα, ενώ τα πρωτόνια αντιδρούν με τα μόρια οξυγόνου στον αέρα και παράγουν θερμότητα και νερό. Αυτές οι κυψέλες καυσίμου ανταλλαγής πρωτονίων λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και παράγουν ισχύ αρκετή για την εφαρμογή τους στην ικανοποίηση καθημερινών ενεργειακών αναγκών, όπως αυτή για την κίνηση ενός οχήματος. Σε αυτό βοηθά η ικανότητα τους να προσαρμόζονται σε γρήγορες αυξομειώσεις στην απαίτηση ισχύος. Η ισχύς που παράγει μια τέτοια κυψέλη κυμαίνεται μεταξύ των 50 και 250 kW αρκετή δηλαδή ισχύς ακόμα και για φορτηγά αυτοκίνητα. Η ενέργεια υδρογόνου, που παράγεται από συστήματα κυψελών καυσίμου μηδενικών εκπομπών, έχει γίνει αναπόσπαστο μέρος του παγκόσμιου ενεργειακού μείγματος για την κλιματική αλλαγή.

Στην περίπτωση μας μιλάμε για το "πράσινο" υδρογόνο, το οποίο παράγεται με ρεύμα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το κόστος τόσο του εξοπλισμού ηλεκτρόλυσης όσο και της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έχει μειωθεί δραστικά την τελευταία δεκαετία, καθιστώντας το πράσινο υδρογόνο πιο βιώσιμο ως οικονομικά αποδοτικό και με προοπτικές επέκτασης καύσιμου.

## Κίνηση με υδρογόνο

Σχεδόν όλες οι μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες ασχολούνται με την έρευνα και την παραγωγή αυτοκινήτων που κινούνται με υδρογόνο, ειδικά τα τελευταία 10 χρόνια.

Το αυτοκίνητο που μελέτησα είναι το NEXO της Hyundai, η διάθεση του οποίου ξεκίνησε το 2018. Είναι ένα ηλεκτρικό όχημα δεύτερης γενιάς με αυτονομία 666 χιλιομέτρων με μια μόνο φόρτιση, στο οποίο οι κυψέλες καυσίμου, οι ηλεκτρικές διατάξεις, οι μπαταρίες και οι δεξαμενές υδρογόνου αλληλοσυμπληρώνονται. Εκπέμπει μόνο καθαρούς υδρατμούς και καθαρίζει τον αέρα κατά την οδήγηση, φιλτράροντας κατά 99,9% το οξυγόνο.

Η Hyundai έκανε μια πρωτότυπη καμπάνια για να ενημερώσει με τον καλύτερο τρόπο το κοινό για την καθαρή τεχνολογία κυψελών καυσίμου υδρογόνου του NEXO. Στο spot, η σπανίδα ολυμπιονίκης κολύμβησης Mireia Belmonte έκανε προπόνηση, τρέχοντας σε διάδρομο γυμναστικής τοποθετημένο μέσα σε μια φούσκα συνδεδεμένη με τον σωλήνα εξάτμισης ενός Hyundai NEXO, αναπνέοντας τις εκπομπές κατευθείαν από το όχημα που είχε αναμμένη τη μηχανή του. Ήταν μια απτή απόδειξη για το πόσο φιλικές για το περιβάλλον είναι οι εκπομπές του συγκεκριμένου αυτοκινήτου.

Η κίνηση με υδρογόνο μάς εξασφαλίζει κινητικότητα μηδενικών εκπομπών, χωρίς να θυσιάζουμε τις ευκολίες ή την ευελιξία ενός συμβατικού αυτοκινήτου. Επί πλέον, καθώς ένα αυτοκίνητο υδρογόνου προχωρεί, καθαρίζει τον αέρα γύρω του χάρη σε ένα φίλτρο καυσαερίων που παρακρατεί μέχρι 2,5 PM (αερολύματα με διάμετρο μικρότερη από 2.5μm) που θεωρούνται ως τα πλέον επικίνδυνα για καρδιαγγειακές και αναπνευστικές παθήσεις λόγω της βαθύτερης διείσδυσης και εναπόθεσης στο ανθρώπινο σώμα.

Σκεφτείτε ότι το μείγμα ατμού και νερού που εκπέμπει το αυτοκίνητο είναι καθαρότερο από τον αέρα που εισέρχεται. Σε ένα προηγούμενο άρθρο μου με τίτλο: Ηλεκτρικό αυτοκίνητο, ένας υπολογιστής με τροχούς, ανέφερα όλα τα πλεονεκτήματα που θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην αλλαγή του τρόπου μετακίνησης και ουσιαστικά του τρόπου ζωής, από την ασφάλεια στους δρόμους μέχρι τα επαγγέλματα που ασχολούνται με τους κινητήρες των αυτοκινήτων. Γιατί το αυτοκίνητο χωρίς οδηγό είναι πιο ασφαλές; Διότι όλα είναι ηλεκτρονικά π.χ. ο υπολογιστής "βλέπει" πού βρίσκονται τα άλλα αυτοκίνητα και αποφεύγονται οι συγκρούσεις.

**Η διαφορά του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με μπαταρία και του αυτοκινήτου υδρογόνου**, έγκειται στο ότι η μπαταρία έχει 100 φορές περισσότερο βάρος από την κυψέλη και όσο κι αν μειωθεί το βάρος των μπαταριών, η διαφορά παραμένει μεγάλη. Ως εκ τούτου, το ωφέλιμο φορτίο του αυτοκινήτου υδρογόνου αυξάνεται, μειώνοντας αντίστοιχα την κατανάλωση.

## Σχέση βάρους και κατανάλωσης

Το βάρος του αυτοκινήτου σχετίζεται με την κατανάλωση. Αυτό μου θύμισε έναν γείτονα μου στην Αμερική, που τον θεωρούσαμε τσιγκούνη, γιατί όταν ήθελε να μετακινήσει λίγο το αυτοκίνητό του για να το πλύνει, το έσπρωχνε για να μην το βάλε μπροστά και κάψει βενζίνη. Το πορτ μπαγκάζ του αυτοκινήτου του ήταν σχεδόν άδειο και μια φορά που είδε ότι στο δικό μου υπήρχαν αλυσίδες για τα χιόνια, ρεζέρβα και διάφορα ετησίως όλα αυτά τα πράγματα που κουβαλάς κάθε μέρα». Πράγματι, επειδή ήταν μηχανικός, υπολόγισε ότι όλη αυτή η άσκοπη μεταφορά πραγμάτων, μου κόστιζε περίπου 100 δολάρια τον χρόνο. Παρεμπιπτόντως, όταν του ζήτησα κάποια συνδρομή για φιλανθρωπικό σκοπό, προς μεγάλη μου έκπληξη, μου έδωσε ένα πολύ μεγάλο ποσό και τότε κατάλαβα ότι ουσιαστικά δεν ήταν τσιγκούνης, τον ενδιέφερε μόνο ο περιορισμός της σπατάλης. Η οικονομία ήταν γι' αυτόν τρόπος ζωής.

## Προς μια «κοινωνία υδρογόνου»

Καθώς τα αυτοκίνητα με κυψέλες κυκλοφορούν όλο και πιο συχνά στους δρόμους των πόλεων, αυξάνονται και τα σημεία διάθεσης πράσινου υδρογόνου. Αυτό μπορεί να είναι ένα από τα πρώτα βήματα προς μια «κοινωνία υδρογόνου» - μια ιδέα που έγινε δημοφιλής στην Ανατολική Ασία, όπου

η χρήση υδρογόνου ως υγρού καυσίμου καταπολεμά ταυτόχρονα την κλιματική αλλαγή, προάγει τη σταθερότητα και την ανθεκτικότητα των ενεργειακών συστημάτων και δημιουργεί νέες ευκαιρίες στην απασχόληση και τη βιομηχανία.

Μέχρι το 2050 προβλέπονται

επενδύσεις της τάξης των 470 δις ευρώ. Σε παγκόσμιο επίπεδο, χώρες και κυβερνήσεις δείχνουν μεγάλο ενδιαφέρον για την τεχνολογία υδρογόνου και ήδη το υδρογόνο θεωρείται το ναυτιλιακό καύσιμο του μέλλοντος. Όπως γράφει στη Ναυτεμπορική ο κ. Γιώργος Γ. Σπανός, σύμβουλος Καινοτομίας Ναυτιλιακών Επιχειρήσεων ολοένα και περισσότερα ferries λειτουργούν είτε ως αμιγώς ηλεκτρικά, είτε ως υβριδικά (diesel-electric).

Πέραν των Βορειοευρωπαίων φίλων μας (αναφέρεται στη Νορβηγία και στις χώρες της Βαλτικής), πολύ σημαντικά projects μετασκευής συμβατικών ferry (ro/rax) εκτυλίσσονται γοργά στην Ιταλία και τη Γαλλία και πολλά περισσότερα είναι σε φάση προχωρημένων μελετών.

Πρόκειται για εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης που έχουν αποδείξει την πετυχημένη και αξιόπιστη εφαρμογή του υδρογόνου. Όλες οι μεγάλες μηχανολογικές εταιρείες στεριάς και θάλασσας, όπως η ABB, η Wartsila, η WinGD, η Siemens, η Transfluid κ.ά., καθώς και κολοσσοί του αυτοκινητικού κλάδου όπως η Toyota, η Hyundai, η Honda και η BMW, μαζί με εταιρείες παροχής ενέργειας, διαγκ(κ)ώνίζονται για τα πρωτεία και



---

στις ναυτιλιακές υποδομές για το παρόν και το μέλλον του υδρογόνου και των κυψελών καυσίμου.

Η Κίνα, η Γερμανία, η Ιαπωνία, η Κορέα και η πολιτεία της Καλιφόρνια έχουν ξεκινήσει τις δικές τους τοπικές στρατηγικές για την περαιτέρω υιοθέτηση υδρογόνου. Η ΕΕ μέχρι το 2024 θα παράγει ένα εκατομ. τόνους ανανεώσιμου υδρογόνου με προοπτική παραγωγής 10 εκατ. τόνους μέχρι το 2030.

Να σημειωθεί ότι μέχρι τότε, η ΕΕ προωθεί και την επιλογή της χρήσης υδρογόνου χαμηλού άνθρακα, δηλαδή, το υδρογόνο που παράγεται από αέριο με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα.

Θα πρέπει βέβαια να διασφαλιστεί ότι η παραγωγή υδρογόνου

από ορυκτά καύσιμα δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, αλλιώς το φάρμακο θα αποδειχθεί τόσο επιβλαβές, όσο η ίδια η ασθένεια. Οι ανακατατάξεις στην αγορά με τη χρήση του υδρογόνου και άλλων καυσίμων όπως της αμμωνίας αναμένεται να επηρεάσουν τους γίγαντες του πετρελαίου όπως τη Ρωσία, τη Σαουδική Αραβία και τις ΗΠΑ.

### Ήλιος και αέρας

Η Ελλάδα με τις 300 περίπου ημέρες ηλιοφάνειας ετησίως και τους ανέμους που σαρώνουν ειδικά το Αιγαίο, έχει τη δυνατότητα, εκτός από Φλόριντα της Ευρώπης στον τουρισμό, να γίνει και Μέση Ανατολή στην ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές.

Αναφέρομαι στα τόσα άγονα νησιά μας που τα δέρνουν οι άνεμοι, όπου θα παράγεται υδρογόνο, θα αποθηκεύεται σε δεξαμενές και θα μεταφέρεται με πλοία, χωρίς το τεράστιο έξοδο της τοποθέτησης υποθαλάσσιων καλωδίων.

Το κόστος παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έχει μειωθεί σημαντικά την τελευταία δεκαετία και πρόκειται να μειωθεί περαιτέρω, γεγονός που το κάνει ακόμη πιο ανταγωνιστικό.

**Ήλιος και αέρας**, λοιπόν, δύο ακόμη δώρα που χάρισε ο Θεός στο πιο όμορφο οικόπεδο του κόσμου, μπορούν να γίνουν **σημαντικά όπλα για την ανάπτυξή μας.**

Πηγές: Μπάρμπα-Google, el.wikipedia.org, naftemporiki.gr, Hyundai advertisement

---