

ΠΜΣ στη Βιομηχανική Διοίκηση & Τεχνολογία

Κατεύθυνση: Διαχείριση Ενέργειας και Περιβάλλοντος

Μάθημα: Π-ΕΚΕ303 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ POWER TO X

**Υδρογόνο για μηχανές εσωτερικής καύσης.
Υδρογόνο για οχήματα με στοιχεία καυσίμου (fuel cells).
Εκπομπές, κόστος και δίκτυο διανομής.**

9-11-2023

Δημήτριος Σιδηράς
Καθηγητής

Hydrogen

- Hydrogen can be mixed with natural gas to create an alternative fuel for vehicles that use certain types of internal combustion engines.
- Hydrogen is also used in **fuel-cell** vehicles that run on electricity produced by the petrochemical reaction that occurs when hydrogen and oxygen are combined in the fuel “stack.”
- ***Positive***: No bad emissions.
- ***Negative***: Cost, and also the lack of fuelling infrastructure and difficulty of putting it in place.

Τεχνολογία υδρογόνου

- Το υδρογόνο δεν υπάρχει στη φύση με τη μορφή καθαρού αερίου.
- Οι μέθοδοι παρασκευής χωρίζονται σε 3 κυρίες κατηγορίες, τις θερμοχημικές, ηλεκτρολυτικές και τις φωτολυτικές.
- Οι περισσότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του περιλαμβάνουν τη διαδικασία της υδρόλυσης:

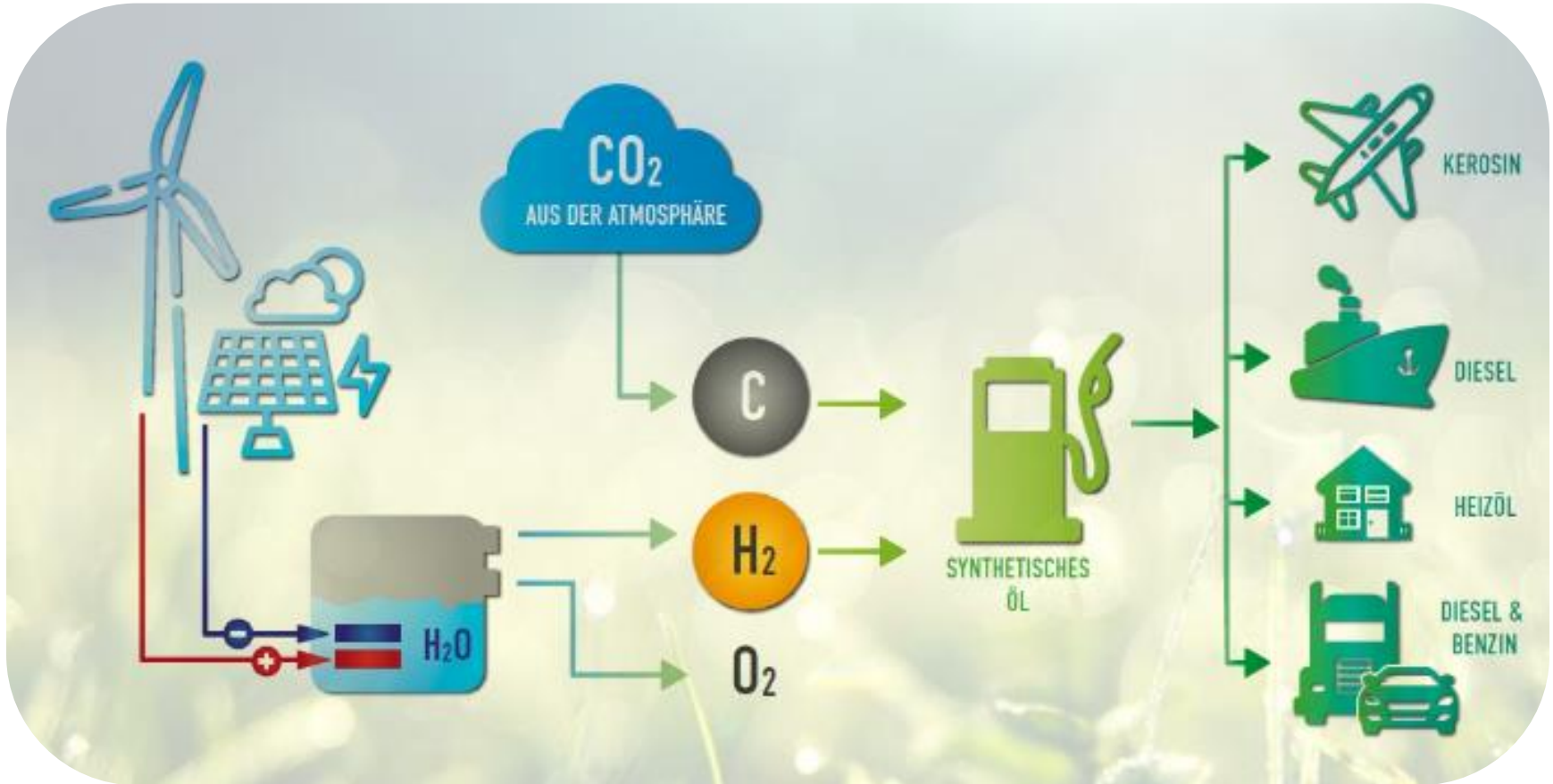


- Οικονομικά η πιο σημαντική διεργασία περιλαμβάνει αφαίρεση υδρογόνου από υδρογονάνθρακες.
- Το βιομηχανικό υδρογόνο συνήθως παράγεται
- αι με αναμόρφωση του φυσικού αερίου με ατμό (Καταλυτική ατμοδιάσπαση). Σε θερμοκρασίες 700 - 1000°C, ο ατμός αντιδρά με το μεθάνιο (CH₄, κύριο συστατικό του φυσικού αερίου) και δίνει μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και υδρογόνο:



- Η αντίδραση ευνοείται σε χαμηλές πιέσεις, αλλά πραγματοποιείται σε υψηλές πιέσεις της τάξης των 20 atm, γιατί το υψηλής πίεσης υδρογόνο είναι πιο αξιοποιήσιμο εμπορικά και γιατί τα συστήματα καθαρισμού προσρόφησης με ταλάντωση της πίεσης (Pressure Swing Adsorption purification systems) λειτουργούν καλύτερα σε υψηλές πιέσεις.
- Το παραγόμενο μείγμα μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου ονομάζεται αέριο σύνθεσης, γιατί χρησιμοποιείται συχνά απευθείας για την παραγωγή μεθανόλης και άλλων σχετικών ενώσεων.

Συνθετικά Καύσιμα



- Η παραγωγή τους βασίζεται στη σύνθεση υδρογονανθράκων.
- Από το CO₂ που συλλέγεται από την ατμόσφαιρα εξάγεται το στοιχείο του άνθρακα.
- Παράλληλα, νερό περνάει από τη διαδικασία ηλεκτρόλυσης με τη βοήθεια ΑΠΕ ώστε να διασπαστεί σε υδρογόνο και οξυγόνο.
- Ενώνοντας τον άνθρακα με το υδρογόνο δημιουργείται το συνθετικό καύσιμο. ⁴

Μεταξύ των κυριότερων χρήσεων του είναι:

- Στην παρασκευή αμμωνίας, μεθανίου ή μεθανόλης.
- Αυτά χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την παρασκευή άλλων προϊόντων, όπως εκρηκτικά, λιπάσματα, αντιψυκτικά κτλ.
- Στην τεχνολογία τροφίμων για την παρασκευή υδρογονανθράκων.
- Στην επιστήμη της φυσικής με εφαρμογή στη μελέτη των στοιχειωδών σωματιδίων.
- Με τη μορφή υγρού βρίσκει χρήση στη μελέτη της υπεραγωγιμότητας.

- Πέρα από τις πολλές του χρήσεις στη χημική βιομηχανία, το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φορέας ενέργειας.
- Σε παγκόσμιο επίπεδο, η τάση κατανάλωσης καυσίμων όλο και λιγότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα είναι εμφανής.
- Το υδρογόνο απαλλαγμένο από κάθε ποσό άνθρακα μπορεί να προσφέρει αρκετή ενέργεια για καθημερινές χρήσεις όπως η ηλεκτροδότηση κτιρίων ή η κίνηση των μεταφορικών μας μέσων.
- Μάλιστα αυτή τη στιγμή γίνονται σημαντικές προσπάθειες, κυρίως στα ιδιαίτερα ανεπτυγμένα κράτη, για τη μετατροπή της προσαρμοσμένης στα καύσιμα άνθρακα υποδομής σε υποδομή με βάση το υδρογόνο.
- Ενδεικτικά, η Ισλανδία, προβλέπει σε μία υποδομή πλήρως βασισμένη στο υδρογόνο μέχρι το 2030-2040, ενώ μέχρι το 2030 στόχος του υπουργείου ενέργειας των Η.Π.Α. είναι η αντικατάσταση του 10% της ενεργειακής κατανάλωσης από ενέργεια υδρογόνου.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα για το πως το **υδρογόνο** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί ενέργεια είναι οι λεγόμενες **κυψέλες καυσίμου (fuel cells)**, στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση αυτό.

- Πλεονεκτήματα έναντι συμβατικών πηγών ενέργειας
- Το υδρογόνο έχει το υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα βάρους από οποιοδήποτε άλλο γνωστό καύσιμο, 120,7 kJ/kg, περίπου τρεις φορές μεγαλύτερο από αυτό της συμβατικής βενζίνης.
- Καθαρή καύση. Όταν καίγεται με οξυγόνο παράγει μόνο νερό και θερμότητα. Όταν καίγεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος αποτελείται περίπου από 68% άζωτο, παράγονται επίσης αμελητέες ποσότητες οξειδίων του αζώτου.
- Εξαιτίας της καθαρής καύσης του δε συμβάλλει στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Το ποσό του νερού που παράγεται κατά τη καύση είναι τέτοιο ώστε να θεωρείται επίσης αμελητέο και μη ικανό να επιφέρει κάποια κλιματολογική αλλαγή δεδομένης ακόμα και μαζικής χρήσης.
- Είναι το ίδιο ακίνδυνο όσο η βενζίνη, το πετρέλαιο diesel ή το φυσικό αέριο. Το υδρογόνο μάλιστα είναι το λιγότερο εύφλεκτο σε απουσία αέρα με θερμοκρασία αυθόρμητης ανάφλεξης τους 585 °C (230 °C έναντι 480 °C της βενζίνης).

- Μπορεί να συμβάλει στη μείωση του ρυθμού κατανάλωσης των περιορισμένων φυσικών καυσίμων.
- Αν και σε πολλές περιπτώσεις αυτά τα ίδια καύσιμα χρησιμοποιούνται για την παρασκευή υδρογόνου το ενεργειακό όφελος είναι μεγάλο.
- Μάλιστα η πιο συμφέρουσα οικονομικά αυτή τη στιγμή μέθοδος παρασκευής υδρογόνου βασίζεται στη μετατροπή του μεθανίου του φυσικού αερίου.
- Μπορεί να παρασκευαστεί με πάρα πολλές μεθόδους σε οποιαδήποτε χώρα και σε οποιοδήποτε μέρος κι επομένως μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη αποκεντρομένων συστημάτων παραγωγής ενέργειας.
- Αυτό θα ωφελήσει φτωχότερα και λιγότερο αναπτυγμένα κράτη τα οποία σήμερα εξαρτώνται ενεργειακά από άλλα ισχυρότερα.

Μειονεκτήματα έναντι συμβατικών πηγών ενέργειας

- Τα περισσότερα μειονεκτήματα χρήσης του υδρογόνου έχουν να κάνουν με την ελλιπή σημερινή υποδομή και αποτελούν κυρίως τεχνικά προβλήματα τα οποία αναζητούν λύση.
- Η **αποθήκευση** του. Δεδομένου του ότι το υδρογόνο είναι πολύ ελαφρύ, η συμπίεση μεγάλης ποσότητας σε μικρού μεγέθους δεξαμενή είναι δύσκολη λόγω των υψηλών πιέσεων που χρειάζονται για να επιτευχθεί η υγροποίηση.
- Η **έλλειψη οργανωμένου δικτύου διανομής** του.
- Η **τιμή** του είναι σχετικά υψηλή σε σύγκριση με αυτή της βενζίνης ή του πετρελαίου. Η περισσότερο διαδεδομένη λόγω χαμηλού κόστους μέθοδος παραγωγής υδρογόνου αυτή τη στιγμή είναι η μετατροπή του φυσικού αερίου. Ωστόσο όσο εξελίσσονται και άλλες μέθοδοι, όπως η μετατροπή της αιολικής ενέργειας, το κόστος θα συνεχίσει να μειώνεται.
- Αν και στις περισσότερες των περιπτώσεων το υδρογόνο θεωρείται περισσότερο ασφαλές από οποιοδήποτε άλλο καύσιμο, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να γίνει εξαιρετικά επικίνδυνο.

- Η αυξημένη τιμή των κυψέλων καυσίμου με τις οποίες αυτή τη στιγμή γίνεται η μεγαλύτερη εκμετάλλευση του υδρογόνου ως καύσιμο.
- Επιπλέον η τεχνολογία τους δε μπορεί να θεωρηθεί ολοκληρωτικά αξιόπιστη αφού προς το παρόν υπάρχουν αρκετά τεχνικά προβλήματα τα οποία αναζητούν αξιόπιστες λύσεις.
- Κυψέλες προσανατολισμένες για οικιακή και μεταφορική χρήση χαρακτηρίζονται από μικρή ανοχή σε καύσιμα μη υψηλής καθαρότητας.
- Αυτό με τη σειρά του αυξάνει το κόστος παραγωγής του καυσίμου.
- Κυψέλες καυσίμου προσανατολισμένες για βιομηχανική χρήση πάλι χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας .

Υδρογόνο σαν καύσιμο και φθηνότερο από βενζίνη με νανοτεχνολογία:

- Ερευνητές υποστηρίζουν ότι ανακάλυψαν μια καινοτομία για να παράγουν **νανοσωματίδια** τα οποία μπορούν να παίξουν καταλυτικό ρόλο (κυριολεκτικά και μεταφορικά) για την παραγωγή φθηνού υδρογόνου.
- Η QuantumSphere Inc. υποστηρίζει ότι έχει τελειοποιήσει την κατασκευή νανοσωματιδίων τα οποία χρησιμοποιώντας τα ως ειδική επικάλυψη σε ηλεκτρόδια από ανοξείδωτο ατσάλι μπορούν να παίξουν το ρόλο του καταλύτη στην γνωστή μας ηλεκτρόλυση, αυξάνοντας την απόδοση της διαδικασίας κατά 85% !
- Η ηλεκτρόλυση είναι η διαδικασία όπου με την εισαγωγή ηλεκτροδίων μέσα σε νερό, τα οποία είναι συνδεδεμένα σε μια πηγή ρεύματος, το νερό διασπάται σε οξυγόνο (O_2) και υδρογόνο (H_2). Το κάθε αέριο απελευθερώνεται χωριστά από το κάθε ηλεκτρόδιο.

- Εκτός αυτού υποστηρίζουν επίσης, ότι με τη χρήση των συγκεκριμένων νανοσωματιδίων μπορεί να ελαχιστοποιηθεί η χρήση ευγενών (και ακριβών μετάλλων) όπως πλατίνας στις κυψέλες καυσίμου.
- Λόγω της μικροσκοπικής τους δομής η επιφάνεια που αντιδρά πολλαπλασιάζεται οπότε και η απόδοση της ηλεκτρόλυσης αυξάνεται.
- Ουσιαστικά τα νανοσωματίδια χρησιμοποιούνται σαν επικάλυψη στα ηλεκτρόδια στην διαδικασία.
- Η εταιρεία υποστηρίζει ότι με τα δικά της ηλεκτρόδια , θα είναι εφικτή η παραγωγή υδρογόνου στο σπίτι του καθενός , χωρίς να χρειάζεται κάποιος να το προμηθεύεται, ή ακόμα και μέσα στην μηχανή κατά την κίνηση του αυτοκινήτου.
- Για την διαδικασία χρειάζεται μόνο αποσταγμένο νερό και τα συγκεκριμένα ηλεκτρόδια.
- Ετοιμάζονται να λανσάρουν μπαταρίες που θα χρησιμοποιούν την συγκεκριμένη τεχνολογία στα ηλεκτρόδια ούτως ώστε να είναι μέχρι και 320% πιο ισχυρή από τις κοινές αλκαλικές.
- Στη συνέχεια η εταιρεία σχεδιάζει αφού τελειοποιήσει την μέθοδο της για την ηλεκτρόλυση, να συνεργαστεί με άλλες εταιρείες ώστε να παράγουν συσκευές για παραγωγή υδρογόνου στο σπίτι ή εν κινήσει στο αυτοκίνητο.
- Ένα από τα προβλήματα τα οποία συνάντησαν ήταν να ενσωματώσουν στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων τα νανοσωματίδια^{1,2}

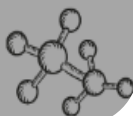
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Προστασία της ατμόσφαιρας, φιλικός προς το περιβάλλον ηλεκτρισμός	Άγνωστες παράμετροι. Σύμφωνα με υπολογισμούς, η διαρροή από τις μονάδες παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής του καυσίμου θα αντιστοιχεί στο 20% της ολικής ποσότητας υδρογόνου.
Σαν αέριο ή υγρό, το υδρογόνο μπορεί εύκολα να μεταφερθεί, να φυλαχθεί και τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται σήμερα τα καύσιμα.	"Πράσινος" κίνδυνος Η χρήση του υδρογόνου ως πηγή ενέργειας τις επόμενες δεκαετίες ίσως βλάψει σημαντικά το στρώμα του όζοντος, σύμφωνα με έρευνα που δημοσιεύεται στο περιοδικό Science. Η ερευνητική ομάδα του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Καλιφόρνιας (CalTech) υποστηρίζει ότι το υδρογόνο που διαρρέει στο περιβάλλον θα ανεβαίνει πολύ γρήγορα στη στρατόσφαιρα - το υδρογόνο είναι το πιο ελαφρύ στοιχείο - όπου θα αντιδρά με το οξυγόνο για το σχηματισμό νερού.
Κοστίζει λιγότερο για να μετακινηθεί το υδρογόνο σε άλλες ηπείρους ως συμπιεσμένο αέριο με τη βοήθεια σωλήνων, από ένα ίσο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Το υγρό υδρογόνο είναι η ασφαλέστερη και πιο οικονομική επιλογή για την κίνηση της ενέργειας από τους ωκεανούς.	Ένα μεγάλο μειονέκτημα των κυψελών καυσίμου είναι το μεγάλο οικονομικό κόστος που συνεπάγεται η χρήση τους.

Υδρογόνο

Grey Hydrogen

Process:
Steam Reforming

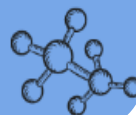
Source:
Natural Gas



Blue Hydrogen

Process:
Steam Reforming
With Carbon Capture

Source:
Natural Gas



Green Hydrogen

Process:
Electrolysis

Source:
Renewable
Energies



Black Hydrogen

Process:
Gasification

Source:
Coal



Pink Hydrogen

Process:
Electrolysis

Source:
Nuclear
Energy



Yellow Hydrogen

Process:
Electrolysis

Source:
Solar
Energy



Turquoise Hydrogen

Process:
Pyrolysis

Source:
Natural
Gas



Τι σημαίνουν τα χρώματα για το υδρογόνο:

- Το ίδιο το υδρογόνο δεν έχει χρώμα. Τα χρώματα αντιπροσωπεύουν τις διαδικασίες και τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του. Μόνο το **πράσινο υδρογόνο**, το οποίο παράγεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεν εκπέμπει σχεδόν καθόλου ρύπους. Φυσικά, μπορεί να προκύψουν εκπομπές κατά την κατασκευή των εγκαταστάσεων. Ωστόσο, όλα τα εργοστάσια και τα κτίρια φέρουν αυτό το είδος «ενσωματωμένης» ενέργειας και εκπομπών.
- Το **μπλε υδρογόνο**, όπως και το **γκρι**, βασίζεται στο φυσικό αέριο. Επειδή το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) δεν εισέρχεται (αμέσως) στην ατμόσφαιρα κατά την παραγωγή του μπλε υδρογόνου, αλλά αποθηκεύεται «υπόγεια», χαρακτηρίζεται ως κλιματικά ουδέτερο. Ωστόσο, ο χαρακτηρισμός είναι αμφιλεγόμενος, καθώς η χρήση φυσικού αερίου προκαλεί πρόσθετες εκπομπές. Επιπλέον, δεν υπάρχουν, μέχρι στιγμής, εγκαταστάσεις που να μπορούν να παράγουν μπλε υδρογόνο σε μεγάλη κλίμακα.
- Το **ροζ και το κίτρινο υδρογόνο**, όπως και το πράσινο, παράγονται μέσω ηλεκτρικής ενέργειας και ηλεκτρόλυσης. Η διαφορά έγκειται στην προέλευση αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας. Το **ροζ υδρογόνο** παράγεται από πυρηνική ενέργεια, ενώ το **κίτρινο** από την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου: ένα μείγμα ορυκτής, ανανεώσιμης και πυρηνικής ενέργειας.

- Ακόμα και αν το μεγαλύτερο μέρος του CO₂ συλλεγόταν και διοχετευόταν υπόγεια μετά την παραγωγή υδρογόνου, θα εξακολουθούσαν να υπάρχουν οι κλιματικά επιβλαβείς εκπομπές οι οποίες προκύπτουν κατά την εξόρυξη και τη μεταφορά του φυσικού αερίου, γνωστές ως «ανάντη εκπομπές».
- Το πρόβλημα είναι το μεθάνιο, το μεγαλύτερο συστατικό του φυσικού αερίου.
- Όταν το μεθάνιο εισέρχεται στην ατμόσφαιρα, είναι 28 φορές πιο επιβλαβές για το κλίμα από ό,τι το CO₂ σε διάρκεια εκατό ετών, ενώ σε διάστημα 20 ετών η επίδρασή του είναι 84 φορές μεγαλύτερη από εκείνη του CO₂.
- Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο πολλές περιβαλλοντικές οργανώσεις, μεταξύ άλλων, επικρίνουν το μπλε υδρογόνο.

- Πολλοί ειδικοί και μεγάλα τμήματα της βιομηχανίας υποστηρίζουν ότι το μπλε υδρογόνο είναι απαραίτητο ως ενδιάμεση λύση, έως ότου υπάρξει επαρκής ποσότητα πράσινου υδρογόνου, και ότι είναι ζωτικής σημασίας η κατασκευή εγκαταστάσεων υδρογόνου τώρα στη βιομηχανία χάλυβα για παράδειγμα.
- Διατείνονται ότι οι επενδυτικοί κύκλοι διαρκούν πολύ καιρό και ότι πολλές εγκαταστάσεις (παλιές, με λιθάνθρακα) βρίσκονται σήμερα στα πρόθυρα ενός νέου επενδυτικού κύκλου.
- Ως εκ τούτου, η στιγμή για επενδύσεις και ανάπτυξη της χρήσης υδρογόνου σε νεόδμητες εγκαταστάσεις είναι τώρα και, όταν καταστεί διαθέσιμο επαρκές πράσινο υδρογόνο, θα μπορούσε να γίνει η μετάβαση από το μπλε στο πράσινο.
- Ενώ η γερμανική κυβέρνηση αναφέρει στην επίσημη στρατηγική της για το υδρογόνο ότι θέλει να προωθήσει κυρίως το πράσινο υδρογόνο, η ΕΕ αφήνει ανοιχτή την πόρτα για το μπλε υδρογόνο.

Stefanie Groll. **10 πράγματα που πρέπει να ξέρετε για το υδρογόνο.** 31/1/2022

<https://gr.boell.org/el/node/6857>

Λευκό υδρογόνο:
Τι είναι και γιατί θεωρείται «ιερό δισκοπότηρο» για το κλίμα
30/10/2023

- Δύο επιστήμονες στη Γαλλία ανακάλυψαν ίσως το μεγαλύτερο κοίτασμα καθαρής πηγής ενέργειας που θα μπορούσε να αποδειχτεί σωτήρια στην προσπάθεια συγκράτησης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.
- Οι Ζακ Πιρονόν και Φιλίπ Ντε Ντονάτο, διευθυντές έρευνας στο Εθνικό Κέντρο Επιστημονικής Έρευνας της Γαλλίας, ανακάλυψαν ένα κοίτασμα μεταξύ 6 εκατ. – 250 εκατομμυρίων μετρικών τόνων λευκού υδρογόνου – φυσικού αέριου υδρογόνου.
- Προτείνουν μια βαθιά γεώτρηση (βάθους έως 3.000 μέτρων) για να αποδείξουμε πως η συγκέντρωση υδρογόνου μεγαλώνει σε μεγαλύτερο βάθος.
- Αν όντως έτσι συμβαίνει, θα επιβεβαιώσουν την παρουσία ενός ασυνήθιστα μεγάλου αποθέματος φυσικά παραγόμενου υδρογόνου, μεγαλύτερου από οποιοδήποτε έχει ανακαλυφθεί έως σήμερα, και θα μπορέσουν να κάνουν μια πρώτη ρεαλιστική εκτίμηση του μεγέθους του.

- Παρότι το υδρογόνο ως ενεργειακό μέσο δεν είναι κάτι νέο για την επιστήμη, το λευκό υδρογόνο είναι σχετικά καινούργιο.
- Το υδρογόνο παράγει νερό και καθόλου ρύπους κατά την καύση του, κάτι που το καθιστά μια φιλική στο περιβάλλον ενεργειακή λύση.
- Ωστόσο, έως πρότινος, οι επιστήμονες θεωρούσαν πως μαζικές ποσότητες υδρογόνου μπορούν να παραχθούν μόνο τεχνητά, σε εργαστήριο.
- Ο Τζέφρι Έλις, γεωχημικός στο Γεωλογικό Ινστιτούτο Ηνωμένων Πολιτειών (USGS) δηλώνει ότι «Αν με ρωτούσατε τέσσερα χρόνια πριν για το τι πίστευα για το φυσικό υδρογόνο, θα σας απαντούσα “α, δεν υπάρχει”».
- Το υδρογόνο βρίσκεται εκεί έξω, το ξέρουμε αυτό, αν και οι επιστήμονες δεν πίστευαν πως υπήρχε σε μεγάλες συγκεντρώσεις.
- Το 1987, τυχαία, ανακαλύφθηκε στο Μάλι ένα μεγάλο απόθεμα.
- Σήμερα, η παραγωγή της χώρας της δυτικής Αφρικής δεν ξεπερνά τους 5 τόνους ετησίως – ποσότητα που ωχριά σε σύγκριση με την παγκόσμια παραγωγή γκρίζου υδρογόνου που εκτιμάται σε 80 εκατομμύρια τόνους ετησίως.

- Το λευκό υδρογόνο αναφέρεται στο υδρογόνο που προκύπτει στη φύση και το «χρώμα» του υποδεικνύει τη φυσική προέλευσή του από τον φλοιό της Γης.
- Τα άλλα «χρώματα» που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό προέλευσης του υδρογόνου -το «πράσινο» που προέρχεται από την ηλεκτρόλυση, το «γκρι» που παράγεται από μεθάνιο, το «μαύρο» που παράγεται από άνθρακα- είναι παράγωγα εργαστηρίου.
- Ο γεωχημικός Βιάτσεσλαβ Ζγκόνικ δηλώνει ότι πλέον, η επιστημονική έρευνα έχει στρέψει κατά πολύ το ενδιαφέρον της στο λευκό υδρογόνο (που αποκαλείται και «φυσικό», «χρυσό» ή «γεωλογικό» υδρογόνο») καθώς θεωρείται το «ιερό δισκοπότηρο κατά της κλιματικής κρίσης που «θα συμβάλλει στην επιτάχυνση της διάσωσης του πλανήτη από τις επιπτώσεις της».

- Το υδρογόνο παράγει νερό μόνο κατά την καύση του, γι' αυτό αποτελεί μια πολύ ελκυστική λύση ως δυνητική καθαρή ενέργεια για την αεροπλοΐα, τη ναυτιλία και τη χαλυβουργία, βιομηχανίες δηλαδή με τεράστιες ενεργειακές ανάγκες.
- Όμως, παρότι το υδρογόνο είναι το στοιχείο με τη μεγαλύτερη αφθονία στον πλανήτη, υπάρχει μόνο σε συνδυασμό με άλλα μόρια.
- Αυτή τη στιγμή, το εμπορικό υδρογόνο παράγεται με μια ενεργοβόρα διαδικασία που τροφοδοτείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ορυκτά καύσιμα.
- Ωστόσο, το λευκό υδρογόνο δεν απαιτεί καμία από αυτές τις ενεργοβόρες διαδικασίες, γι' αυτό και προβάλλει ως η λύση του μέλλοντος.
- Επιπλέον, είναι και φθηνότερο καθώς η παραγωγή του εκτιμάται πως κοστίζει 1 δολάριο ανά κιλό – σε σύγκριση με τα 6 δολάρια ανά κιλό του πράσινου υδρογόνου.
- Αποθέματα λευκού υδρογόνου έχουν εντοπιστεί σε όλο τον κόσμο, κάποια τυχαία, άλλα μετά από σχετική αναζήτηση – σε ΗΠΑ, ανατολική Ευρώπη, Ρωσία, Αυστραλία, Ομάν, καθώς και σε Μάλι και Γαλλία.
- Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Έλις, ενδέχεται να υπάρχουν δεκάδες δισεκατομμύρια τόνοι λευκού υδρογόνου στον κόσμο – απείρως περισσότερα από τα 100 εκατομμύρια τόνων υδρογόνου που παράγονται σήμερα ετησίως, και από τα 500 εκατομμύρια τόνων που προβλέπεται να παράγονται ετησίως μέχρι το 2050, σύμφωνα με τον ίδιο.

Πράσινο υδρογόνο: Η καθαρή ενεργειακή λύση του μέλλοντος

Paul Hackett. Euronews. 29/1/2021

<https://gr.euronews.com/business/2021/01/29/prasino-idrogono-i-kathari-energeiaki-lisi-tou-mellontos>

- Το πράσινο υδρογόνο παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και θα οδηγήσει την Ευρώπη στην απεξάρτηση από τον άνθρακα
- Εάν θέλουμε να έχουμε μηδενικές εκπομπές άνθρακα μέχρι το 2050, όλοι γνωρίζουμε ότι η Ευρώπη πρέπει να αλλάξει δραστικά τον τρόπο που παράγει ενέργεια.
- Αυτή την εβδομάδα στο Business Planet εστιάζουμε στη δύναμη του υδρογόνου.
- Θεωρείτο εδώ και πολύ καιρό μία από τις λύσεις στο ενεργειακό μας πρόβλημα, αλλά παρά τις φήμες, δεν κατάφερε να ανταποκριθεί στις υποσχέσεις που έχει δώσει.
- Αυτό όμως αλλάζει τώρα.
- Είμαστε στην Γερμανία για να δούμε πώς η τεχνολογία μιας εταιρίας μπορεί να βάλει την Ευρώπη στον δρόμο για ένα μέλλον με ελάχιστη χρήση άνθρακα.
- Για δεκαετίες, πολλοί υποστήριζαν ότι το υδρογόνο θα είναι το καύσιμο του μέλλοντος.
- Η γερμανική εταιρία Hydrogenious πιστεύει ακράδαντα ότι έχει έρθει η ώρα του.
- Η τεχνολογία που έχει αναπτύξει, μπορεί να βοηθήσει στην μεταφορά του υδρογόνου με χαμηλό κόστος.

- Αυτό είναι πολύ σημαντικό για το πράσινο υδρογόνο, το υδρογόνο δηλαδή που δεν έχει παραχθεί από ορυκτά καύσιμα.
- Η τεχνολογία αυτή θα μπορέσει να συνδέσει μεταξύ τους, τόπους παραγωγής, όπως είναι για παράδειγμα τα αιολικά πάρκα και τα πάρκα ηλιακής ενέργειας.
- Έτσι το υδρογόνο θα φτάσει εκεί που είναι περισσότερο αναγκαίο:
- «Η τεχνολογία μας επιτρέπει την ασφαλή και αποτελεσματική αποθήκευση υδρογόνου σε ένα μεταφορικό μέσο υγρού φορτίου που είναι πλήρως συμβατό με τις σημερινές υποδομές για υγρά καύσιμα.
- Όσον αφορά τη δυναμική του, θέλουμε να διευκολύνουμε την εφαρμογή μεγάλης κλίμακας υποδομών πράσινου υδρογόνου σε όλη την Ευρώπη, με μεγάλο στόχο και προσδοκία την απανθρακοποίηση της Ευρώπης, την απανθρακοποίηση των μεταφορών και της βιομηχανίας.
- Θέλουμε συνεπώς να συμβάλλουμε με τις προσπάθειές μας στον αγώνα ενάντια στην κλιματική αλλαγή» (Ντάνιελ Τάικμαν, Ιδρυτής και Διευθύνων Σύμβουλος της Hydrogenious).

- Όσον αφορά την χρήση του υδρογόνου, πόσο σημαντικός είναι ο ρόλος της Ευρώπης στην ανάπτυξη του σωστού οικοσυστήματος;
 - «Ο ρόλος της Ευρώπης είναι καίριος.
 - Πρέπει να δούμε το υδρογόνο σε ένα ευρύτερο πλαίσιο.
 - Δεν είναι κάτι που μπορείς να εφαρμόσεις σε εθνικό επίπεδο.
 - Συνεπώς πιστεύω ότι οι μηχανισμοί χρηματοδότησης που έχει εισάγει η Ε.Ε. είναι ο,τι χρειάζεται για να γίνει πραγματικότητα το πράσινο υδρογόνο» (Ντάνιελ Τάικμαν, Ιδρυτής και Διευθύνων Σύμβουλος της Hydrogenious).
-
- Σήμερα, το υδρογόνο προέρχεται βασικά από τα ορυκτά καύσιμα.
 - Μπορεί να παραχθεί όμως από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μέσω της ηλεκτρόλυσης.
 - Η Ε.Ε. έχει θέσει ως ύψιστη προτεραιότητα να παράγει 13 φορές περισσότερο καθαρό υδρογόνο το 2024 σε σχέση με σήμερα και 130 φορές περισσότερο μέχρι το 2030.
 - Γι' αυτό το λόγο ίδρυσε την Ευρωπαϊκή Συμμαχία για το Καθαρό Υδρογόνο.
 - Η εταιρία Hydrogenious είναι ήδη μέλος της.
 - Η Συμμαχία είναι ανοικτή σε όλους τους δημόσιους οργανισμούς αλλά και τις ιδιωτικές εταιρίες.
 - Θέλει να φέρει κοντά το δημόσιο και τους παίκτες του κλάδου.

Οχήματα κυψελών καυσίμου



- Οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που ενώνουν το H_2 και το O_2 και παράγουν μόνο νερό, θερμότητα και ηλεκτρισμό.
- Τα ΟΚΚ βρίσκονται τώρα σε επιδεικτικό στάδιο. Ερευνητικά προγράμματα εκτελούνται ώστε να γίνουν τα ΟΚΚ εμπορικά.
- Οι κυψέλες καυσίμου που τροφοδοτούνται με H_2 υπόσχονται ενέργεια με μηδενικές εκπομπές CO_2
- Η οικονομική βιωσιμότητα των ΟΚΚ εξαρτάται από τη μείωση του κόστους παραγωγής των κυψελών καυσίμου και από την ανάπτυξη εμπορικά βιώσιμης υποδομής ανεφοδιασμού

Κινητήρες εσωτερικής καύσης με υδρογόνο

- Το υδρογόνο μπορεί να τροφοδοτήσει Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) οι οποίες δεν παράγουν σχεδόν καθόλου αέριους ρύπους (εκτός από ελάχιστες ποσότητες που προκύπτουν από τα λιπαντικά)
- Οι ΜΕΚ H_2 μπορούν να γίνουν μια γέφυρα προς ένα μέλλον με κυψέλες καυσίμου
- Οι ΜΕΚ H_2 δεν είναι τόσο αποδοτικές όσο οι κυψέλες καυσίμου



Το μέλλον της αυτοκίνησης είναι η ηλεκτροκίνηση με κυψέλες υδρογόνου

Bosch 13/10/2020

<https://www.bosch.gr/news-and-stories/fuel-cells/>

- Για την Bosch το μέλλον της αυτοκίνησης είναι η ηλεκτρική ενέργεια, πόσο μάλλον, όταν η εταιρεία θεωρεί την ηλεκτροκίνηση σημαντικό παράγοντα για την μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα.
- Κατά πόσο όμως είναι βιώσιμο το μοντέλο της ηλεκτροκίνησης για οχήματα βαρέως τύπου που έχουν να διανύσουν φορτωμένα μεγάλες αποστάσεις, χρησιμοποιώντας μόνο την ηλεκτρική ενέργεια;
- Η αλήθεια είναι πως δεδομένου του βάρους της μπαταρίας, των μεγάλων χρόνων φόρτισης και του περιορισμένου εύρους της σημερινής τεχνολογίας, οι ηλεκτρικοί κινητήρες δεν αποτελούν και την πρώτη επιλογή για τα βαρέα οχήματα.
- Γι' αυτό η Bosch αναπτύσσει ένα σύστημα κίνησης κυψελών καυσίμου υδρογόνου με έμφαση στα φορτηγά, το οποίο σχεδιάζει να βγάλει στη παραγωγή το 2022-2023.
- Με το συγκεκριμένο σύστημα κινητήρα κυψελών καυσίμου, ακόμη και φορτηγά 40 τόνων θα μπορούν να διανύσουν πάνω από 1.000 χλμ. σε ηλεκτρική λειτουργία.
- Το νέο αυτό σύστημα μετάδοσης κίνησης αναμένεται να καθιερωθεί σταδιακά και στα επιβατικά οχήματα.
- Ποια είναι όμως τα οφέλη των κινητήρων με κυψέλες καυσίμου και του υδρογόνου;

1) Η κλιματική ουδετερότητα

- Σε μια κυψέλη καυσίμου, το υδρογόνο (H_2) αντιδρά με το οξυγόνο (O_2) της ατμόσφαιρας παράγοντας ρεύμα και νερό.
- Στο μεταξύ, η παραγωγή του υδρογόνου (H_2) γίνεται, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της ηλεκτρόλυσης, στην οποία το νερό διαχωρίζεται σε υδρογόνο και οξυγόνο με τη βοήθεια ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές καθιστά το σύστημα κινητήρα κυψελών καυσίμου κλιματικά ουδέτερο.
- Το μόνο που χρειάζονται τα οχήματα κυψελών καυσίμου εκτός από τη δεξαμενή υδρογόνου τους είναι μια πολύ μικρότερη μπαταρία για αποθήκευση ενδιάμεσου ρύθμισης.
- Αυτό μειώνει σημαντικά το αποτύπωμα άνθρακα στην παραγωγή.

2) Πιθανές εφαρμογές

- Το υδρογόνο έχει υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Ένα κιλό υδρογόνου περιέχει τόση ενέργεια όσο 3,3 λίτρα ντίζελ.
- Ένα επιβατικό αυτοκίνητο για να ταξιδέψει 100 χιλιόμετρα χρειάζεται μόνο 1 κιλό ενώ ένα φορτηγό 40 τόνων χρειάζεται 7 κιλά.
- Στο έργο H2 Haul που χρηματοδοτείται από την ΕΕ, η Bosch συνεργάζεται επί του παρόντος και με άλλες εταιρείες προκειμένου να κατασκευάσει και να θέσει σε κυκλοφορία έναν μικρό στόλο φορτηγών με κινητήρες κυψελών καυσίμου.
- Παράλληλα με τις εφαρμογές στην κινητικότητα, η Bosch αναπτύσσει και μια τεχνολογία κυψελών καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC) για σταθερές εφαρμογές – από σταθμούς παραγωγής ενέργειας στις πόλεις, μέχρι σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και κέντρα δεδομένων.

3) Αποδοτικότητα

- Τα οχήματα κυψελών καυσίμου έχουν περίπου κατά ένα τέταρτο υψηλότερη απόδοση από τα οχήματα που διαθέτουν κινητήρες εσωτερικής καύσης.
- Ανακτούν ενέργεια από το φρενάρισμα, την οποία αποθηκεύουν απευθείας και την χρησιμοποιούν για κίνηση, αυξάνοντας περαιτέρω την απόδοσή τους.
- Δεδομένου ότι η παραγωγή ενέργειας και η ζήτηση ενέργειας δεν συμπίπτουν πάντα χρονικά και με βάση την τοποθεσία-χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτό της ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά και ηλιακά εργοστάσια που παραμένει συχνά αχρησιμοποίητη λόγω του ότι δεν μπορεί να βρει καταναλωτή και δεν μπορεί να αποθηκευτεί, το υδρογόνο έρχεται να δώσει τη λύση.
- Το πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του με αποκεντρωμένο τρόπο, έτοιμο για ευέλικτη αποθήκευση και μεταφορά.

4) Κόστη

- Το κόστος του πράσινου υδρογόνου θα μειωθεί σημαντικά εφόσον επεκταθεί η παραγωγή του και μειωθεί παράλληλα και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Το Συμβούλιο Υδρογόνου, μια ένωση που αριθμεί ως μέλη περισσότερες από 90 διεθνείς εταιρείες, αναμένει ότι μέσα στα επόμενα δέκα χρόνια το κόστος για πολλές εφαρμογές υδρογόνου θα μειωθεί κατά το ήμισυ, καθιστώντας το ανταγωνιστικό και με άλλες τεχνολογίες.
- Η Bosch συνεργάζεται επί του παρόντος με την start-up εταιρία Powercell για την ανάπτυξη μίας στοιβάδας κυψέλης καυσίμου.
- Στόχος της είναι η κατασκευή μιας λύσης υψηλής απόδοσης με χαμηλό κόστος.

5) Υποδομές

- Το σημερινό δίκτυο σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου δεν είναι επαρκές. Πάραυτα υπάρχουν αυτή τη στιγμή 180 σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου στην Ευρώπη που μπορούν να καλύψουν ορισμένες σημαντικές διαδρομές μεταφοράς.
- Εταιρείες σε πολλές χώρες συνεργάζονται για την επέκταση του δικτύου και συχνά υποστηρίζονται από κρατικές επιδοτήσεις.
- Στη Γερμανία, οι πολιτικοί έχουν αναγνωρίσει τον σημαντικό ρόλο του υδρογόνου στην ανάπτυξη της οικονομίας και το έχουν ενσωματώσει στην Εθνική Στρατηγική Υδρογόνου.
- Για παράδειγμα, η κοινοπραξία H2 Mobility θα κατασκευάσει περίπου 100 πρατήρια στη Γερμανία έως τα τέλη του 2020 ενώ το έργο H2Haul, που χρηματοδοτείται από την ΕΕ, λειτουργεί όχι μόνο σε φορτηγά αλλά και στους σταθμούς ανεφοδιασμού που απαιτούνται για τις προγραμματισμένες διαδρομές του.
- Η Ιαπωνία, η Κίνα και η Νότια Κορέα διαθέτουν επίσης ολοκληρωμένα προγράμματα υποστήριξης.

6) Ασφάλεια

- Η χρήση του αερίου υδρογόνου σε οχήματα είναι ασφαλής και δεν είναι πιο επικίνδυνη από άλλα καύσιμα ή μπαταρίες αυτοκινήτων.
- Οι δεξαμενές υδρογόνου δεν ενέχουν αυξημένο κίνδυνο έκρηξης. Είναι αλήθεια ότι το H_2 καίγεται σε συνδυασμό με οξυγόνο και ότι ένα μείγμα των δύο πέρα από μια συγκεκριμένη αναλογία είναι εκρηκτικό.
- Όμως, το υδρογόνο είναι περίπου 14 φορές ελαφρύτερο από τον αέρα και συνεπώς εξαιρετικά πτητικό.
- Για παράδειγμα, οποιοδήποτε H_2 που διαφεύγει από τη δεξαμενή του οχήματος θα εξατμιστεί γρηγορότερα, πριν κάνει αντίδραση με το οξυγόνο του περιβάλλοντος.
- Σε μια δοκιμή πυρκαγιάς που πραγματοποιήθηκε σε αυτοκίνητο κυψελών καυσίμου από Αμερικανούς ερευνητές το 2003, υπήρξε φλόγα αλλά σβήστηκε γρήγορα με το όχημα να παραμένει σε μεγάλο βαθμό άθικτο.

7) Συγχρονισμός

- Η παραγωγή υδρογόνου είναι μια αποδεδειγμένη και τεχνολογικά απλή διαδικασία. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αυξηθεί γρήγορα για να καλύψει ενδεχομένως υψηλότερη ζήτηση.
- Επιπλέον, οι κυψέλες καυσίμου έχουν πλέον φτάσει στην απαραίτητη τεχνολογική ωριμότητα για την εμπορευματοποίησή τους και την ευρεία χρήση τους.
- Σύμφωνα με το Συμβούλιο Υδρογόνου, η οικονομία του υδρογόνου μπορεί να γίνει ανταγωνιστική τα επόμενα δέκα χρόνια, με την προϋπόθεση να υπάρχουν επαρκείς επενδύσεις και πολιτική βούληση.

Η Hyundai αναπτύσσει την τεχνολογία των κυψελών καυσίμου

28/2/2023

https://www.energymag.gr/ilektrokinisi/ilektriko-aytokinito/62462_i-hyundai-anaptysssei-tin-tehnologia-ton-kypselon-kaysimoy

- Τα αυτοκίνητα που εξοπλίζονται με συστοιχίες κυψελών καυσίμου είναι ηλεκτροκίνητα οχήματα που παράγουν τη δική τους ηλεκτρική ενέργεια από το οξυγόνο και το υδρογόνο.
- Οι κυψέλες καυσίμου (Fuel Cell Electric) είναι μια καλή επιλογή για την δραστική μείωση των επικίνδυνων ρύπων.
- Επίσης, αυτή η καινοτόμος τεχνολογία προσφέρει όλα τα πλεονεκτήματα ενός ηλεκτρικού κινητήριου συνόλου.
- Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο που ενισχύει την θέση αυτής της τεχνολογίας είναι ο γρήγορος ανεφοδιασμός στα σημεία που παρέχουν υδρογόνο.
- Εκτός από το νερό, τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCEV) έχουν μηδενικές εκπομπές ρύπων, ενώ κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους βελτιώνουν ακόμα και την ποιότητα του αέρα.
- Επειδή η συστοιχία κυψέλης καυσίμου απαιτεί πολύ καθαρό αέρα, το ειδικό φίλτρο αφαιρεί τα μικροσωματίδια και αποβάλλει τον περισσευούμενο αέρα, αφήνοντας στο εξωτερικό περιβάλλον πιο καθαρό από πριν.

- Όταν το υδρογόνο που είναι αποθηκευμένο στα ρεζερβουάρ εισέρχεται στη συστοιχία κυψέλης καυσίμου, διασπάται σε πρωτόνια και ηλεκτρόνια.
- Η ροή ηλεκτρονίων που δημιουργείται στην κυψέλη καυσίμου παράγει ηλεκτρισμό που κινεί τον ηλεκτροκινητήρα και τα πρωτόνια αντιδρούν με μόρια οξυγόνου από τον αέρα, παράγοντας θερμότητα και νερό, ως μοναδική εκπομπή.
- Ένα σύστημα κυψελών καυσίμου που παράγει την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση ονομάζεται και 'τριτογενής μπαταρία'.
- Για μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική, το σύστημα χρειάζεται τέσσερα στοιχεία: συστοιχία κυψέλης καυσίμου, σύστημα επεξεργασίας καυσίμου, σύστημα επεξεργασίας αέρα και σύστημα θερμικής διαχείρισης.
- Στη συστοιχία κυψέλης καυσίμου, πραγματοποιείται η χημική αντίδραση μεταξύ του αποθηκευμένου υδρογόνου και του οξυγόνου της ατμόσφαιρας.
- Οι συστοιχίες αποτελούνται από εκατοντάδες κυψέλες, ενώ κάθε κυψέλη αποτελείται από μία μεμβράνη ηλεκτρολύτη, διαχωριστή και καταλύτη, ένα ηλεκτρόδιο καυσίμου και ένα ηλεκτρόδιο αέρα.

- Στο σύστημα επεξεργασίας καυσίμου, το υδρογόνο μεταφέρεται με ασφάλεια από τα ρεζερβουάρ υψηλής πίεσης στη συστοιχία κυψέλης καυσίμου χαμηλής πίεσης.
- Στο σύστημα επεξεργασίας αέρα, το οξυγόνο που είναι απαραίτητο για την αντίδραση με το υδρογόνο αντλείται από την ατμόσφαιρα.
- Για να διατηρηθεί η συστοιχία της κυψέλης καυσίμου καθαρή από ρύπους, ο εισερχόμενος αέρα περνά από ένα σύστημα καθαρισμού που αφαιρεί τα σωματίδια.
- Γι' αυτό, τα FCEVs αφήνουν καθαρότερο αέρα πίσω τους.
- Στο σύστημα θερμικής διαχείρισης, οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να περιορίσουν την απόδοση και τη διάρκεια ζωής της συστοιχίας κυψέλης καυσίμου.
- Το σύστημα θερμικής διαχείρισης εμποδίζει την έκθεση της μεμβράνης του ηλεκτρολύτη σε ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες.

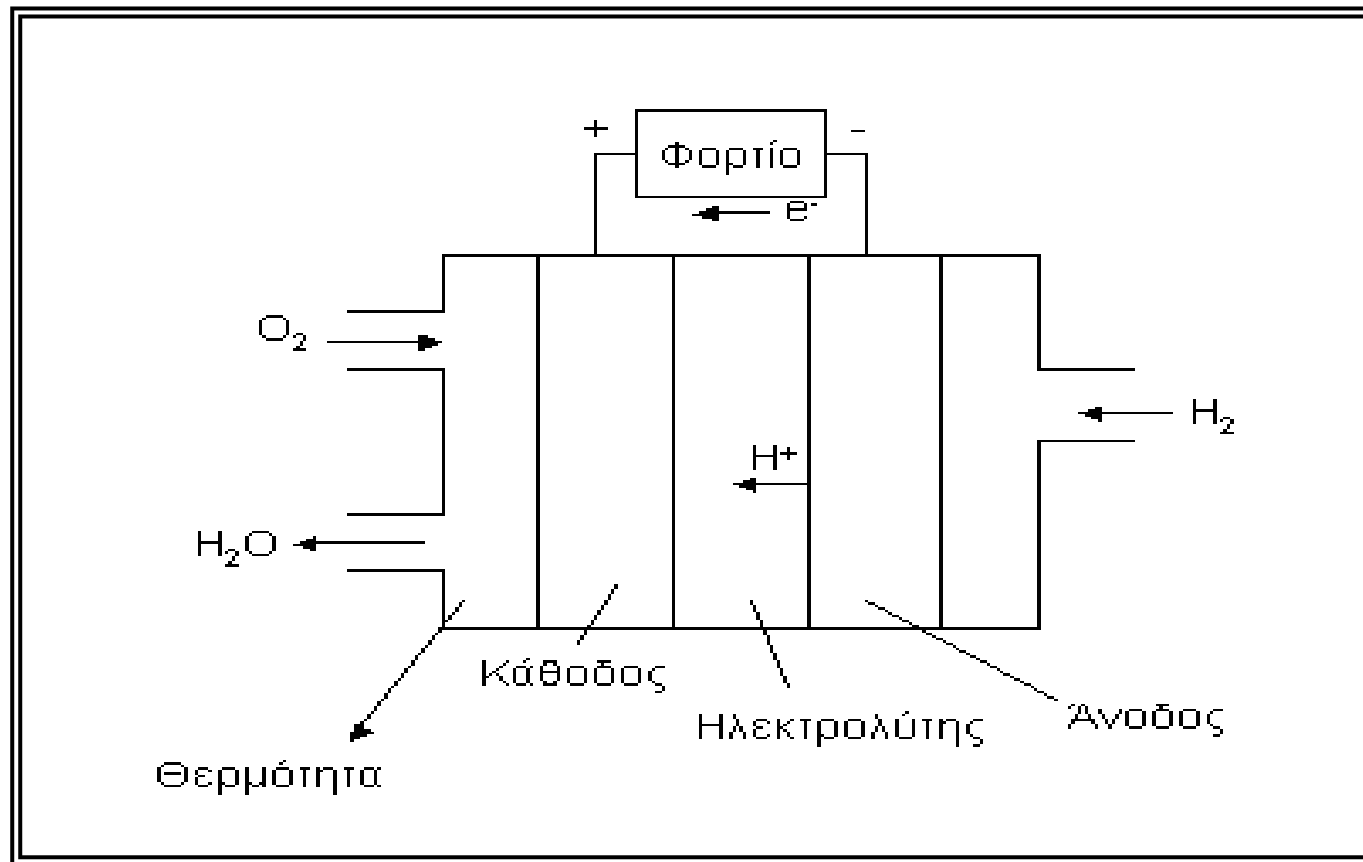
- Τα ρεζερβουάρ υδρογόνου κατασκευάζονται από πλαστικά ενισχυμένα με ανθρακονήματα και η εσωτερική επιφάνεια αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα πολυαμιδίου (νάιλον).
 - Οι μηχανικοί κατέβαλαν μεγάλη προσπάθεια για να δημιουργήσουν αξιόπιστα ρεζερβουάρ αποθήκευσης υδρογόνου υψηλής πίεσης.
 - Με σχολαστικές δοκιμές, πέτυχαν μέγιστη ασφάλεια, αναφέρει η επίσημη ανακοίνωση της Hyundai, που ειδικεύεται στις κυψέλες καυσίμου.
-
- Ένας ηλεκτροκινητήρας μετατρέπει στη συνέχεια την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στις συστοιχίες κυψελών καυσίμου και αποθηκεύεται στη μπαταρία υψηλής τάσης σε κινητική ενέργεια.
 - Όπως στα υβριδικά και στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, ένα σύστημα αναγεννητικής πέδησης επιστρέφει την ηλεκτρική ενέργεια στη μπαταρία κατά το φρενάρισμα, βελτιώνοντας την κατανάλωση καυσίμου.

- Η διαδικασία του ανεφοδιασμού είναι απλή, αντίστοιχη με ενός παραδοσιακού βενζινοκίνητου οχήματος και ολοκληρώνεται σε 3-5 λεπτά.
- Όλο και περισσότεροι σταθμοί ανεφοδιασμού εγκαθίστανται κάθε χρόνο και η Hyundai υποστηρίζει μία πανευρωπαϊκή πρωτοβουλία για την ανάπτυξη αυτού του δικτύου.
- Με χρόνο ανεφοδιασμού μόλις 5 λεπτών και αυτονομία 666 χλμ. (WLTP), το Hyundai Nexo προσφέρει ένα κινητήριο σύνολο πρακτικό και ταυτόχρονα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Το υδρογόνο είναι ουσιαστικά μία ανεξάντλητη ουσία αφού περιλαμβάνεται στο 90% και πλέον των μορίων του σύμπαντος.
- Η έκθεση της McKinsey 'Hydrogen meets digital' (Το υδρογόνο συναντά την ψηφιακή εποχή) προέβλεψε ότι γύρω στο 2050, περίπου το 18% της ενέργειας που θα χρησιμοποιείται στον κόσμο θα βασίζεται στο υδρογόνο.
- Αυτό περιλαμβάνει τα μοντέλα FCEV, αλλά και την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, τα συστήματα ψύξης/θέρμανσης των κτιρίων, και τη λειτουργία βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ - FUEL CELL

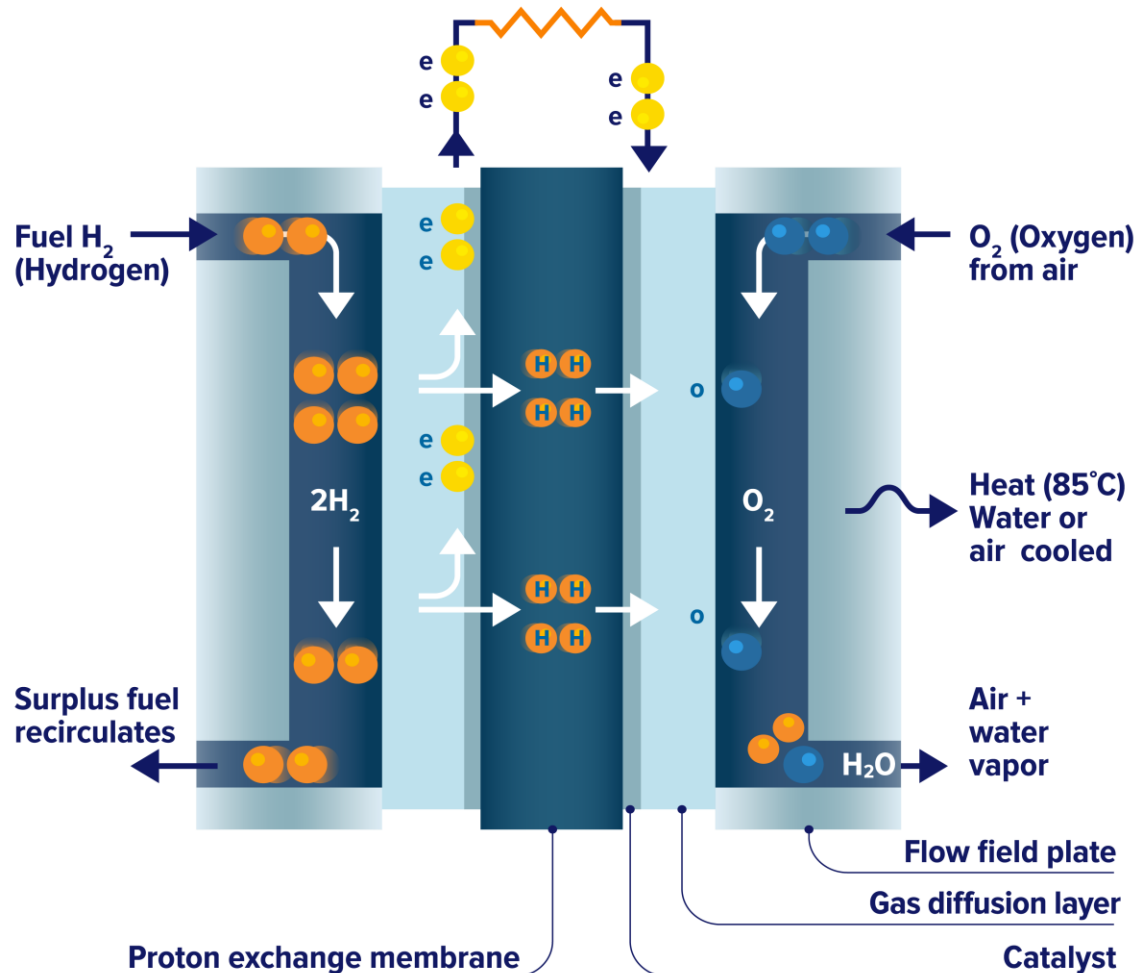
- Η κυψέλη καυσίμου (Fuel Cell) είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή που μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρισμό χωρίς τη μεσολάβηση της καύσης.
- Στη βασική της μορφή, λειτουργεί ως εξής: υδρογόνο και οξυγόνο αντιδρούν με την παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσεται ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που προκαλεί ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο).
- Καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα.

FUEL CELL



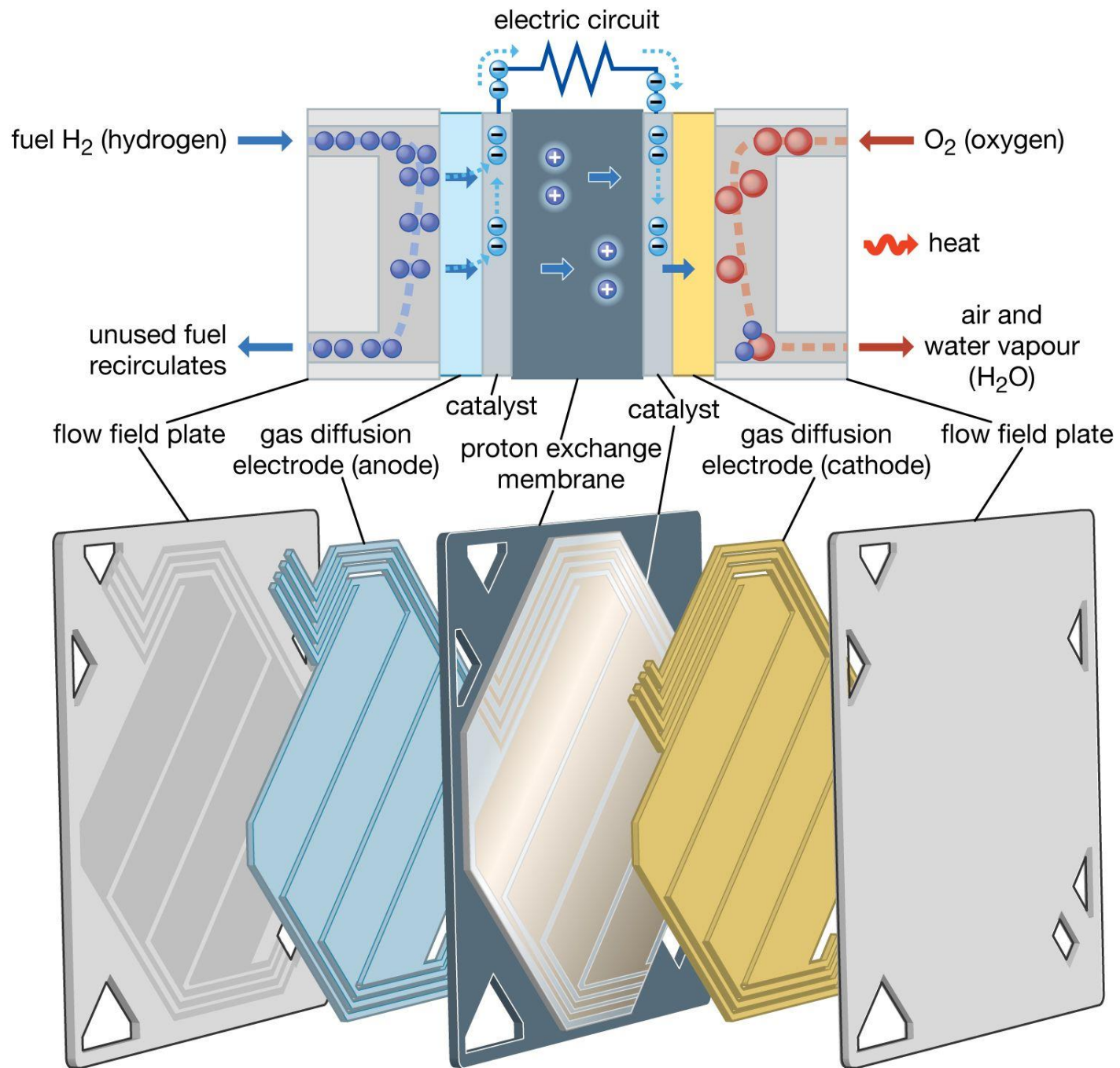
A fuel cell

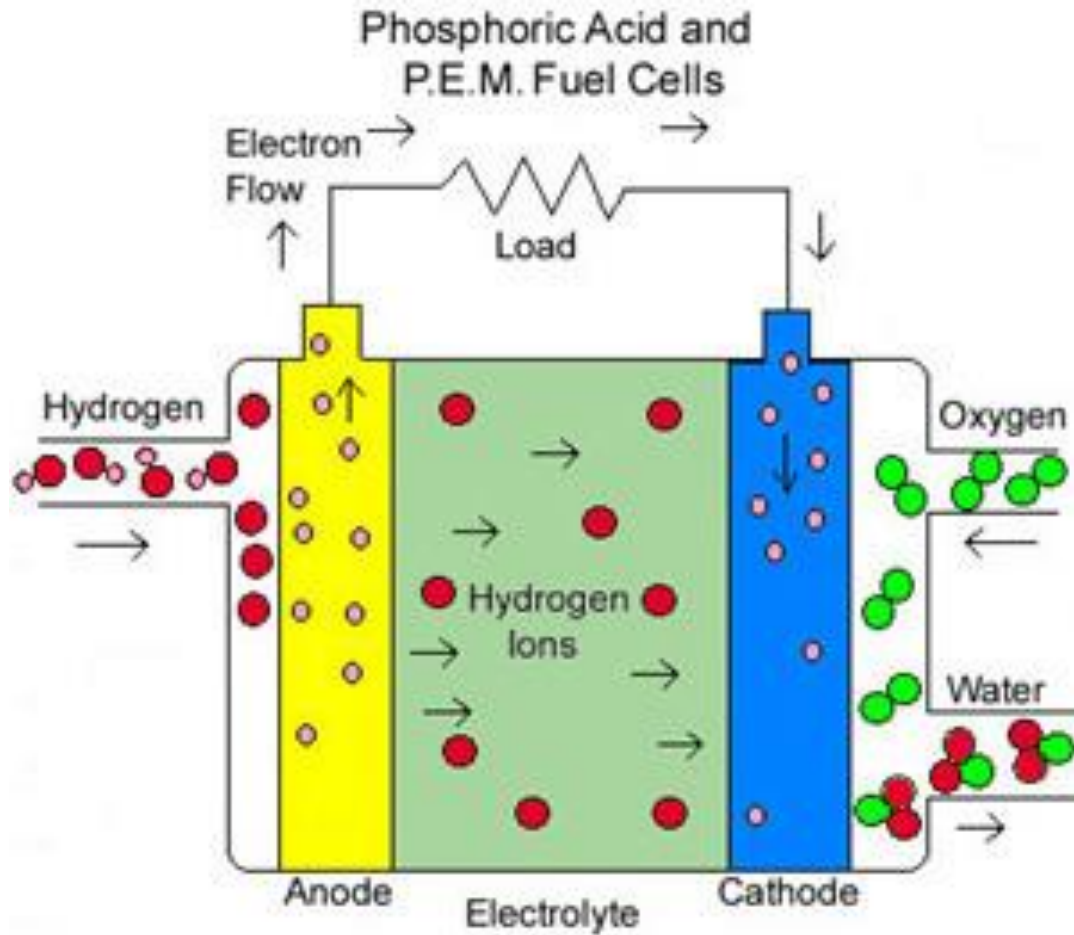
is a device that converts chemical potential energy (energy stored in molecular bonds) into electrical energy.



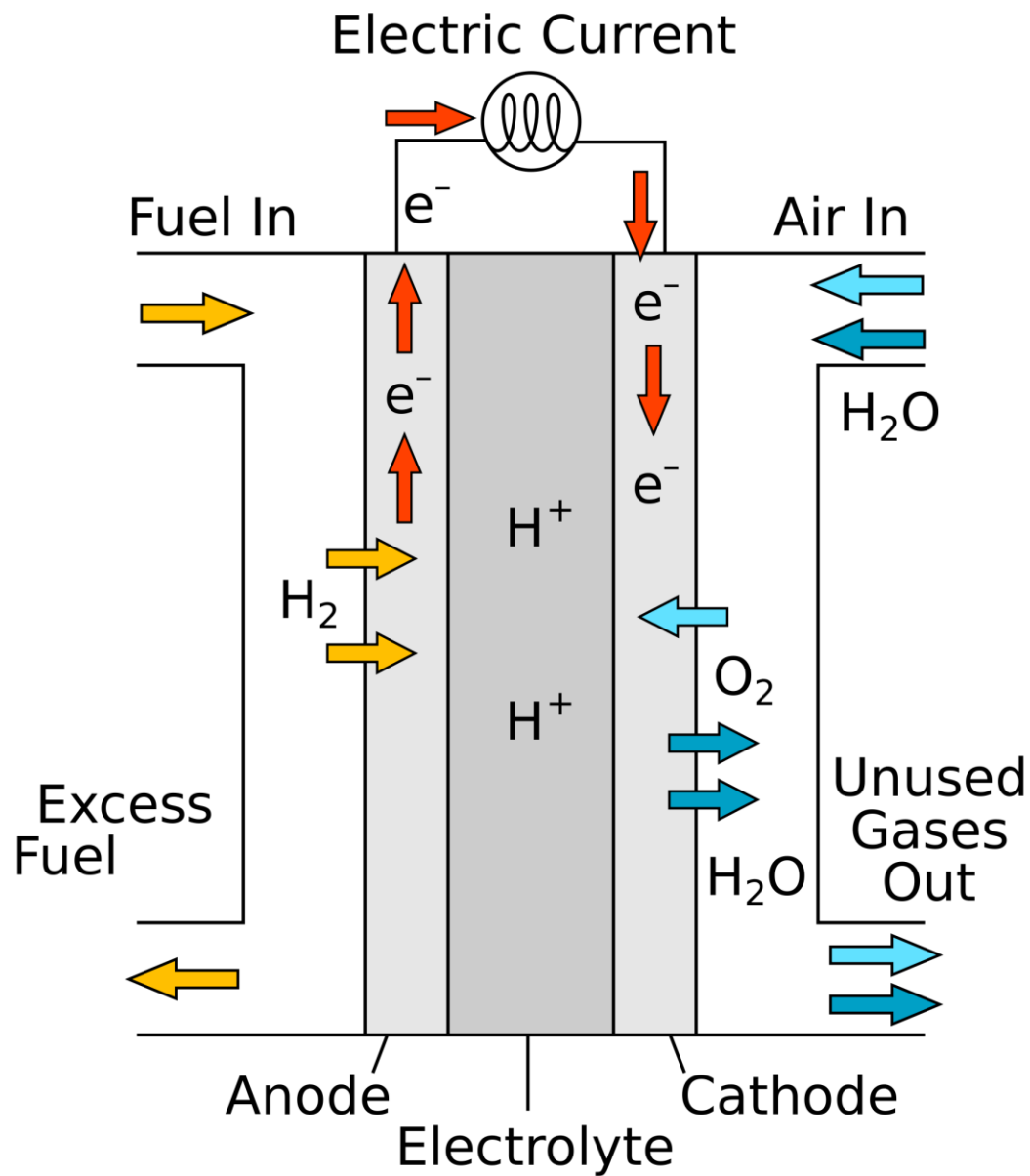
SOURCE: Wikipedia Membrane electrode assembly

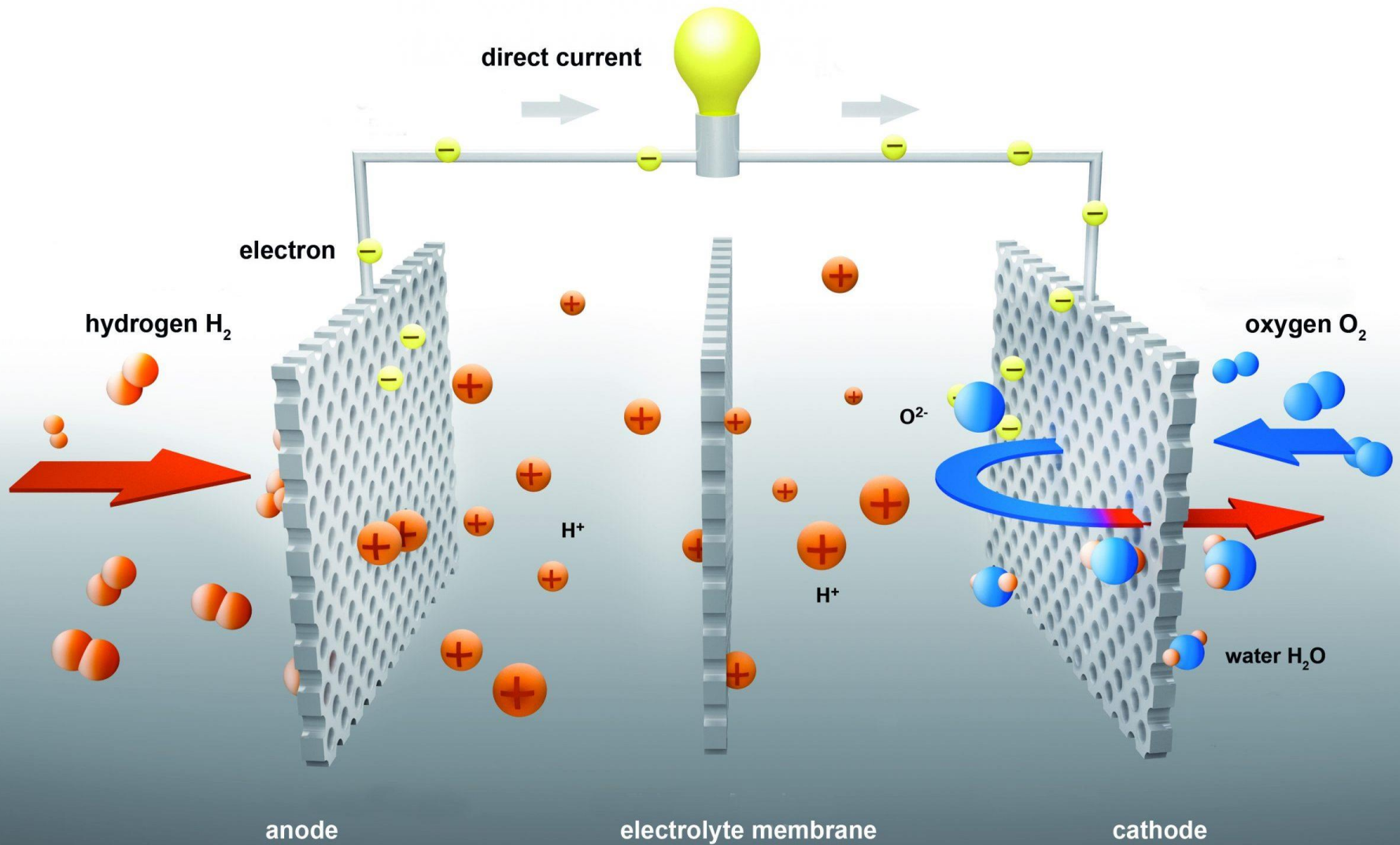


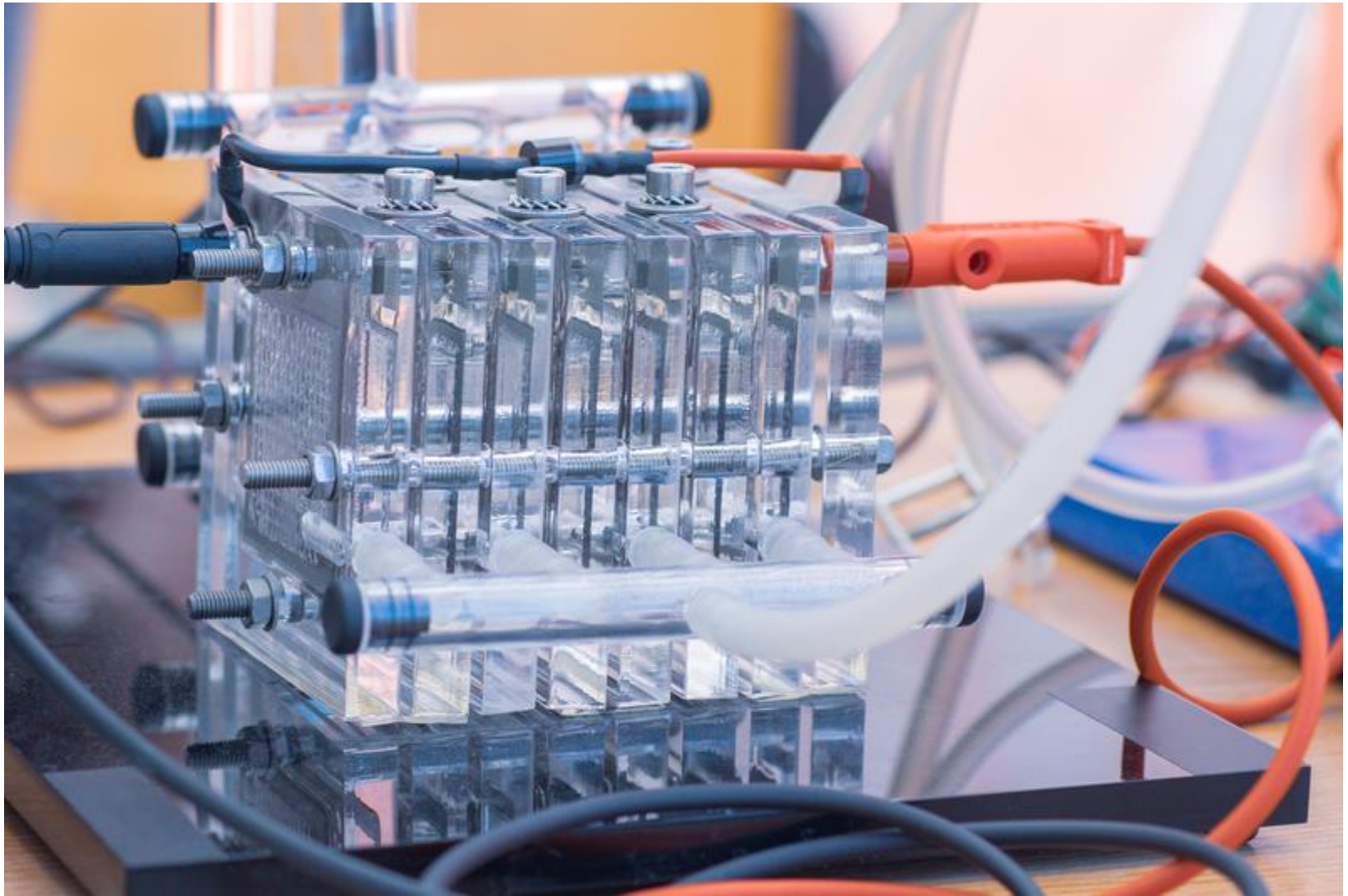




<http://americanhistory.si.edu/fuelcells/images/pafcpem4.jpg>





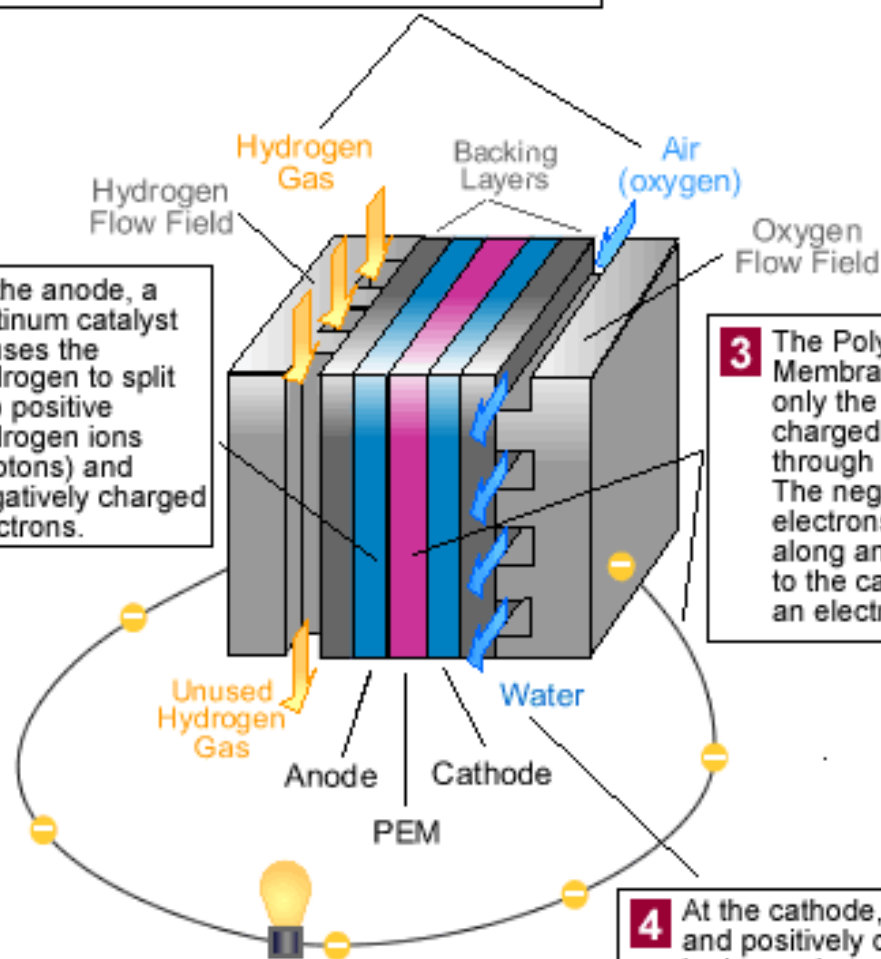


1 Hydrogen fuel is channeled through field flow plates to the anode on one side of the fuel cell, while oxygen from the air is channeled to the cathode on the other side of the cell.

2 At the anode, a platinum catalyst causes the hydrogen to split into positive hydrogen ions (protons) and negatively charged electrons.

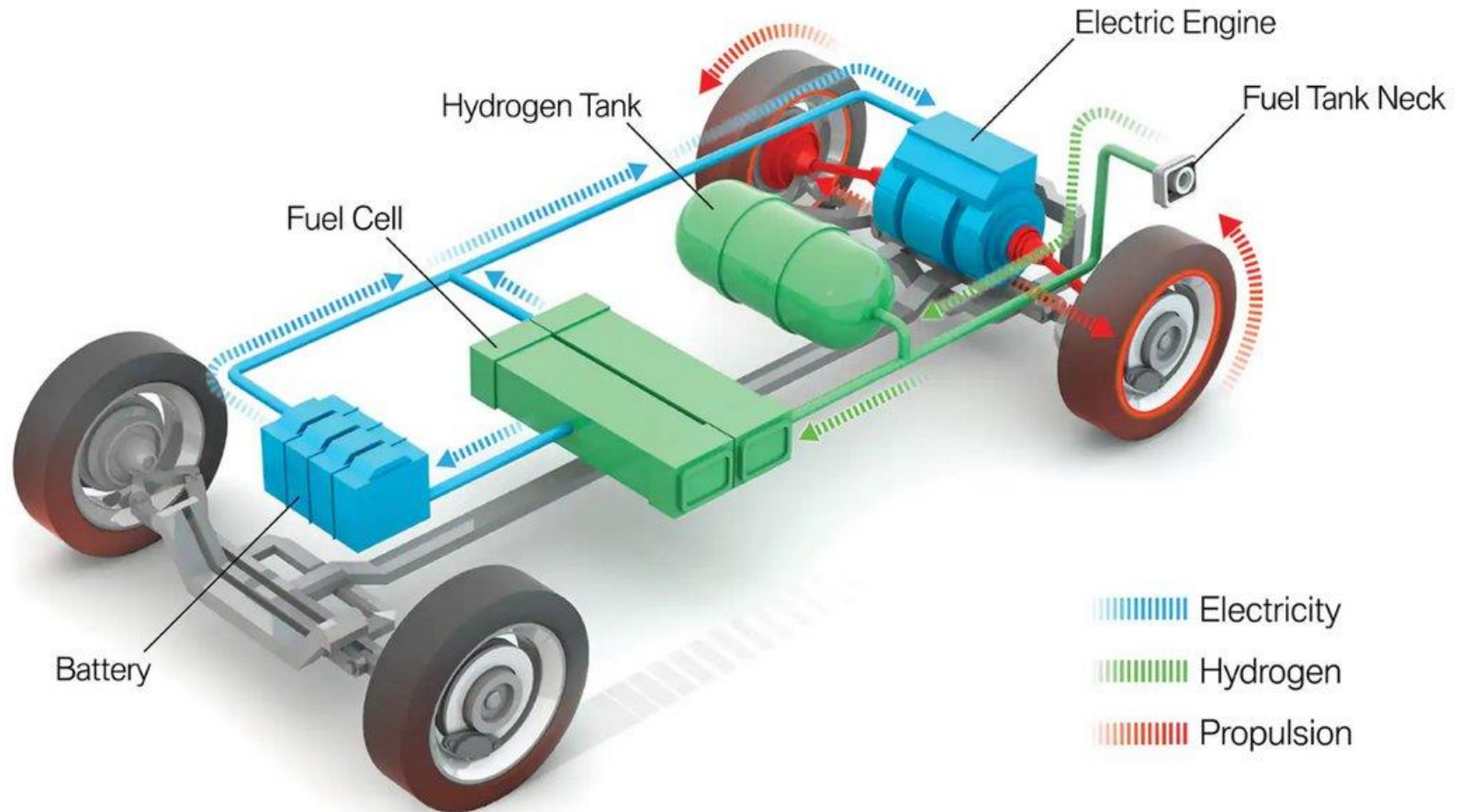
3 The Polymer Electrolyte Membrane (PEM) allows only the positively charged ions to pass through it to the cathode. The negatively charged electrons must travel along an external circuit to the cathode, creating an electrical current.

4 At the cathode, the electrons and positively charged hydrogen ions combine with oxygen to form water, which flows out of the cell.



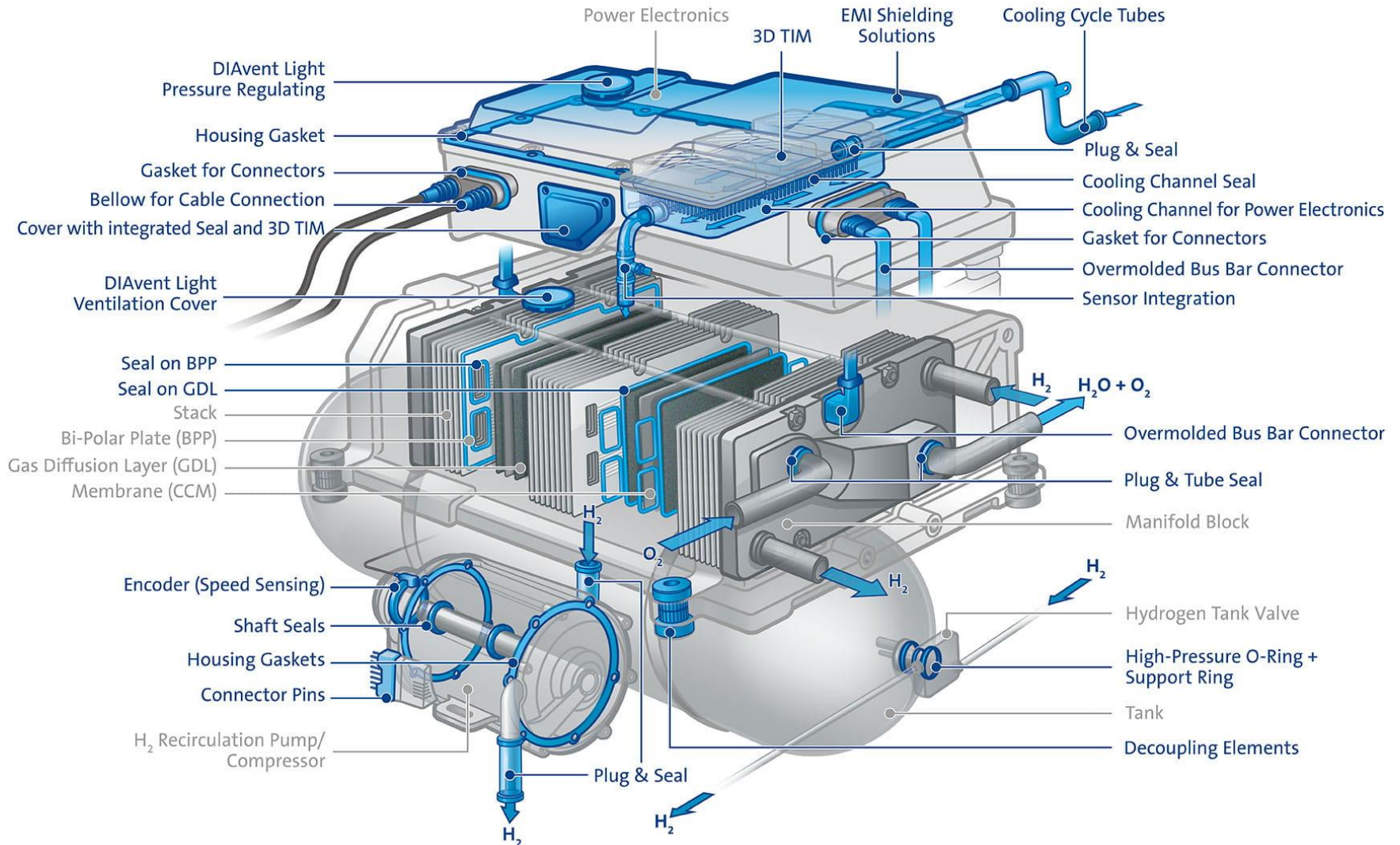
- Το απαιτούμενο υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα και συνήθως μεθάνιο (CH_4) που αποτελεί το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου.
- Ορισμένοι τύποι κυψελών μπορούν να λειτουργήσουν επίσης και με μονοξείδιο του άνθρακα ή υδρογονάνθρακες.
- Επιδεικτικές μονάδες ισχύος έχουν κατασκευασθεί σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες, στις Η.Π.Α. και στην Ιαπωνία.
- Η συνήθης θερμοκρασία λειτουργίας τους (περίπου $200\text{ }^{\circ}\text{C}$) περιορίζει τη θερμοκρασία της ανακτώμενης θερμότητας.
- Υπάρχουν σήμερα τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής με θερμότητα που είναι διαθέσιμη σε θερμοκρασία $80\text{-}90\text{ }^{\circ}\text{C}$, αλλά και πειραματικές διατάξεις υψηλότερων θερμοκρασιών.

Υδρογόνο και κυψέλες καυσίμου: Η αρχή λειτουργίας



Hydrogen Fuel Cell Cars

Fuel Cell Stack Components and Housings



Είδη κυψελών καυσίμου

- **Κυψέλη καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEM)**
- Αυτές οι κυψέλες (κυψέλες καυσίμου ανταλλαγής πρωτονίων, proton exchange membrane fuel cells , PEM) λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και παράγουν ισχύ αρκετή για την εφαρμογή τους για την 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 .
- Ο συγκεκριμένος τύπος κυψέλης είναι αρκετά ευαίσθητος σε μη καθαρά καύσιμα.
- Η έρευνα πάνω στις κυψέλες καυσίμου όσων αφορά εφαρμογές τους στην τροφοδότηση οχημάτων αυτή τη στιγμή είναι επικεντρωμένη κυρίως σε αυτόν τον τύπο.

Κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)

- Οι κυψέλες φωσφορικού οξέος (phosphoric - acid fuel cells, PAFC) είναι αυτές όπου είναι διαθέσιμες σήμερα στο εμπόριο. Η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος κυμαίνεται σε αρκετά υψηλά επίπεδα.
- Οι θερμοκρασίες λειτουργίας του βρίσκονται στην περιοχή των 150 με 200°C. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες το φωσφορικό οξύ γίνεται κακός ιοντικός αγωγός και το μονοξείδιο του άνθρακα CO το οποίο σχηματίζεται πάνω στον καταλύτη δηλητηριάζει την άνοδο ρίχνοντας πάρα πολύ την απόδοση.
- Ωστόσο τα επίπεδα ανοχής της συγκέντρωσης του CO είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει περισσότερα είδη καυσίμων για τη τροφοδότηση του.
- Στην περίπτωση της συμβατικής βενζίνης ωστόσο πρέπει να απομακρυνθούν τα σουλφίδια.
- Τα μειονεκτήματα των PA κυψέλων καυσίμου, είναι το μεγάλο μέγεθος και βάρος, ο ακριβός καταλύτης όπου χρησιμοποιείται (λευκόχρυσος) ενώ το ρεύμα το οποίο παράγεται είναι χαμηλό και η ισχύς συγκρίσιμη με αυτή άλλων τύπων κυψέλων καυσίμου.
- Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο είναι ίδιες με αυτής της PEM κυψέλης.

Κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (DMFC)

- Σε όλες τις παραπάνω κυψέλες ως καύσιμο χρησιμοποιείται το υδρογόνο.
- Ωστόσο, ο συγκεκριμένος τύπος κυψελών (direct methanol fuel cells, DMFC) χρησιμοποιεί ως καύσιμο μεθανόλη χωρίς να απαιτεί τη μετατροπή της σε υδρογόνο.
- Σε αυτή την περίπτωση η μεθανόλη είναι αυτή που οξειδώνεται στην άνοδο.
- Η κατηγορία αυτή είναι πιο πρόσφατη των κυψελίδων PEM με αρκετά ακόμα προβλήματα προς επίλυση όπως η μεγάλη ποσότητα καταλύτη όπου απαιτείται.
- Ωστόσο, εάν η συγκεκριμένη τεχνολογία επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί στη θέση των PEM κυψελών δε θα υπήρχε η ανάγκη αναζήτησης εναλλακτικών τρόπων αποθήκευσης του καυσίμου όπως γίνεται στη δεύτερη περίπτωση με το υδρογόνο ενώ δε θα ήταν αναγκαία και η ανάπτυξη αναμορφωτών.

Οι κυψέλες καυσίμου είναι κατάλληλες για συμπαγωγή στο βιομηχανικό και εμπορικό-κτιριακό τομέα (ιδιαίτερα σε συνδυασμό με το φυσικό αέριο). Κύρια πλεονεκτήματά τους είναι τα ακόλουθα:

- Αρθρωτή (modular) δομή, που διευκολύνει την κατασκευή μονάδων με την επιθυμητή ισχύ,
- Διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης ακόμη και σε μερικό φορτίο (δηλ. φορτίο μικρότερο του ονομαστικού),
- Ευκολία αυτοματισμού,
- Χαμηλές εκπομπές ρύπων,
- Χαμηλή στάθμη θορύβου.

- Χάρη στον υψηλό βαθμό απόδοσης και τα καθαρά καύσιμα που χρησιμοποιούνται, οι εκπομπές CO_2 και SO_2 είναι κατά 10-100 φορές χαμηλότερες από εκείνες άλλων συστημάτων.
- Ειδικότερα, επειδή οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι σημαντικά μικρότερες από εκείνες της καύσης, οι εκπομπές NO_x είναι μικρότερες κατά μία τάξη μεγέθους από τις εκπομπές των συστημάτων που στηρίζονται στην καύση.
- Οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και η χαμηλή στάθμη θορύβου κάνουν τις κυψέλες καυσίμου πιο κατάλληλες από άλλα συστήματα για εγκατάσταση και λειτουργία σε κατοικημένες περιοχές και σε κτίρια όπως ξενοδοχεία, νοσοκομεία, κ.λ.π.
- Μειονεκτήματα, που εμποδίζουν προς το παρόν την πλατιά διάδοσή τους, είναι:
 - Το υψηλό κόστος κατασκευής, και
 - Η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής.

- Η πρώτη κυψέλη καυσίμων φτιάχτηκε το 1839 από τον Sir William Grove, έναν Ουαλλέζο δικαστή και πειραματικό επιστήμονα.
- Όμως σοβαρό ενδιαφέρον για τη κυψέλη καυσίμων ως πρακτική γεννήτρια δεν άρχισε παρά μόνο τη δεκαετία του '60, όταν επέλεξε το διαστημικό πρόγραμμα των ΗΠΑ τις κυψέλες καυσίμων κι όχι την επικίνδυνη πυρηνική ενέργεια και την ακριβότερη ηλιακή ενέργεια.
- Οι κυψέλες καυσίμων εφοδίασαν με ενέργεια το διαστημικό σκάφος Gemini και Apollo, και παρείχαν ακόμα ηλεκτρική ενέργεια και νερό για το Διαστημικό Λεωφορείο.

ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΟΙ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

- Οι κυψέλες καυσίμων λειτουργούν παρόμοια με μια μπαταρία. Μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του τύπου του ηλεκτρολύτη τον οποίο χρησιμοποιούν.
- Το πιο γνωστό είδος είναι η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίου (PEM).
- Η δομή και η αρχή λειτουργίας του αντιπροσωπευτικού αυτού τύπου κυψέλης καυσίμου έχει ως εξής:
- Δύο ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από μία μεμβράνη η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη.
- Μεταξύ αυτής της πολυμερισμένης μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη.

Συνοπτικά, η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού περιγράφεται από τα παρακάτω επιμέρους στάδια.

- Το υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο της κυψέλης, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια.
- Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο.
- Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερωθήκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την άνοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους μέσω αυτής.
- Για αυτό το λόγο άνοδος και καταλύτης διαλέγονται αγωγιμα υλικά.
- Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (στην ουσία αναφερόμαστε σε μεμονωμένα πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο, το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, και παράγεται νερό.
- Όπως και πριν, την ομογενή διάχυση του οξυγόνου στον καταλύτη εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου.
- Ο καταλύτης αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του.

- Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας.
- Τα δύο στρώματα (στηριζόμενου) καταλύτη χρησιμεύουν στην αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων διάσπασης του μορίου του υδρογόνου και της ένωσης υδρογόνου οξυγόνου για τη δημιουργία νερού, στην άνοδο και στην κάθοδο αντίστοιχα.
- Συνήθως αποτελείται από ένα πολύ λεπτό στρώμα λευκόχρυσου (Pt) πάνω σε επιφάνεια άνθρακα.
- Το στρώμα αυτό είναι και το μέρος του καταλύτη το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη μεμβράνη.
- Ο καταλύτης είναι τραχύς και πορώδης ώστε να μεγιστοποιεί η εκτεθειμένη επιφάνεια του.

Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τα παραπάνω βήματα, συνοψίζονται παρακάτω.

Στην άνοδο:



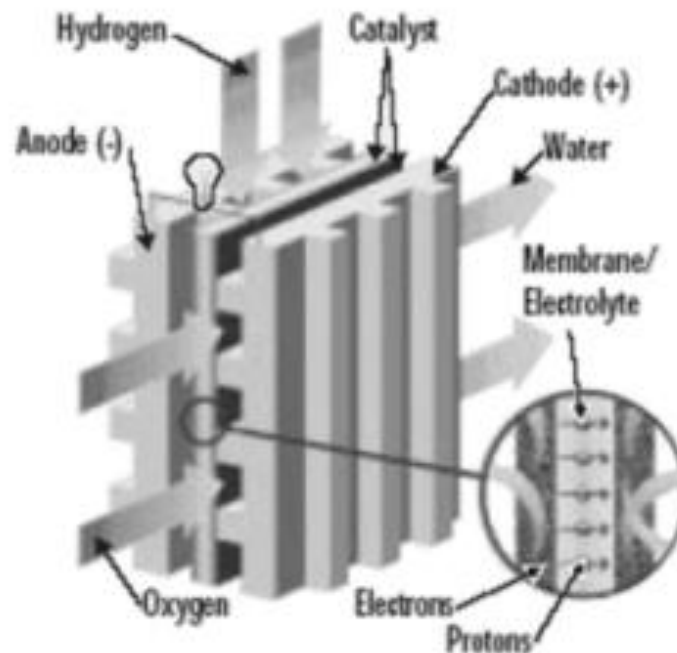
Στην κάθοδο:

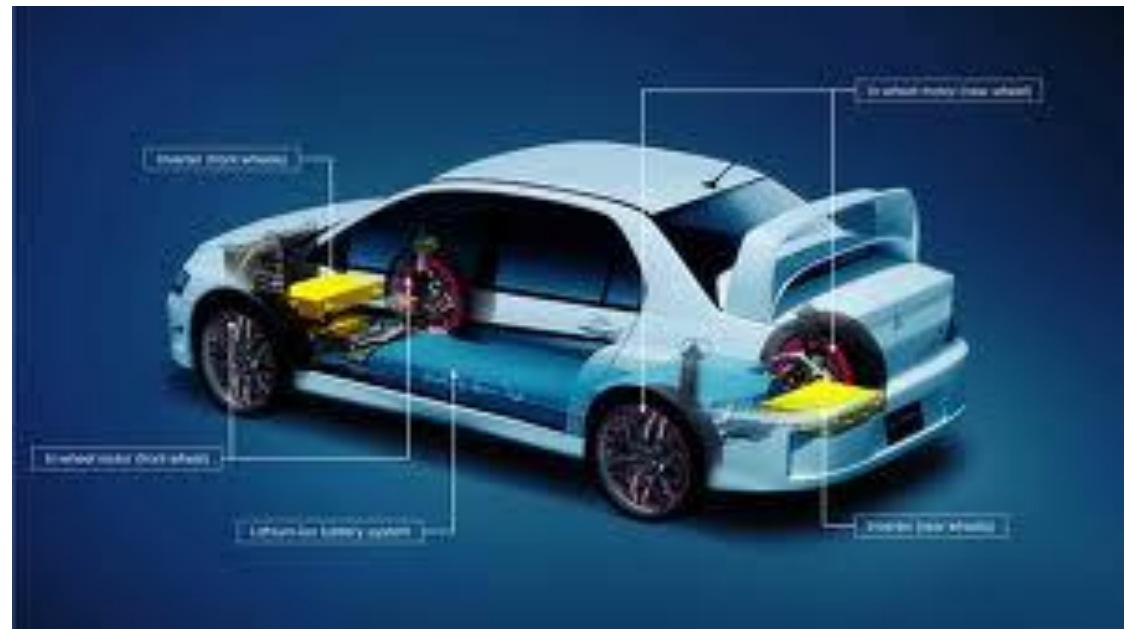
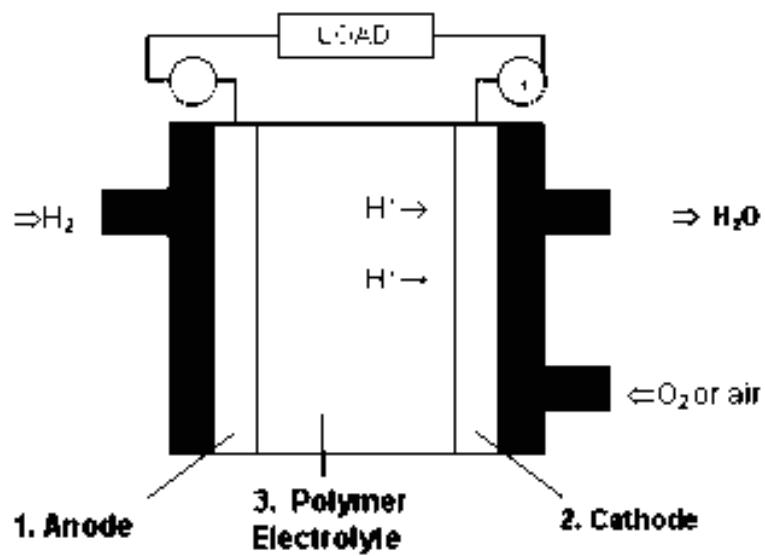


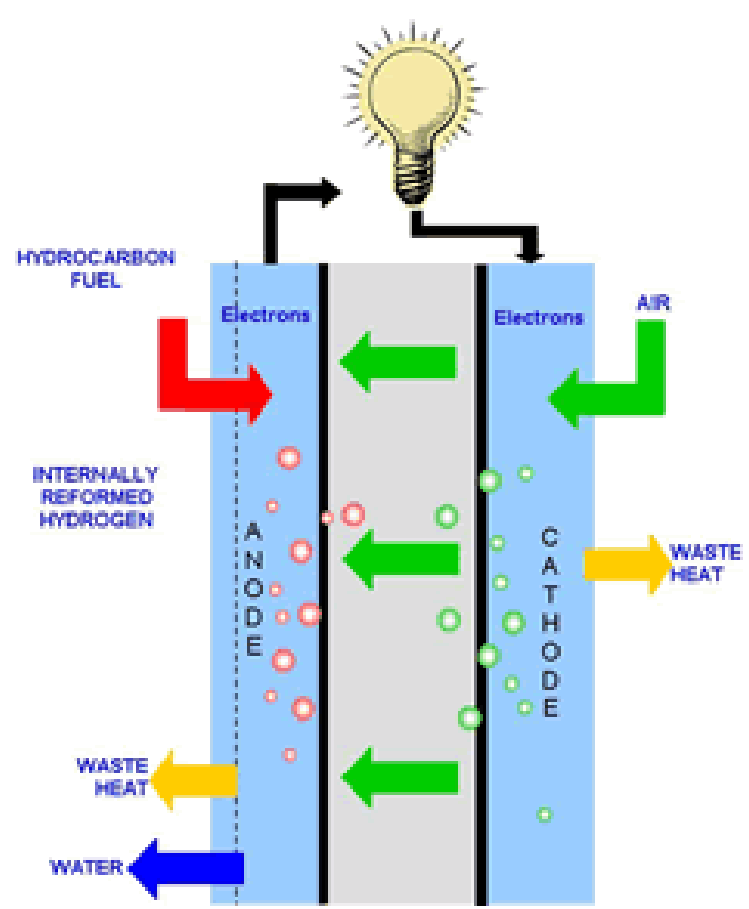
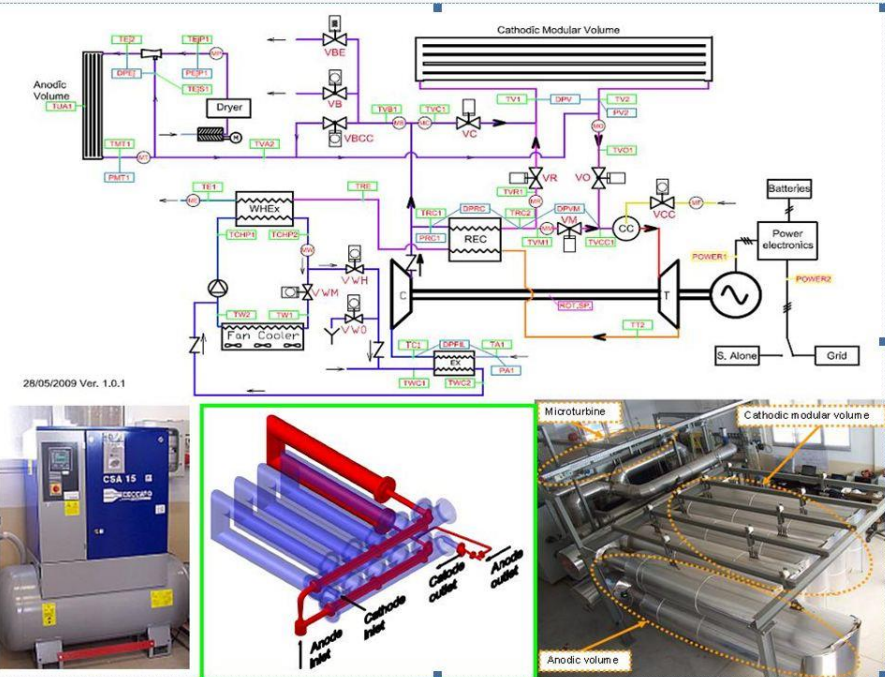
Ολική αντίδραση:



- Οι παραπάνω αντιδράσεις σε μία απλή κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου στα 0,7 Volts .
- Προκειμένου να παραχθούν μεγαλύτερες (και πρακτικά αξιοποιήσιμες) τάσεις, χρησιμοποιούνται περισσότερες κυψέλες σε σειρά (fuel cell stack).
- Τα κυριότερα μέρη της κυψέλης καυσίμου καθώς και μία ιδέα του τρόπου λειτουργίας τους παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα.







Βιβλιογραφία

- Mostafa Rahimnejad. Biological Fuel Cells. Fundamental to Applications. 2023. Paperback ISBN: 9780323857116 eBook ISBN: 9780323857123
- EDITORIAL. Fuel Cells in 2023: Highlights and transitions. First published: 2023 <https://doi.org/10.1002/fuce.2023701012>
- Supramaniam Srinivasan. Fuel Cells. From Fundamentals to Applications. 2006. Springer New York, NY <https://doi.org/10.1007/0-387-35402-6>
- Ryan O'Hayre, Suk-Won Cha, Whitney Colella, Fritz B. Prinz, Fuel Cell Fundamentals. 2016. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119191766>
- Stefanie Groll. 10 πράγματα που πρέπει να ξέρετε για το υδρογόνο. 31/1/2022 <https://gr.boell.org/el/node/6857>
- Paul Hackett. Πράσινο υδρογόνο: Η καθαρή ενεργειακή λύση του μέλλοντος. Euronews. 29/1/2021. <https://gr.euronews.com/business/2021/01/29/prasino-idrogono-i-kathari-energeiaki-lisi-tou-mellontos>
- Λευκό υδρογόνο: Τι είναι και γιατί θεωρείται «ιερό δισκοπότηρο» για το κλίμα
- 30/10/2023 <https://www.kathimerini.gr/life/environment/562699228/>
- Το μέλλον της αυτοκίνησης είναι η ηλεκτροκίνηση με κυψέλες υδρογόνου. Bosch 13/10/2020. <https://www.bosch.gr/news-and-stories/fuel-cells/>

- http://electricallab.gr/component/option,com_docman/task,doc.../Itemid,34/
- <http://americanhistory.si.edu/fuelcells/images/pafcpem4.jpg>
- http://portal.tee.gr/portal/page/portal/PUBLICATIONS/BYMONTHLY_PUBLICATIONS/diminiaia_2010/pub6/3o_arthro.pdf
- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/90/Solid_oxide_fuel_cell_protonic.svg/2000px-Solid_oxide_fuel_cell_protonic.svg.png
- http://www.fueleconomy.gov/feg/fc_pics/fuel_cell_still.gif
- <https://sites.google.com/site/toidrogono/chreseis>
- https://transportlearning.net/competence/.../Cleaner_Fuels_and_vehicles_gr.pdf
- https://users.auth.gr/~seferlis/diploma_el_files/2010_Samanis_Anagnostis.pdf
- https://www.caranddriver.gr/tecnologia/arthro/ydrogono_kai_kypseles_kaysimou_h_arxi_leitourgias_video-7737072/
- <https://www.chfca.ca/fuel-cells-hydrogen/about-fuel-cells/>
- <https://www.e-conversion.de/fuel-cell-principle/>
- https://www.energymag.gr/ilektrokinisi/ilektriako-aytokinito/62462_i-hundai-anaptyssei-tin-tehnologia-ton-kypselon-kaysimoy
- <https://www.fst.com/markets/automotive-truck-bus/passenger-car/fuel-cell/>
- https://www.mcit.gov.cy/.../ΑΕΙΦΟΡΟΣ%20ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ_ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚ...
- <https://www.thegreenage.co.uk/beginners-guide-fuel-cells/>