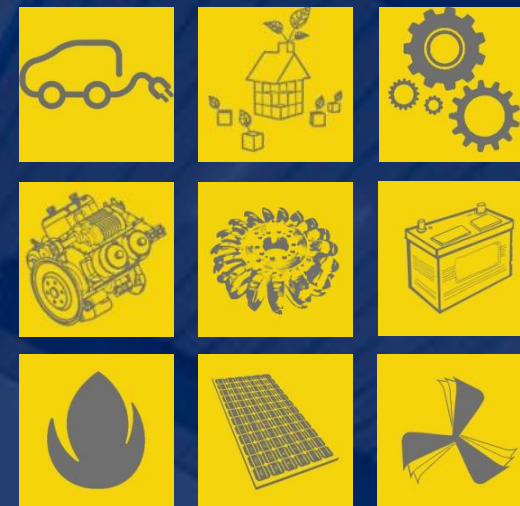


Τεχνολογίες H₂ στην Αυτοκίνηση και στις Μεταφορές



Παρουσίαση :

Γιώργος Καπλάνης

Head of H₂ + EV Technologies Dept. @ MES Energy S.A.

Expert H₂ + New ESS Evaluator @ European Union

5th Electric + Micro Mobility Forum

Divani Caravel Hotel, 07 Οκτωβρίου 2025



Περιεχόμενα παρουσίασης

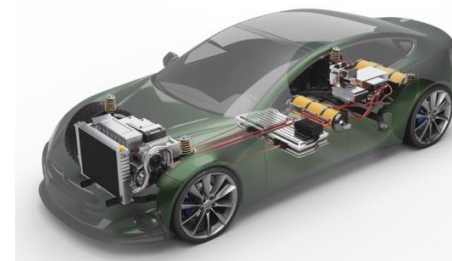
Τι είναι το Υδρογόνο (H_2)

- Βασικές ιδιότητες
- Μέθοδοι Παραγωγής / Τύποι Υδρογόνου
- Μέθοδοι Αποθήκευσης Υδρογόνου
- Από την παραγωγή στις εφαρμογές & το Κόστος H_2

1 H Hydrogen		
3 Li Lithium	4 Be Beryllium	
11 Na Sodium	12 Mg Magnesium	
19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium
		22 Ti Titanium
		23 V Vanadium
		24 Cr Chromium

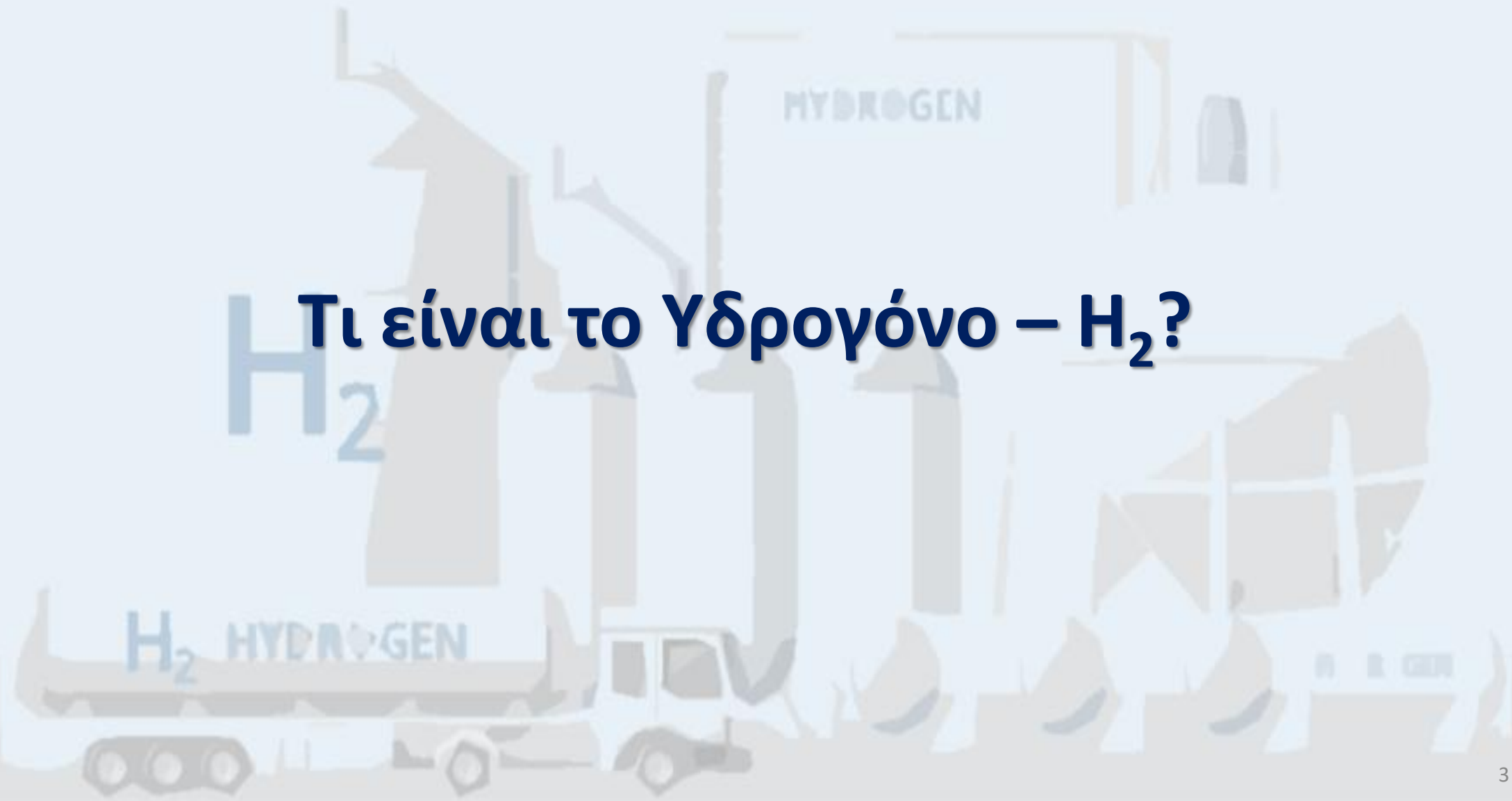
Υδρογόνο (H_2) στις Μεταφορές & ΣΑΥ (HRS)

- Εισαγωγή στα οχήματα υδρογόνου & Πλεονεκτήματα
- Βασικός εξοπλισμός και λειτουργία των FCEV / Κυψέλης PEM
- Διαφορετικές πλατφόρμες ανά κατηγορία οχημάτων
- Σταθμός Ανεφοδιασμού Υδρογόνου (ΣΑΥ-HRS) / Εξοπλισμός / Ασφάλεια
- Πόσοι υπάρχουν στην Ευρώπη και πόσοι σε παγκόσμιο επίπεδο
- Μερίδιο αγοράς των FCEV αλλά και των ΣΑΥ (2025 + 2040)
- MES Ενεργειακή Α.Ε. και ο 1^{ος} Πιλοτικός ΣΑΥ στην Ελλάδα





Τι είναι το Υδρογόνο – H_2 ?





Βασικές Ιδιότητες

Το Υδρογόνο (H_2) είναι :

- Το πρώτο στοιχείο στον περιοδικό πίνακα και είναι θεμελιώδες δομικό στοιχείο για πολλές από τις χημικές ουσίες, τα υλικά κατασκευών αλλά και τις διαφορετικές διαδικασίες που χρησιμοποιούμε καθημερινά στη ζωή μας για περισσότερα από 90 χρόνια.

atomic number	1	[1.00784, 1.00811]	atomic weight
symbol	H		acid-base properties of higher-valence oxides
electron configuration	1s ¹		crystal structure
name	hydrogen		physical state at 20 °C (68 °F)

- Το απλούστερο, ελαφρύτερο και σε μεγάλη αφθονία στοιχείο στο σύμπαν αλλά ταυτόχρονα ένα πολύ μικρό, διαπεραστικό μόριο που είναι 14 φορές ελαφρύτερο από τον αέρα.
- Ένας “Ενεργειακός Φορέας”, που σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση αλλά και μεταφορά ενέργειας σε εφαρμογές όπως στις μεταφορές, στις χημικές διεργασίες, στη βιομηχανία, κ.λπ..
- Είναι εύφλεκτο (όπως όλα τα καύσιμα) **ΌΜΩΣ** → Τα συστήματα ασφαλείας των Σταθμών Ανεφοδιασμού Υδρογόνου (ΣΑΥ - HRS) αλλά και για τα Οχήματα H_2 (FCEV) είναι κατάλληλα σχεδιασμένα για αυτές τις ιδιότητες του.



Βασικοί Μέθοδοι Παραγωγής H₂

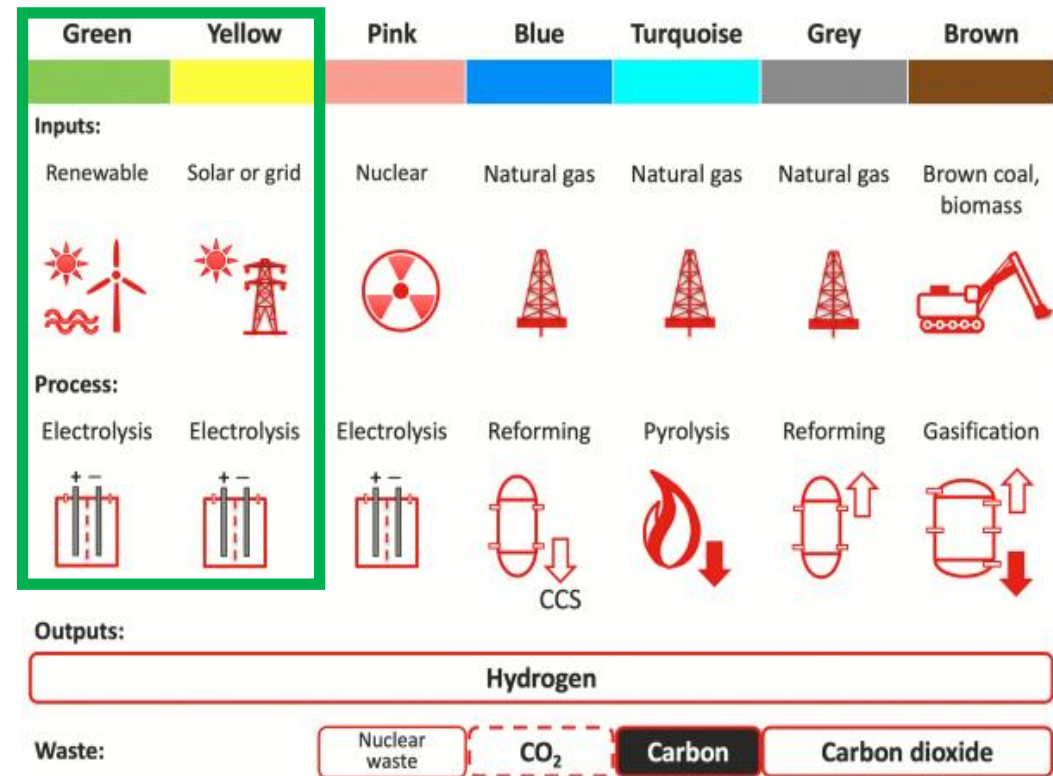
Οι βασικοί μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου (ώριμες – πειραματικές) κατηγοριοποιούνται βάση των πηγών ενέργειας αλλά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους, όπως παρακάτω :

Ώριμες τεχνολογίες:

- ❖ Αναμόρφωση Αερίου μέσω αεριοποίησης (SMR)
- ❖ Ηλεκτρόλυση (PEM, Alkaline, SOEL, AEM Electrolysers)
- ❖ Αεριοποίηση βιομάζας (Biomass Gasification)
- ❖ Πυρόλυση Μεθανίου (Pyrolysis)

Τεχνολογίες σε Πειραματικό Στάδιο:

- ❖ Φωτόλυση (Photo-electrochemical Water Splitting)
- ❖ Θερμοχημική διάσπαση νερού (Thermochemical Water Splitting)
- ❖ Μικροβιοτικά Κελιά Ηλεκτρόλυσης (Microbial Electrolysis Cells)



Αναλόγως με την τεχνολογία αλλά και την πηγή ενέργειας, το υδρογόνο κατηγοριοποιείται σε διάφορα χρώματα. Το **πράσινο ή ανανεώσιμο υδρογόνο (RFNBO)**, θεωρείται ο μελλοντικός ενεργειακός φορέας, προσφέροντας ταυτόχρονα μια ακόμα **λύση μηδενικών εκπομπών (ρύπων) στις μεταφορές**.



Μέθοδοι Αποθήκευσης

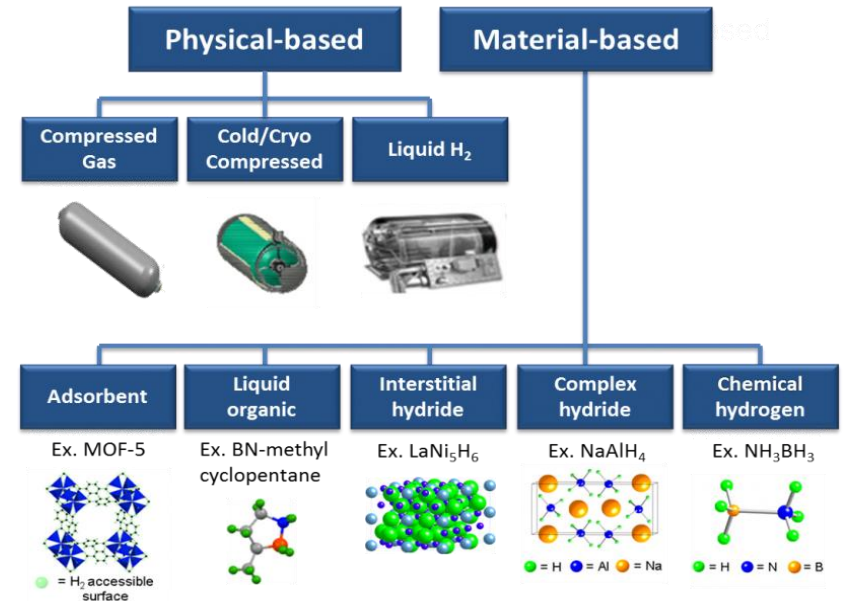
Λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων του, απαιτούνται αποτελεσματικές μέθοδοι αποθήκευσης, που κρίνονται απαραίτητες για τη χρήση του ως πηγής καυσίμου.

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες αποθήκευσης:

- ✓ Φυσική αποθήκευση
- ✓ Αποθήκευση σε υλικά

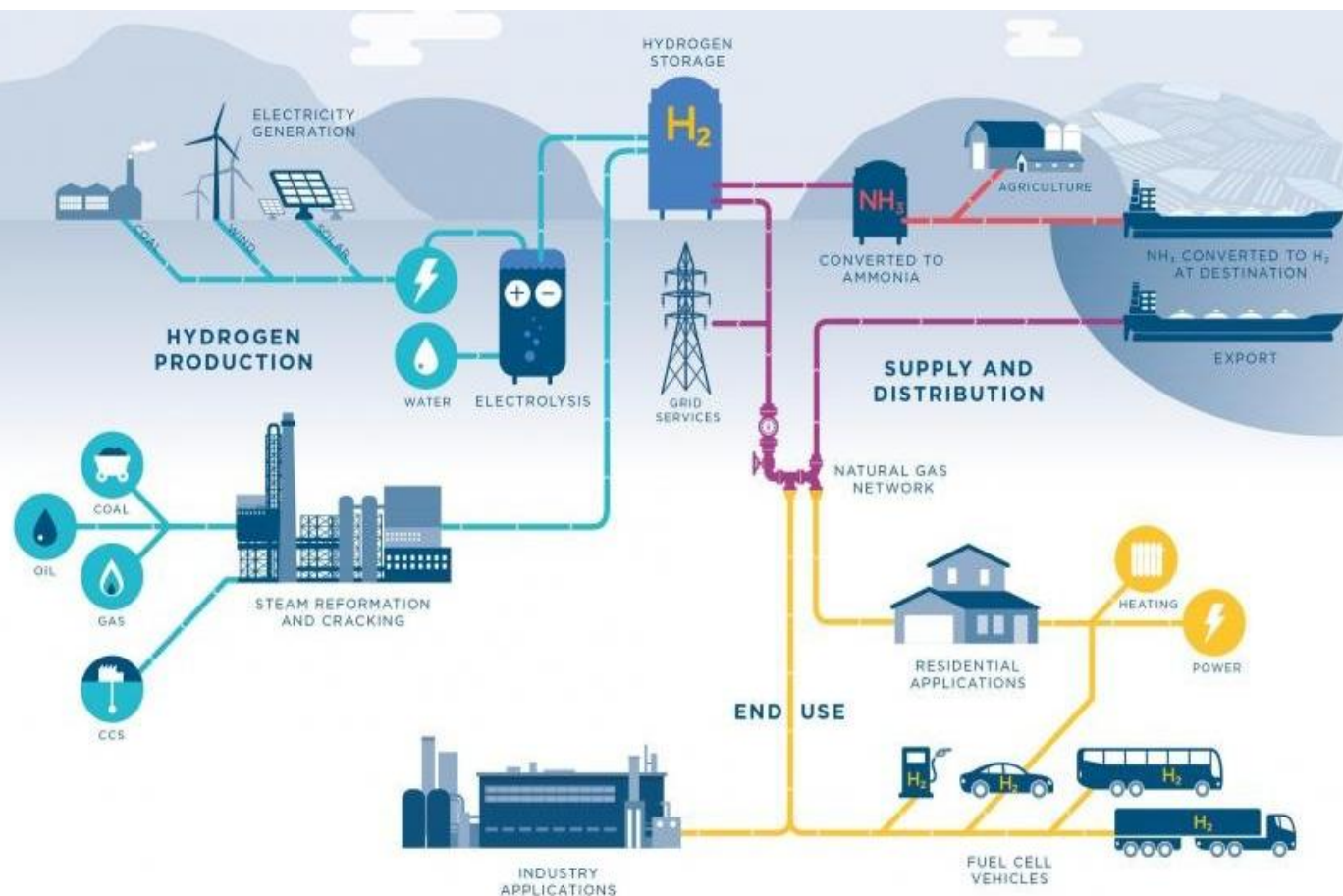
Στα **Αυτοκίνητα** και τα **Βαρέα Οχήματα Κυψελών Καυσίμου**, στα **Τρένα**, στη **Βιομηχανία** και στους **Σταθμούς Ανεφοδιασμού Υδρογόνου (HRS)** η αποθήκευση του Υδρογόνου γίνεται κυρίως **σε αέρια μορφή**.

Στη **Ναυτιλία** και στην **Αεροπλοΐα** η αποθήκευση του Υδρογόνου γίνεται σε **υγρή μορφή**, σε **διάφορα υλικά** ή με **κρυογονικές μεθόδους συμπίεσης**.





Από την παραγωγή στις διάφορες εφαρμογές & κόστος H₂



ΚΟΣΤΟΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

- ❖ **ΣΗΜΕΡΑ (Κόστος Παραγωγής)**
Περίπου **5-7€ / kg H₂** (πράσινο/ανανεώσιμο)
- ❖ **ΤΙΜΗ ΣΤΟΧΟΣ 2035 (Κόστος Παραγωγής)**
Περίπου **2-3€ / kg H₂** (πράσινο/ανανεώσιμο)
- ❖ **ΣΗΜΕΡΑ ΠΩΛΕΙΤΑΙ (Λιανική)**
12-14 € / kg H₂ και οδεύοντας προς το 2035 η τιμή πώλησης θα είναι **5-6€ / kg H₂** και ακόμα πιο χαμηλή όσο πλησιάζουμε προς το 2050.

ΜΗΝ ΞΕΧΝΑΙΕ ότι → Το Υδρογόνο είναι ένας “Ενεργειακός Φορέας”, που σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση αλλά και μεταφορά ενέργειας σε εφαρμογές όπως στις μεταφορές, στις χημικές διεργασίες, στη βιομηχανία, στο δίκτυο ΦΑ αλλά και για την εξισορρόπηση του δικτύου από τις ΑΠΕ με μακροχρόνια αποθήκευση ενέργειας από την πλεονάζουσα παραγωγή.



Αυτοκίνηση / Μεταφορές & Σταθμοί Ανεφοδιασμού H₂





Εισαγωγή στα Οχήματα Υδρογόνου & Πλεονεκτήματα

Το υδρογόνο (H_2) ως καύσιμο, έχει διπλή τεχνολογική προσέγγιση μιας και μπορεί είτε :

- Να χρησιμοποιηθεί σε ΜΕΚ (ICE) υδρογόνου όπως τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα.
- Να συνδυαστεί με οξυγόνο σε συστοιχία κυψελών καυσίμου (Fuel Cell) για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιβατικά οχήματα H_2 / FCEV

Αποθηκεύουν από 6-8 kgH₂ @ 700bar

Κατανάλωση από 1-1.2 kgH₂ / 100 km

Αυτονομία από 450 έως 700km / πλήρωση

Χρόνος Πλήρωσης < 5 λεπτά

Φορτηγά / Λεωφορεία H_2

Αποθηκεύουν από 35-55 kgH₂ @ 350bar/700

Κατανάλωση από 8-10 kgH₂ / 100 km

Αυτονομία από 350 έως 600km / πλήρωση

Χρόνος Πλήρωσης < 10 λεπτά

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

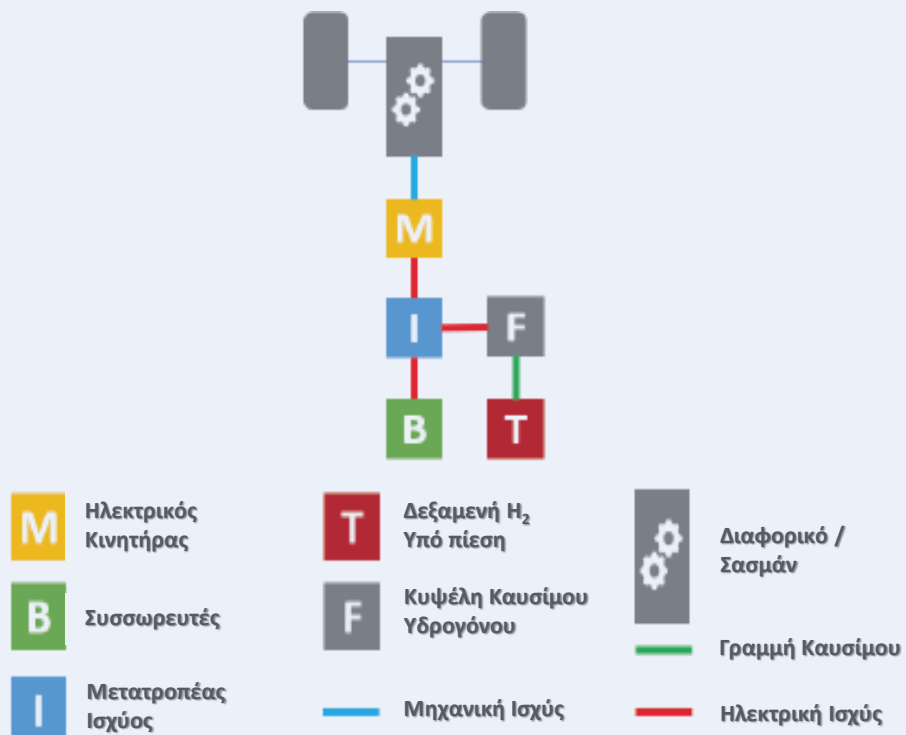
- Μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 25-100% (συνολικό κύκλο ζωής)
 - Μηδενικές εκπομπές ρύπων (CO, HC's, NOx).
 - Γρήγορος χρόνος ανεφοδιασμού σε σύγκριση με το BEV.
- Μεγάλη αυτονομία, κατάλληλη για ταξίδια μεγάλων αποστάσεων.
- Ελαφρύ σύστημα και αποτελεσματικό για εφαρμογές βαρέως τύπου.
 - Μεγάλη διάρκεια ζωής των κυψελών καυσίμου.
 - Αθόρυβη λειτουργία, μείωση της ηχορύπανσης.



Βασικός εξοπλισμός των οχημάτων H₂ & Κυψέλη Καυσίμου

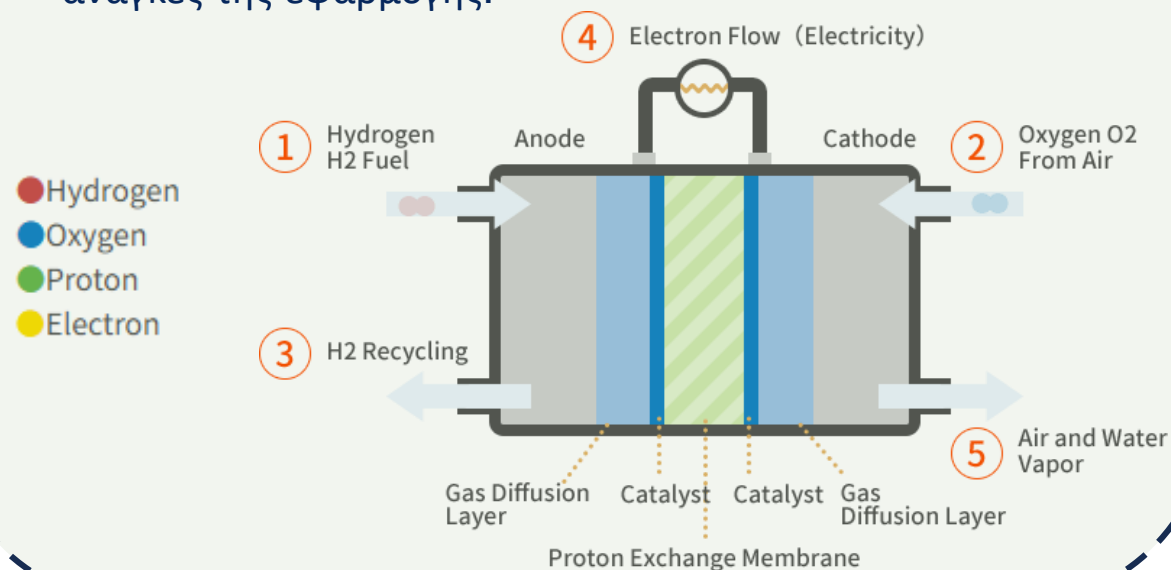
Ένα ηλεκτρικό όχημα κυψελών καυσίμου (FCEV) αποτελείται από μια **συστοιχία κυψελών καυσίμου (PEM FC)**, **δεξαμενές αποθήκευσης υδρογόνου**, **συσσωρευτές**, **ηλεκτρονικά ισχύος** και **ηλεκτρικό κινητήρα (εξ)**.

Σύστημα μετάδοσης κίνησης / ισχύος Οχήματος Υδρογόνου (FCEV)



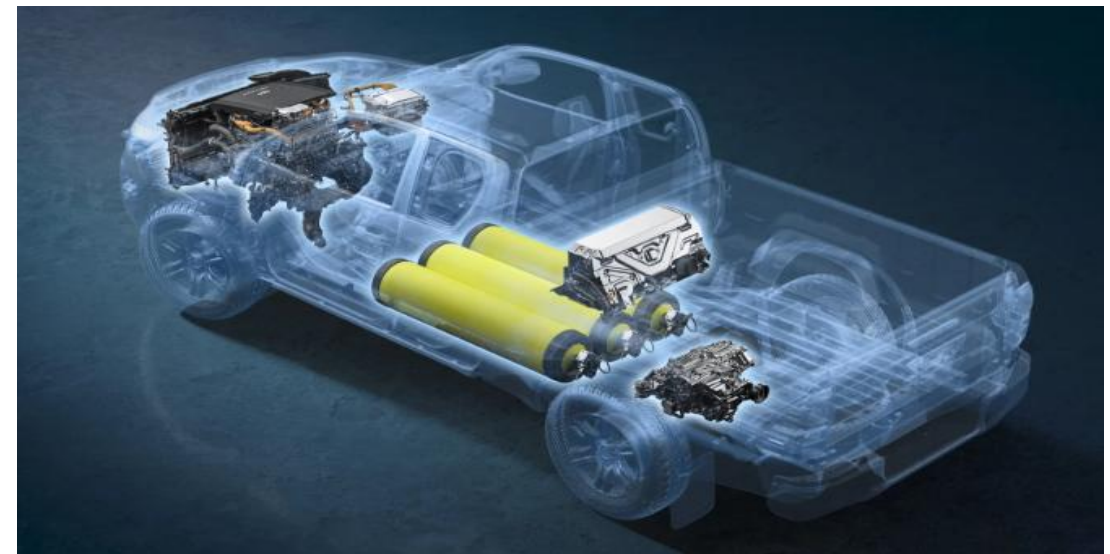
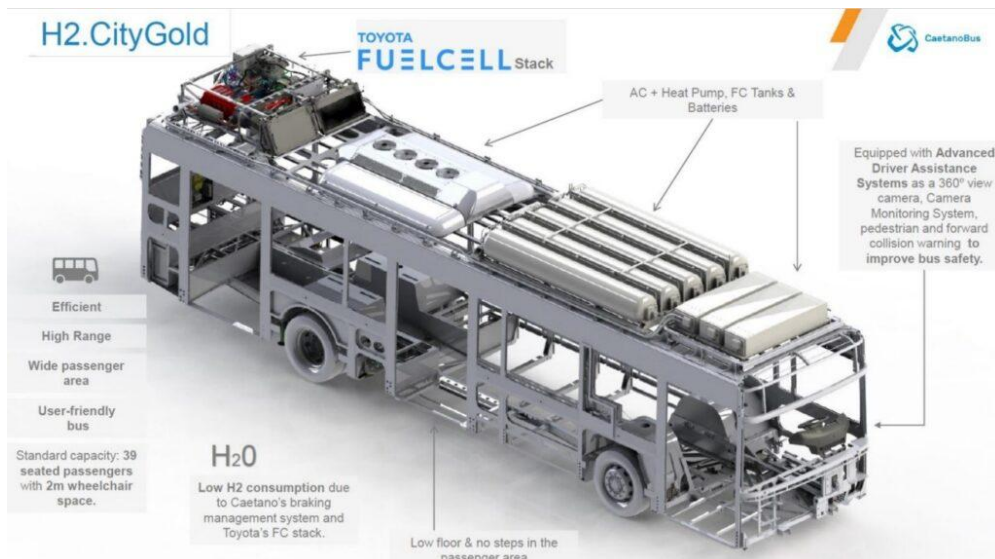
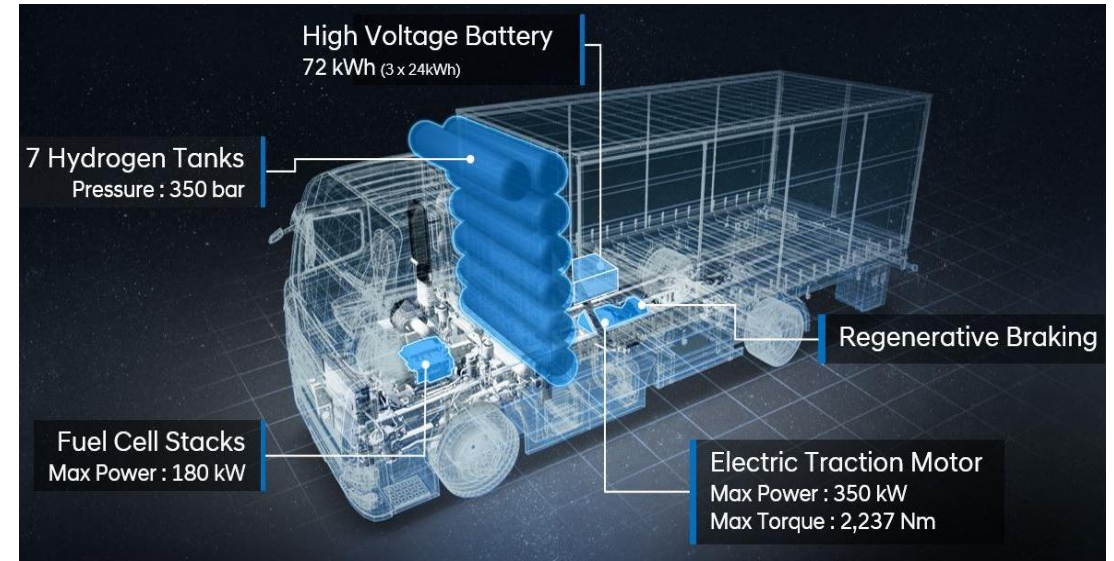
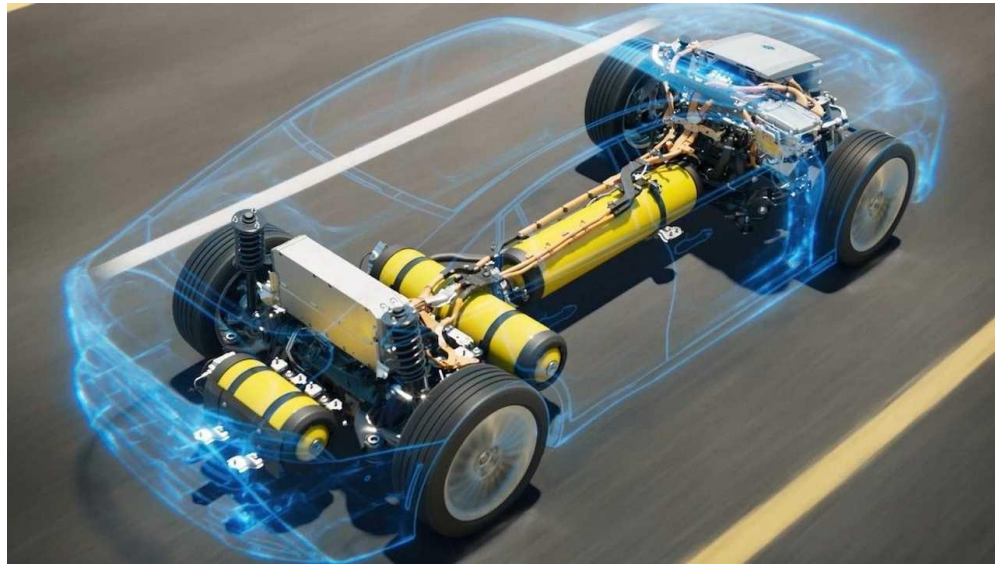
Μια κυψέλη καυσίμου υδρογόνου τύπου PEM αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια (άνοδος και κάθοδος) όπου ανάμεσά τους υπάρχει μια ηλεκτρικά αγωγίμη ουσία που ονομάζεται Ηλεκτρολύτης (συνήθως στερεός).

Όταν μεμονωμένες (μονές) κυψέλες καυσίμου ενωθούν σε σειρά, τότε σχηματίζουν μια «συστοιχία κυψελών καυσίμου» (stack) επιτρέποντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγαλύτερη ισχύ αναλόγως τις ανάγκες της εφαρμογής.





Διαφορετικά Powertrains ανά κατηγορία οχημάτων





Οχήματα, Λεωφορεία, Φορτηγά & Scooter



2022 TOYOTA MIRAI



2025 TOYOTA HILUX



2025 HYUNDAI ELEC-CITY



2025 BMW iX5 FCEV (2028 MP)



2026 FIRST HYDROGEN



2022 SOLARIS URBINO 12



2026 HYUNDAI NEXO

2025 HYUNDAI XCIENT



2025 HINO PROFIA Z FCV



2027 DAIMLER / SETRA



Τρένα, Αεροπλοΐα, Ναυτιλία, Ειδικού Σκοπού & Αγώνες

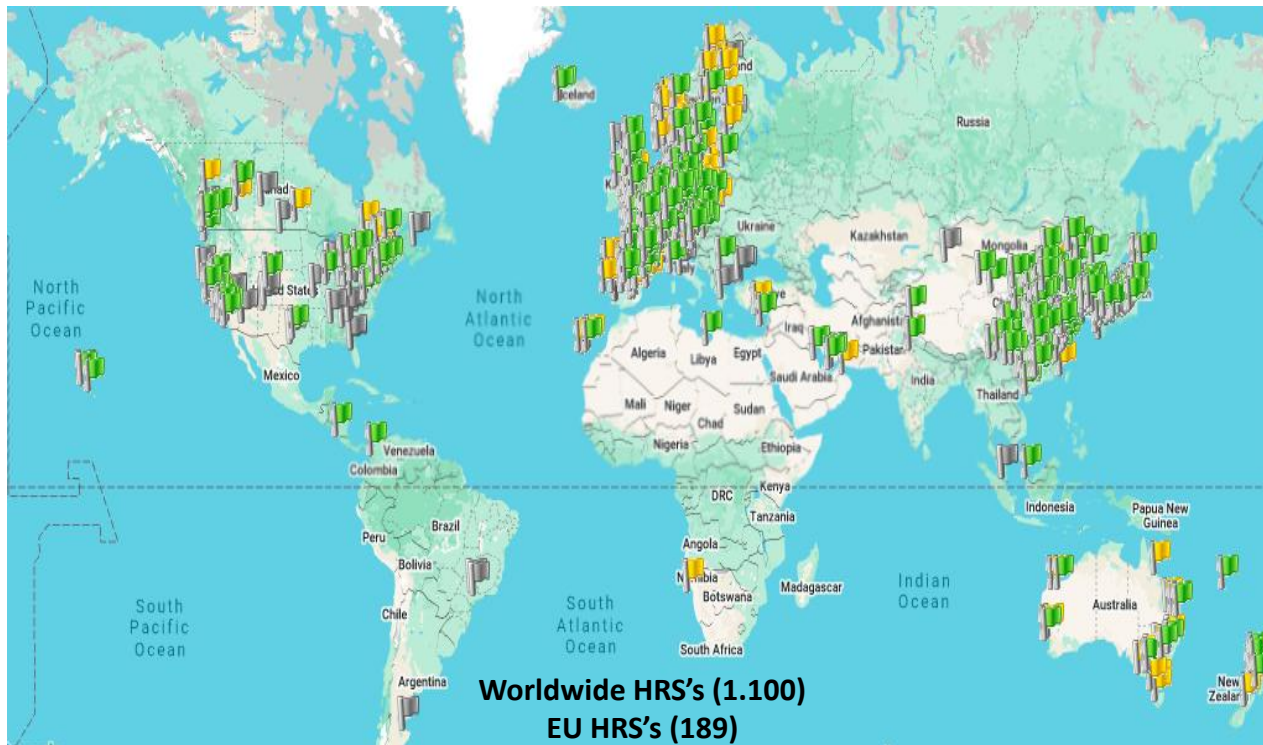


“FIA signs multi-year deal with Extreme H for world’s first hydrogen-powered World Cup, that will debut in Saudi Arabia in 2025”



Τι είναι ένας ΣΑΥ (HRS) και πόσοι υπάρχουν στην ΕΕ?

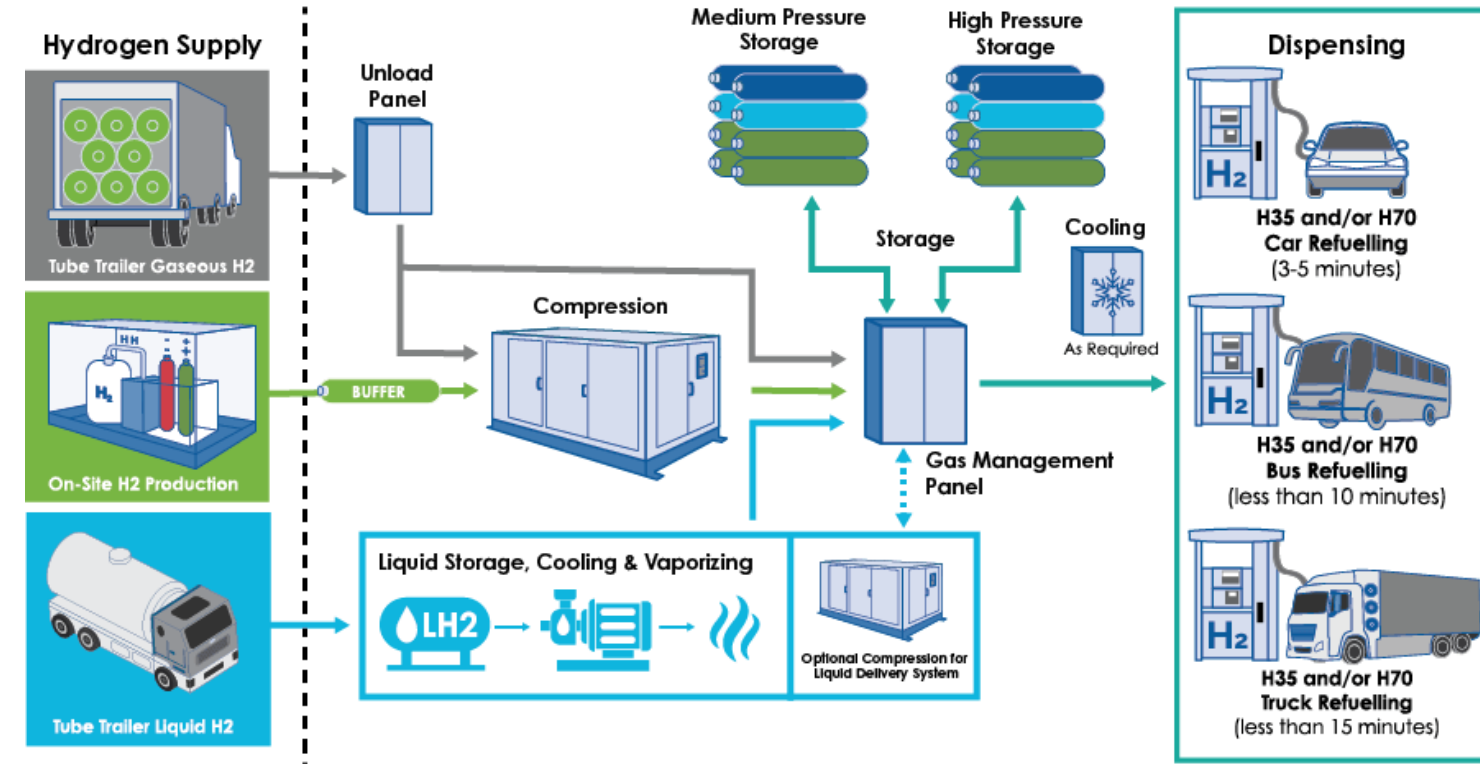
Η πλήρωση ενός ηλεκτρικού οχήματος κυψελών καυσίμου (FCEV) με αέριο υδρογόνο είναι γενικά μια **παρόμοια εμπειρία** όπως με την πλήρωση ενός συμβατικού οχήματος με ΜΕΚ (ICE) με ντίζελ ή βενζίνη ή Φυσικό Αέριο και πραγματοποιείται σε έναν Σταθμό Ανεφοδιασμού Υδρογόνου (ΣΑΥ - HRS).





ΣΑΥ και ο βασικός εξοπλισμός του

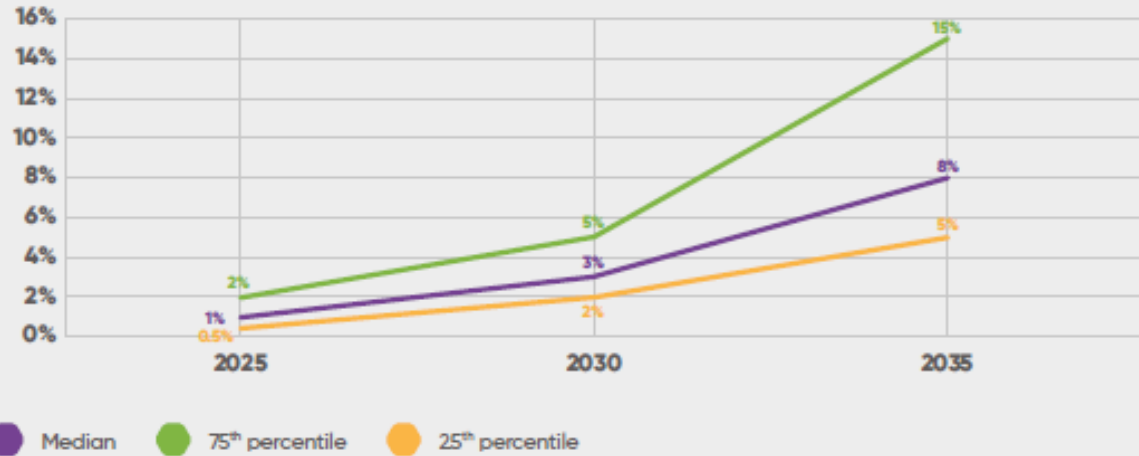
Οι **Σταθμοί Ανεφοδιασμού Υδρογόνου (ΣΑΥ)** διαθέτουν συστήματα ασφαλείας που περιλαμβάνουν γειώσεις, σωλήνες άμεσης απομόνωσης (breakaway hoses), αισθητήρες πυρκαγιάς, καθώς και αισθητήρες που μετρούν την πίεση, τη θερμοκρασία και τη διαρροή του αερίου υδρογόνου. Έχουν σχεδιαστεί για την **ασφαλή και άμεση εξαέρωση** του υδρογόνου σε περίπτωση ακραίας κατάστασης έκτακτης ανάγκης.



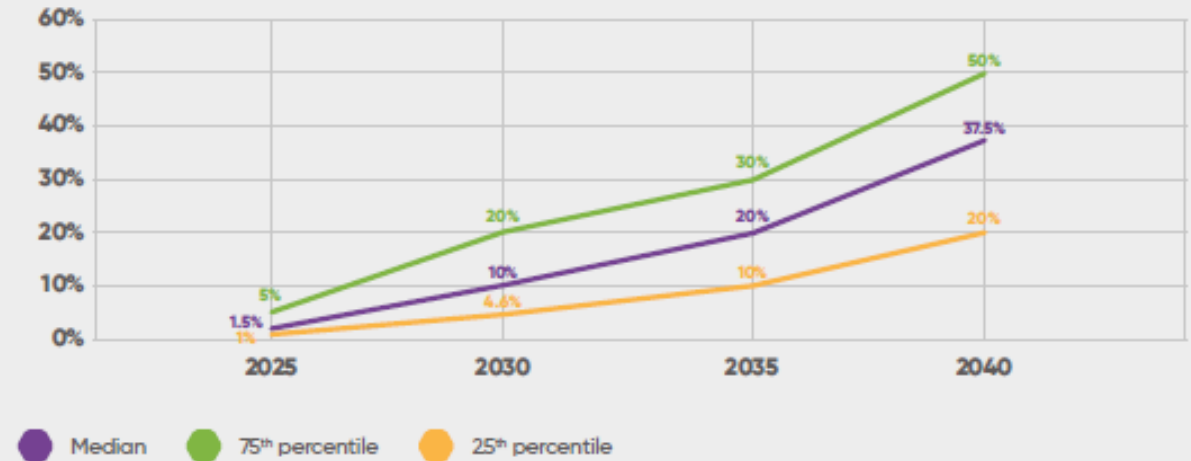


Μερίδιο αγοράς το 2025 προς το 2050 (FCEV + ΣΑΥ)

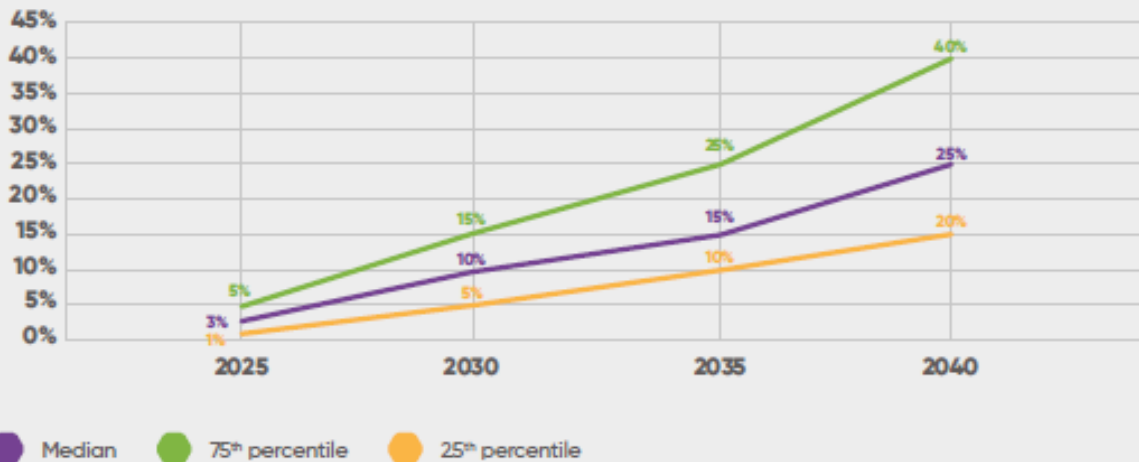
Penetration of H₂-powered cars and vans in new vehicle sales in 2025-2035



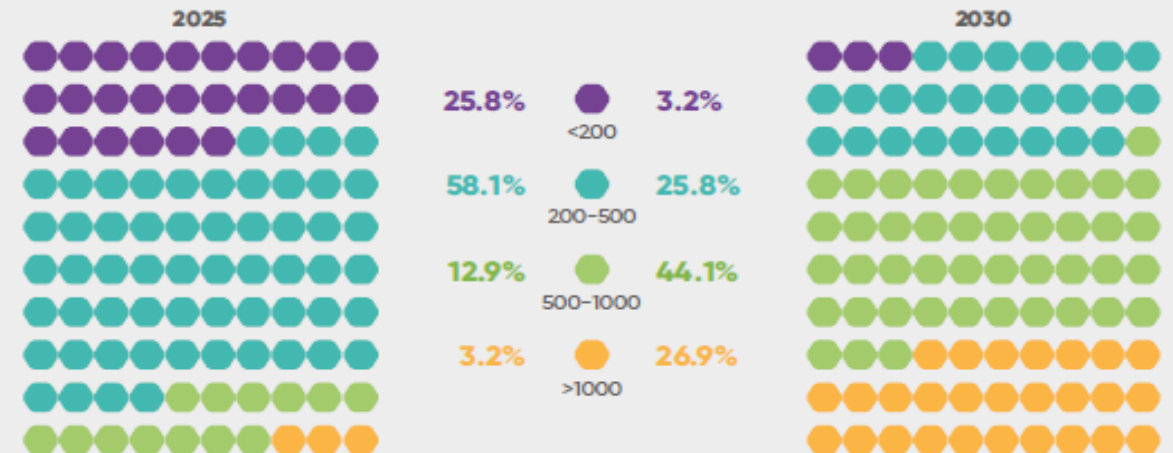
Penetration of H₂-powered trucks in new vehicle sales in 2025-2040



Penetration of H₂-powered buses and coaches in new vehicle sales in 2025-2040



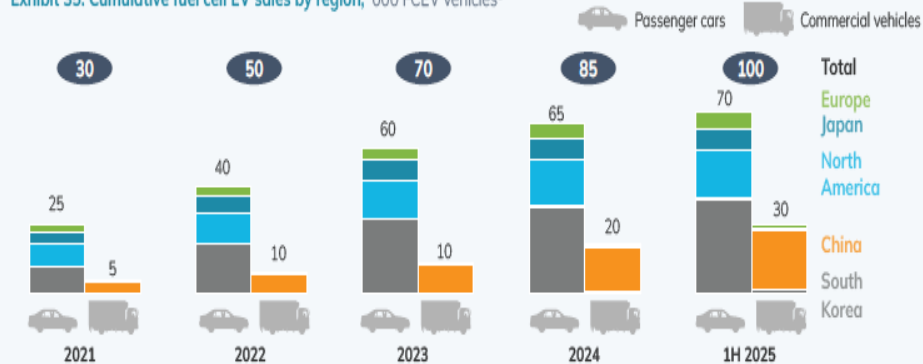
Number of high capacity HRS in operation





Δυσκολίες Επέκτασης των Τεχνολογιών Υδρογόνου

Exhibit 35: Cumulative fuel cell EV sales by region, '000 FCEV vehicles¹



\$110 billion committed

investment in clean hydrogen projects globally

510 projects committed

out of a total global project pipeline of 1,749 projects

50+ projects publicly cancelled

in the last 18 months with additional projects likely stalled or cancelled without public announcements

Υψηλό κόστος παραγωγής & υποδομών
πράσινο H₂, σταθμοί ανεφοδιασμού, logistics

Ανεπαρκές δίκτυο ανεφοδιασμού
«φαύλος κύκλος» προσφοράς/ζήτησης

Τεχνικά ζητήματα ασφάλειας
αποθήκευση υπό υψηλή πίεση, διαρροές, ευφλεκτότητα

Πιστοποίηση, κανονισμοί και πρότυπα
διαφέρουν ανά χώρα και κλάδο (π.χ. IMO, ICAO, ΕΕ)

Απαιτήσεις σε πρώτες ύλες και εξειδικευμένο προσωπικό
καταλύτες, μεμβράνες, τεχνικοί υδρογόνου

Ανταγωνισμός με μπαταρίες & άλλα καύσιμα
ως προς το κόστος και την ενεργειακή απόδοση



Συμπεράσματα

- Η τεχνολογία οχημάτων υδρογόνου για συστήματα κίνησης (πρόωσης) αλλά και αποθήκευσης H₂ αναπτύσσεται σε όλους τους τομείς μεταφορών (οχήματα, λεωφορεία, φορτηγά, αεροπλάνα, τρένα, καράβια, κτλ.), συμβάλλοντας στη μετάβαση σε μεταφορές μηδενικού άνθρακα έως το 2050, συμπληρωματικά της ηλεκτροκίνησης και των άλλων τεχνολογιών.
- Με την κλιμάκωση της παραγωγής οχημάτων κυψελών καυσίμου και τη συνεπακόλουθη μείωση του κόστους παραγωγής υδρογόνου (H₂), το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας (TCO) των Οχημάτων Κυψελών Καυσίμου (FCEV) αναμένεται να είναι συγκρίσιμο με αυτό των Ηλεκτρικών Οχημάτων Μπαταρίας (BEV).
- Το υδρογόνο στον τομέα των μεταφορών καλύπτει πλήρως τις περιπτώσεις όπου απαιτούνται μεγάλες αυτονομίες, γρήγορος ανεφοδιασμός και μεγάλο ωφέλιμο φορτίο.
- Εκτός από την απευθείας χρήση του υδρογόνου (H₂), ο συνδυασμός H₂ με CO₂ χρησιμεύει στη παραγωγή συνθετικών καυσίμων (π.χ. συνθετική κηροζίνη, μεθανόλη, αμμωνία, μεθάνιο), κατάλληλα για την αεροπορία και την ναυτιλία.
- Για την προώθηση της τεχνολογίας και μέχρι να εδραιωθεί η αγορά τεχνολογιών υδρογόνου, είναι απαραίτητο σε :
 - ✓ **Πολιτικό** - Παρέχεται οικονομική υποστήριξη μέσω κινήτρων και προγραμμάτων χρηματοδότησης (τόσο για οχήματα H₂ όσο και για το κόστος παραγωγής H₂).
 - ✓ **Θεσμικό** - Επικαιροποιηθεί η σχετική νομοθεσία ανά χώρα και σε ευρωπαϊκό επίπεδο.
 - ✓ **Εμπορικό** - Αναπτυχθεί η κύρια υποδομή (παραγωγή υδρογόνου, σταθμοί ανεφοδιασμού HRS, δίκτυο H₂ ready).
 - ✓ **Βιομηχανικό** - Επεκταθούν οι παραγωγικές εγκαταστάσεις (κυψέλες καυσίμου / μονάδες ηλεκτρόλυσης / αποθήκευση).
 - ✓ **Ερευνητικό** – Βελτιωθεί η απόδοση κυψελών καυσίμου / ηλεκτρόλυσης αλλά και νέες μεθόδους αποθήκευσης.
 - ✓ **Εκπαιδευτικό** - Εκπαιδευτεί το υπάρχον τεχνικό προσωπικό για σκοπούς συντήρησης και επισκευής.



MES Ενεργειακή ΑΕ και Υδρογόνο

Η **MES ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.** (www.mese.gr) είναι θυγατρική εταιρία του ομίλου εταιριών **ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ** (www.mesogeos.gr), η οποία ασχολείται με τις ενεργειακές εφαρμογές, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και Τεχνολογίες Υδρογόνου, την εμπορία ενέργειας και την παροχή εξειδικευμένων υπηρεσιών στον τομέα της ενέργειας. Αναπτύσσει και διαχειρίζεται ένα ευρύ χαρτοφυλάκιο έργων στον ιδιωτικό και δημόσιο τομέα, με έμφαση στα έργα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και Τεχνολογιών Υδρογόνου, όπως :

- Σχεδιασμός, κατασκευή και λειτουργία Φωτοβολταϊκών Σταθμών και ανάπτυξη Αιολικών Έργων σε περιοχές με καλή γνώση του αιολικού δυναμικού
- Ανάπτυξη μικρών Υβριδικών Σταθμών με Φωτοβολταϊκά και Μπαταρίες. Η αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες αποτελεί κρίσιμο αναπτυξιακό σχέδιο της επερχόμενης περιόδου
- Εφαρμογές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Τεχνολογιών Υδρογόνου σε κτήρια και εγκαταστάσεις
- Σχεδιασμός, κατασκευή και λειτουργία Σταθμών Ανεφοδιασμού Υδρογόνου καλύπτοντας όλο το φάσμα των σχετικών εφαρμογών (HRS, FCEV, HD Trucks, Low/High Pressure Storage, Compression Systems, Software Development).
- Σχεδιασμός παρεμβάσεων για εξοικονόμηση στα συστήματα φωτισμού με λαμπτήρες LED, αυτόνομα φωτιστικά σώματα και έξυπνα συστήματα απομακρυσμένης διαχείρισης.
- Κατασκευή Σταθμών Αξιοποίησης Βιομάζας / Βιοαερίου για την εκμετάλλευση αγροτικών, αστικών ή βιομηχανικών αποβλήτων και υβριδικών συστημάτων για την παραγωγή (μέσω αναμόρφωσης) και αποθήκευση υδρογόνου
- Κατασκευή Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων και Συστημάτων Ηλεκτροκίνησης

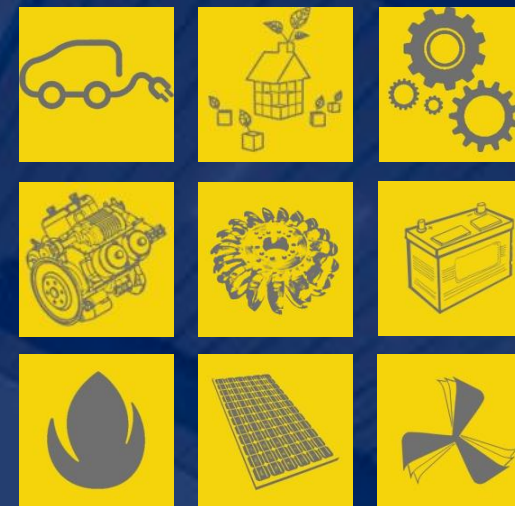
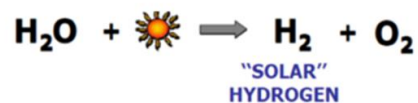


1^{ος} Πιλοτικός ΣΑΥ στην Αθήνα, "ΕΚΕΦΕ" Δημόκριτος (2022)



"I believe that water will one day be employed as fuel, that hydrogen and oxygen which constitute it, used singly or together, will furnish an inexhaustible source of heat and light, of an intensity of which coal is not capable. I believe then that when the deposits of coal are exhausted, we shall heat and warm ourselves with water. Water will be the coal of the future."

Jules Vernes (1870) *L'île mystérieuse*



MES ENERGY S.A.

CONTACT DETAILS

George Kaplanis, Head of H2 + EV Technologies Department

tel. +30 697 4769721 | email. gkaplanis@mese.gr

Σας ευχαριστώ πολύ !!!