



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των τεχνολογιών υδρογόνου

Δρ Γιώργος Αυγουρόπουλος

Αν. Καθηγητής Τμήματος Επιστήμης των Υλικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

Δρ Επαμεινώνδας Μητρονίκας

Επ. Καθηγητής Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας ΗΥ, Πανεπιστήμιο Πατρών



Ενέργεια-Περιβάλλον-Οικονομία

Παγκόσμιες Προκλήσεις: Η Ανάγκη για καθαρά καύσιμα



- ❑ Εξασφάλιση ενεργειακής τροφοδοσίας-μείωση blackouts
- ❑ Πυρηνική ενέργεια
- ❑ Επίδραση αερίων θερμοκηπίου στην κλιματική αλλαγή - COP21
- ❑ Επιπτώσεις εκπομπών καυσαερίων στην ποιότητα του αέρα
- ❑ Περιορισμένα αποθέματα & ισχυρή εξάρτηση στα ορυκτά καύσιμα:
 - Η ΕΕ εισάγει ~50% της ενέργειας που καταναλώνει
 - Υψηλή εξάρτηση σε αργό πετρέλαιο (>90%) και ΦΑ (66%)
 - Κόστος εισαγόμενης ενέργειας > 1 billion€/day
- ❑ Γεωπολιτικές εξαρτήσεις

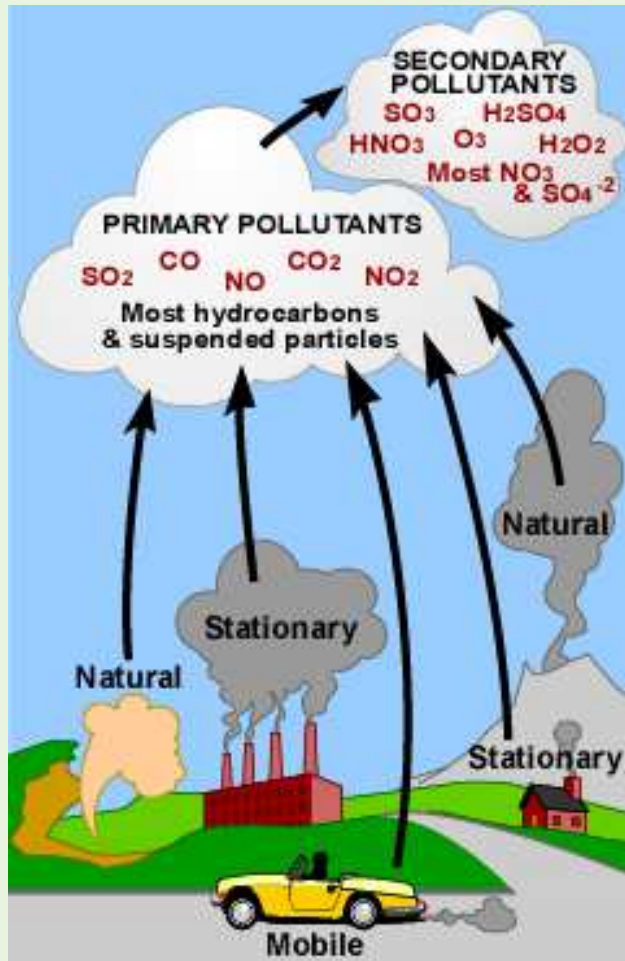
Σενάρια Τροφοδοσίας από Εναλλακτικές Πηγές Ενέργειας για ένα Βιώσιμο Μέλλον



Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των τεχνολογιών υδρογόνου



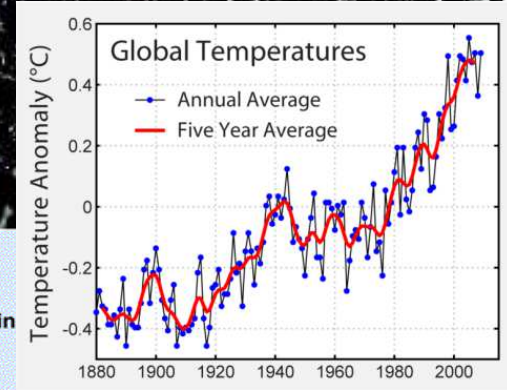
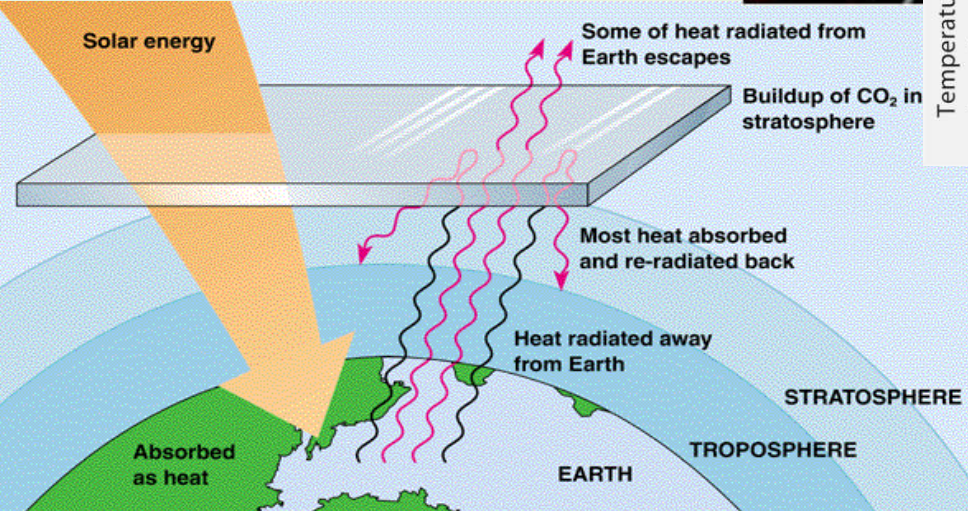
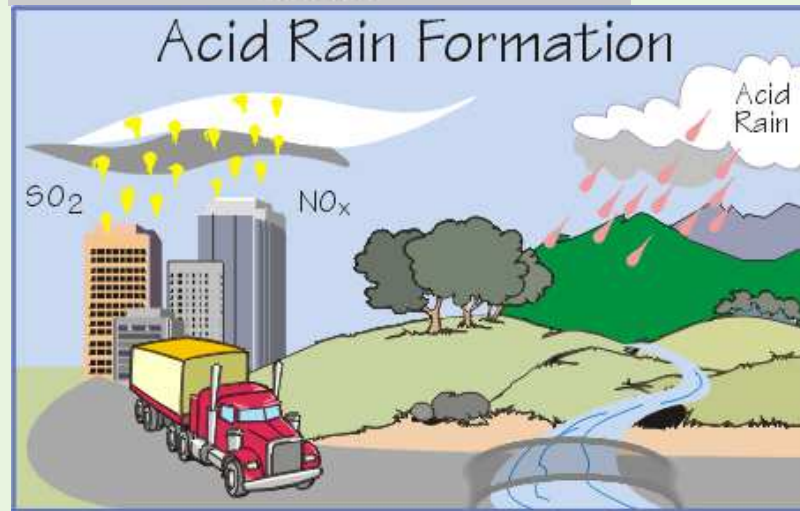
Παγκόσμιες Προκλήσεις: Ενέργεια-Περιβάλλον-Οικονομία



\$80
\$78
\$76
\$74
\$72
\$70
\$68



- Επιζήμιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις:
 - Μόλυνση ατμόσφαιρας (CO , NO_x , H/C)
 - Φαινόμενο θερμοκηπίου (εκπομπές CO_2)
 - Μόλυνση υδάτων
 - Φωτοχημικό νέφος
 - Όξινη βροχή
- Υψηλό κόστος αντιρρυπαντικών τεχνολογιών



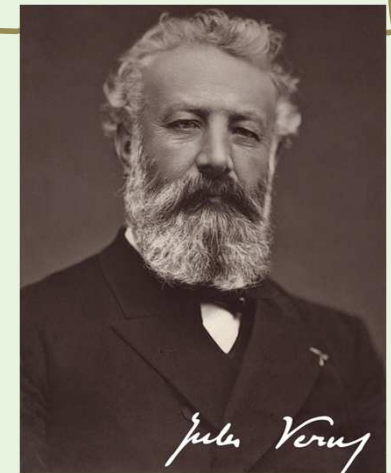
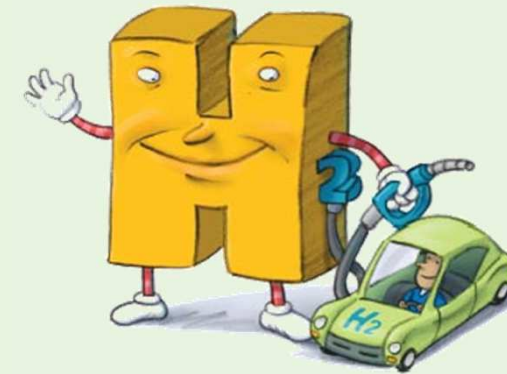
Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των τεχνολογιών υδρογόνου

Είναι το Υδρογόνο το καύσιμο του μέλλοντος?

- ❑ Άφθονο, καθαρό, αποδοτικό
- ❑ Με τη χρήση κυψελών καυσίμου, ιδανικό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής απόδοσης & μηδενικών ρύπων
- ❑ Προσφέρει γεωπολιτική ανεξαρτησία, αφού μπορεί να παραχθεί από διάφορες εγχώριες πηγές (βιομάζα, ήλιος, νερό)
- ❑ Οι πετρελαιοβιομηχανίες μπορούν να έχουν σημαντικό ρόλο σε μεταβατικό στάδιο προς την οικονομία του υδρογόνου

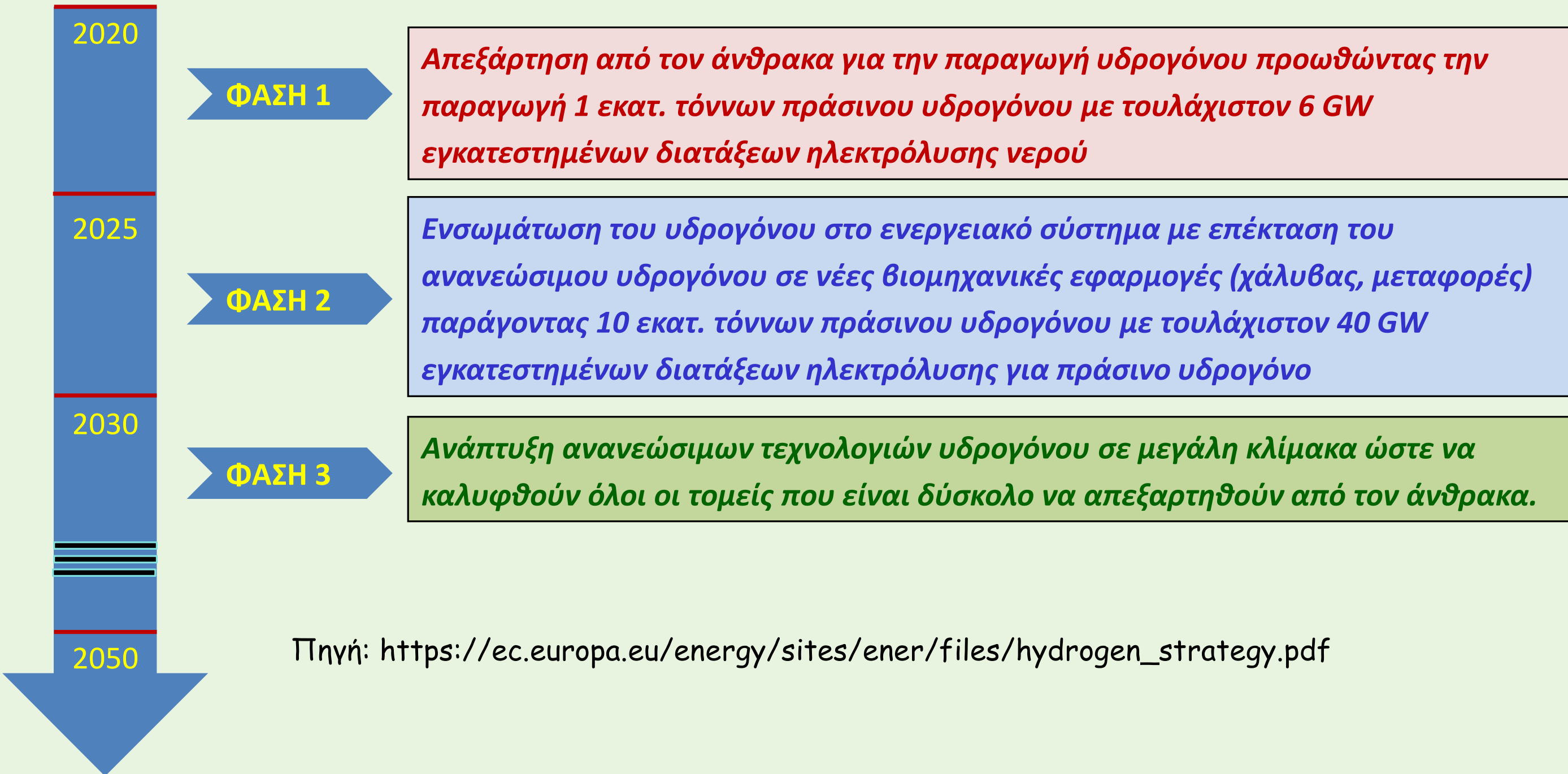
“Πιστεύω λοιπόν ότι όταν εξαντληθούν τα αποθέματα άνθρακα θα θερμαίνουμε και θα ζεσταθούμε με νερό. Το νερό θα είναι ο άνθρακας του μέλλοντος.”

Η μυστηριώδης νήσος, 1875





Οδικός χάρτης υδρογόνου για την ΕΕ

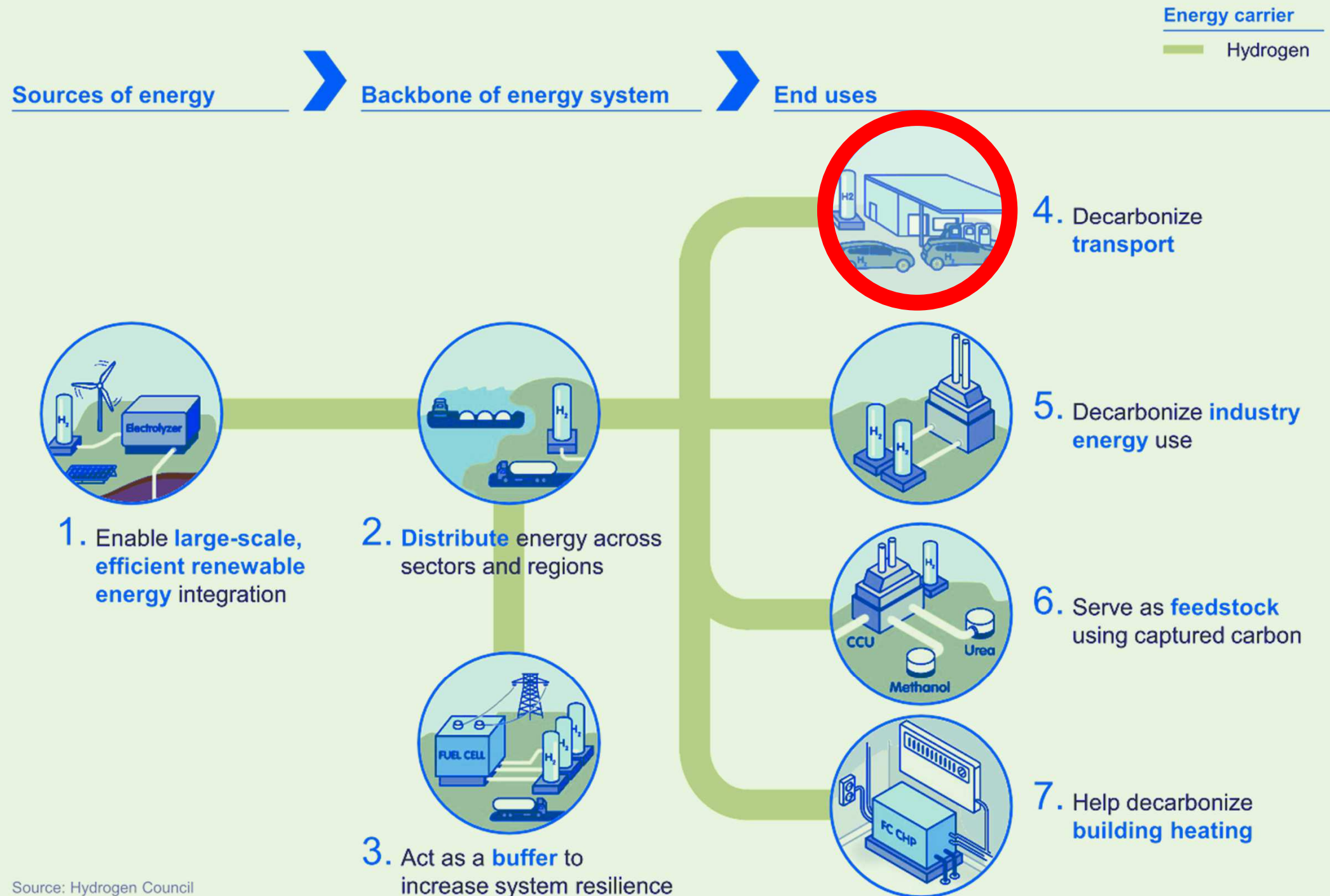


Πηγή: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf



- ❑ Ανάπτυξη και κατασκευή **διατάξεων ηλεκτρόλυσης νερού**: 24 - 42 billion € έως το 2030
- ❑ Αύξηση κλίμακας στην εγκατεστημένη παραγωγή ενέργειας από ηλιακά και αιολικά πάρκα σε 80 – 120 GW: 220 billion € με 340 billion € μέχρι το 2030
- ❑ Σε αντίθεση με άλλες χώρες και ειδικά τη Γερμανία, ο οδικός χάρτης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αναγνωρίζει **επενδύσεις για την παραγωγή υδρογόνου** από πηγές άνθρακα χαμηλού αποτυπώματος, ενσωματώνοντας τεχνολογίες δέσμευσης άνθρακα (ανανεώσιμα συνθετικά καύσιμα): περίπου **11 billion €**
- ❑ **Ανάπτυξη δικτύων και σταθμών μεταφοράς, διανομής, αποθήκευσης και ανεφοδιασμού για το υδρογόνο**: 65 billion €
- ❑ Εγκατεστημένη παραγωγή υδρογόνου έως το 2050: 180 με 470 billion €

Πράσινο Υδρογόνο για βιώσιμο μέλλον



Source: Hydrogen Council



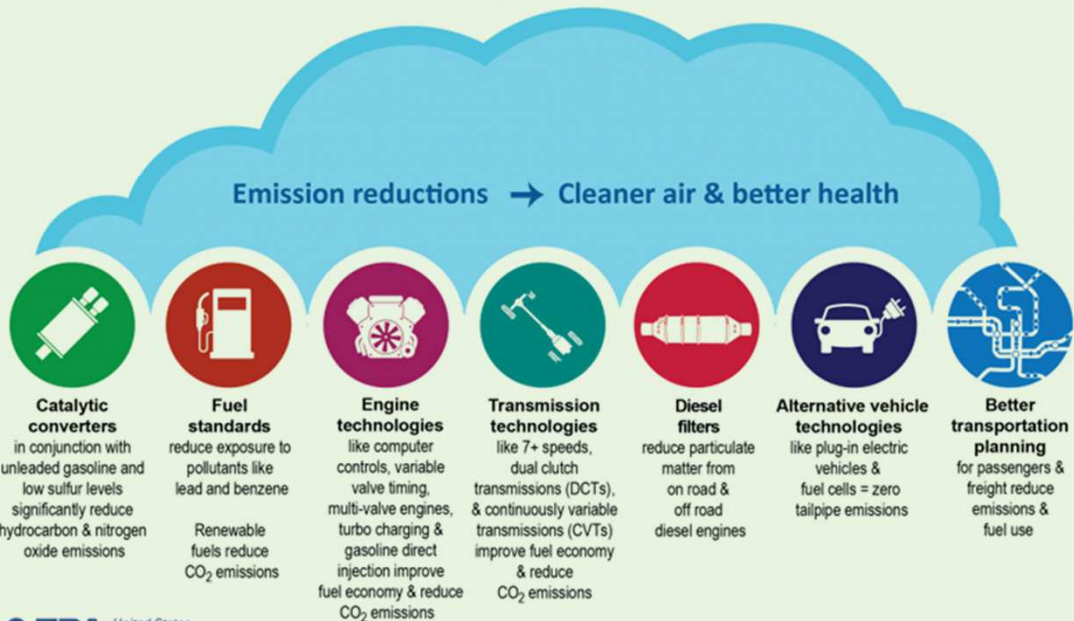
Ηλεκτροκίνηση με κυψέλες καυσίμου (α)



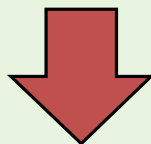
Sources of Transportation Air Pollution



Solutions for Transportation Air Pollution



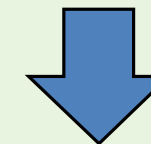
Η ΠΡΟΚΛΗΣΗ



- 1/5 των εκπομπών άνθρακα προέρχεται από την αυτοκίνηση.
- Για κάθε λίτρο βενζίνης που καταναλώνεται, εκπέμπονται 2.9 kg CO₂.

**ZERO EMISSIONS
ZERO COMPROMISE
(FCHEA)**

Η ΛΥΣΗ

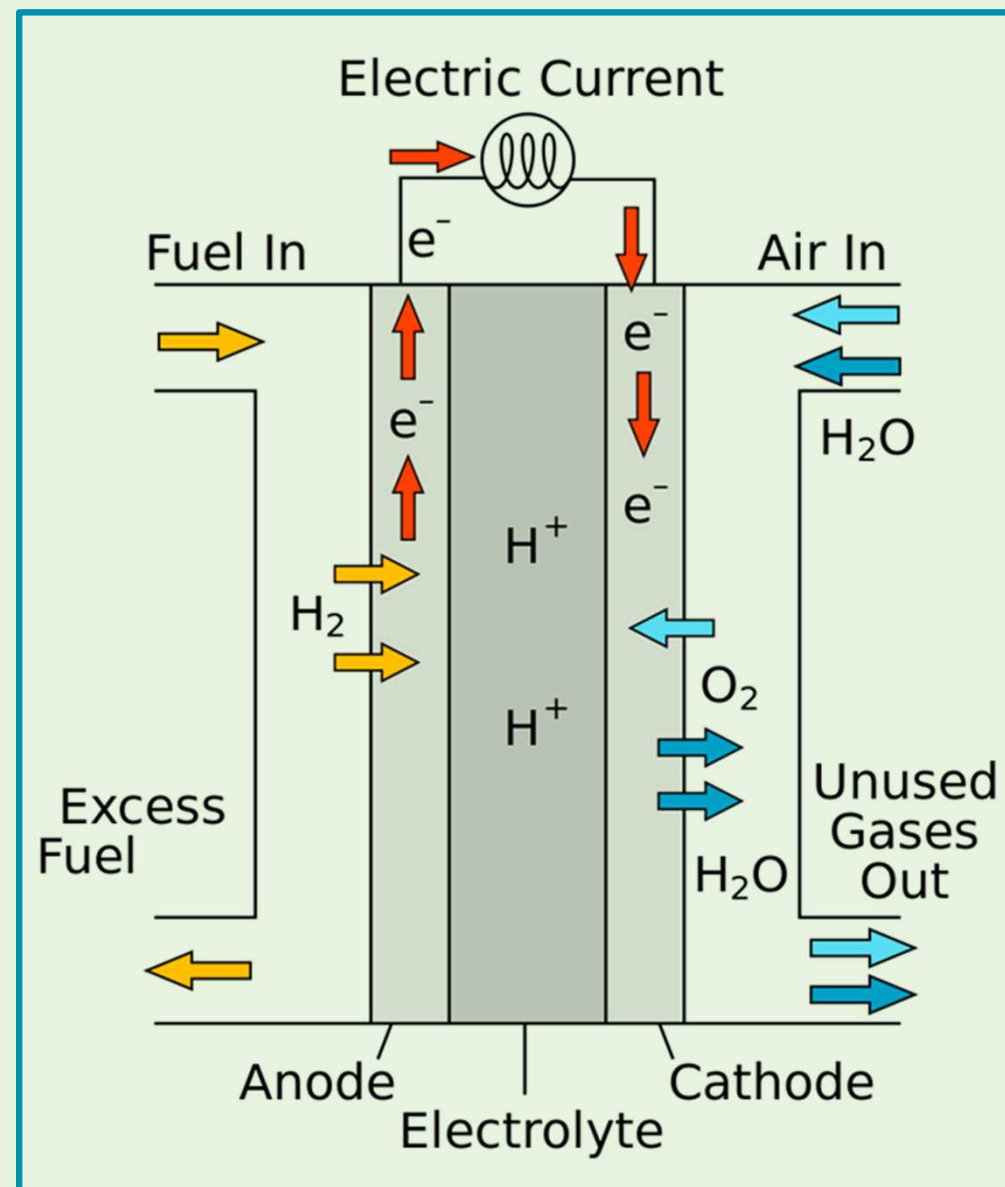


FUEL CELL VEHICLES

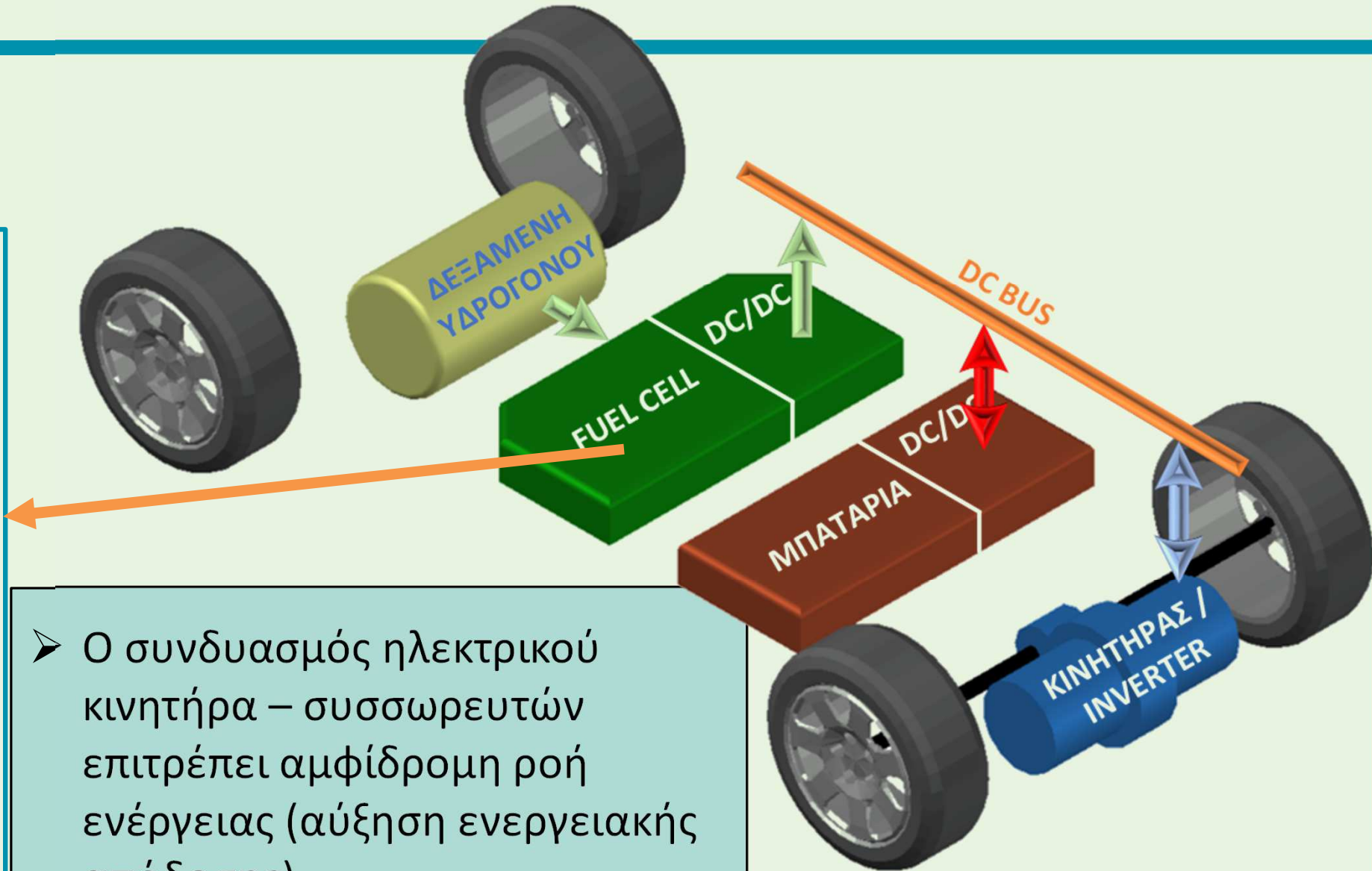
- Ηλεκτρικός κινητήρας
- Κυψέλες καυσίμου με μετατροπή H₂ σε ηλεκτρική ενέργεια σε συνδυασμό με μπαταρίες (υβριδική πηγή)
- Μεγαλύτερη αυτονομία
- Γρήγορος ανεφοδιασμός
- Μηδενικές εκπομπές (H₂O)

Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των τεχνολογιών υδρογόνου

Δομή ενός οχήματος με κυψέλες καυσίμου (α)



- Ο συνδυασμός ηλεκτρικού κινητήρα – συσσωρευτών επιτρέπει αμφίδρομη ροή ενέργειας (αύξηση ενεργειακής απόδοσης)
- Μεγαλύτερη αυτονομία
- Γρήγορος ανεφοδιασμός
- Μηδενικές εκπομπές (H_2O)



Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των τεχνολογιών υδρογόνου

Δομή ενός οχήματος με κυψέλες καυσίμου (β)

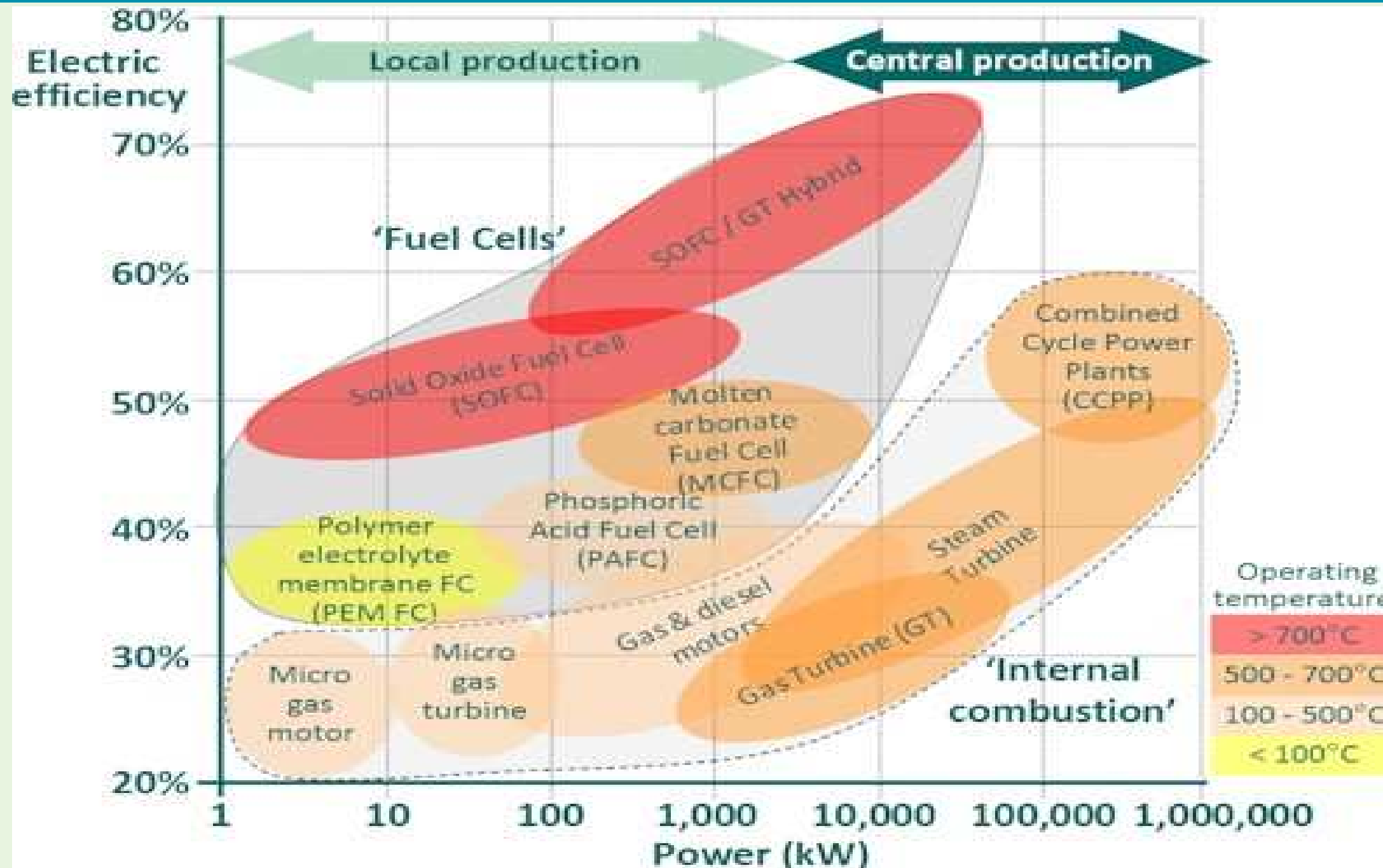
- Ο κινητήρας του οχήματος που στην ουσία είναι ηλεκτροκίνητο, τροφοδοτείται από μια υβριδική πηγή (Fuel cell, μπαταρία)
- Οι κυψέλες καυσίμου έχουν μεγάλη πυκνότητα ενέργειας και μικρή πυκνότητα ισχύος (ενδ. $>1\text{kWh/kg}$ και $\leq 400\text{W/kg}$ συμπεριλαμβανόμενων των βοηθ. κυκλωμάτων)
- Τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών είναι συμπληρωματικά (ενδ. $\leq 350\text{Wh/kg}$ και $>1\text{kW/kg}$)



Για τη βέλτιστη λειτουργία του κινητήριου συστήματος είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη στρατηγική για διαχείριση της ενέργειας της υβριδικής πηγής.



Fuel Cell efficiency



Πηγή: <http://www.energytransitiongroup.com/vision/localenergy.html>

Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των τεχνολογιών υδρογόνου



Μύθοι και πραγματικότητα για τα Fuel Cell Vehicles και το υδρογόνο

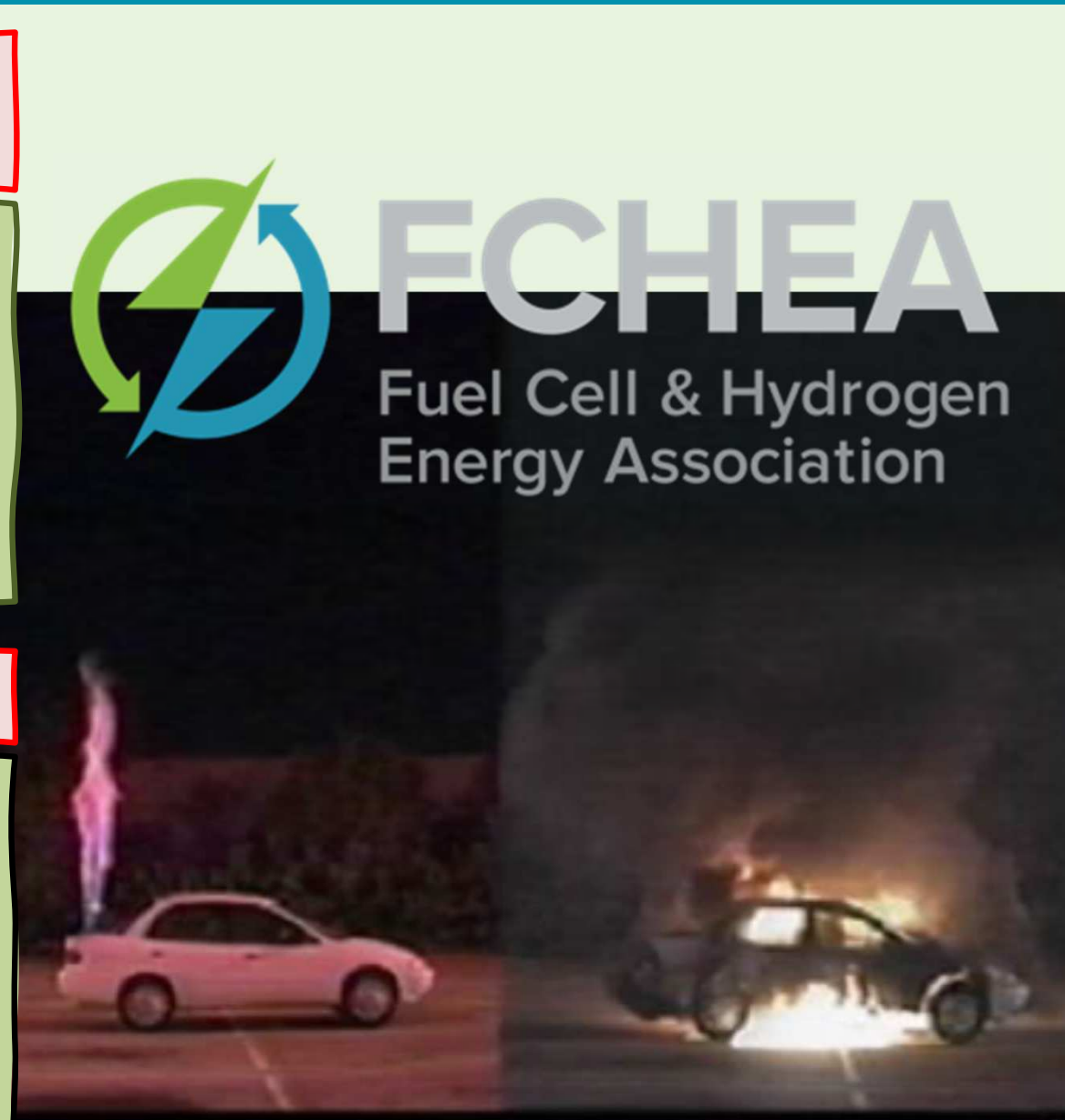


Μύθος: Το Υδρογόνο δεν είναι ασφαλές

Πραγματικότητα: Τα οχήματα κυψελών καυσίμου υπερκαλύπτουν τους αυστηρότερες υπάρχουσες προδιαγραφές ασφάλειας και είναι το ίδιο ή και πιο ασφαλή από τα συμβατικά

Μύθος: Τα FCVs είναι μη αποδοτικά

Πραγματικότητα: Η καύση στα συμβατικά βενζινοκίνητα οχήματα περιορίζει την απόδοση τους στο 17-20%, ενώ η ηλεκτροχημική αντίδραση του υδρογόνου στις κυψέλες καυσίμου οδηγεί σε αποδόσεις >35%, διπλασιάζοντας την αυτονομία για την ίδια ποσότητα καυσίμου



Μύθος: Τα FCVs μολύνουν το περιβάλλον

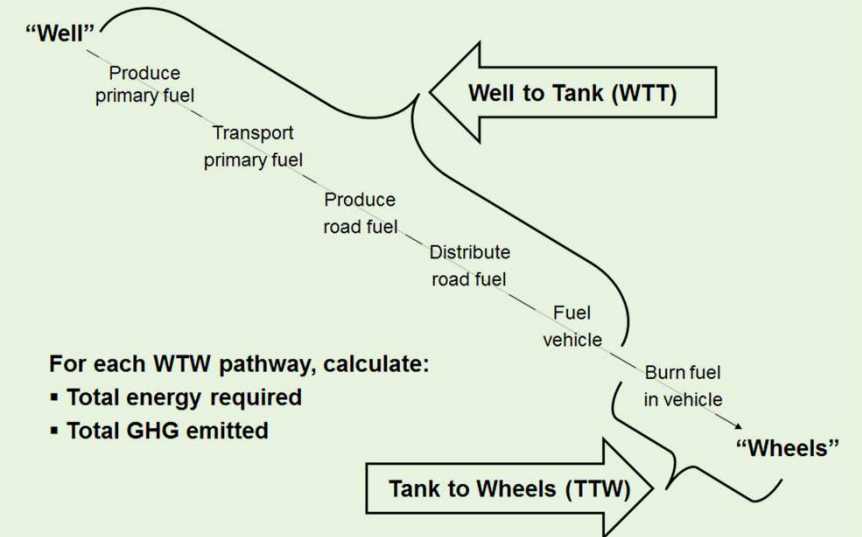
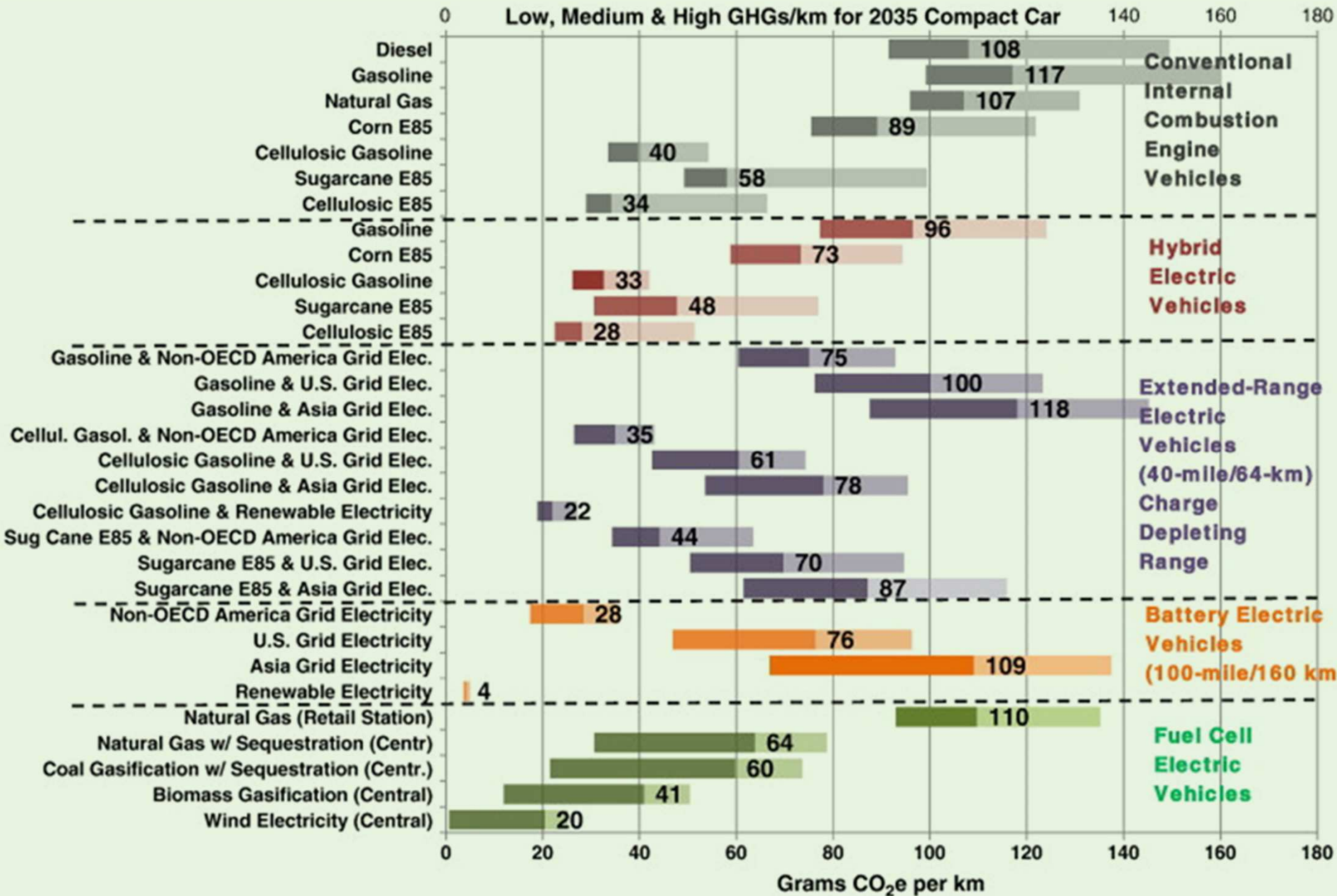
Πραγματικότητα: Μηδενικές εκπομπές ρύπου, μόνο καθαρό νερό, οδηγώντας σε ~50% μείωση των εκπομπών άνθρακα σε σχέση με ένα βενζινοκίνητο όχημα (συνολικός κύκλος H_2)

Μύθος: Δύσκολος & χρονοβόρος ανεφοδιασμός

Πραγματικότητα: εύκολος ανεφοδιασμός όπως και για τα βενζινοκίνητα οχήματα, σε 3-5min



Ηλεκτροκίνηση με κυψέλες καυσίμου



Πηγή: <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/activities/wtw>

Πηγή: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.09.001>

Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των τεχνολογιών υδρογόνου



Fuel Cell Vehicles, FCVs : 2500 οχήματα (Ιαν. 2020)

Χρόνος ανεφοδιασμού → 3-5 min

Αυτονομία → 500-700 km



Ασφάλεια

50 χρόνια το υδρογόνο σε παραγωγή, αποθήκευση, μεταφορά και χρήση από την παγκόσμια βιομηχανία

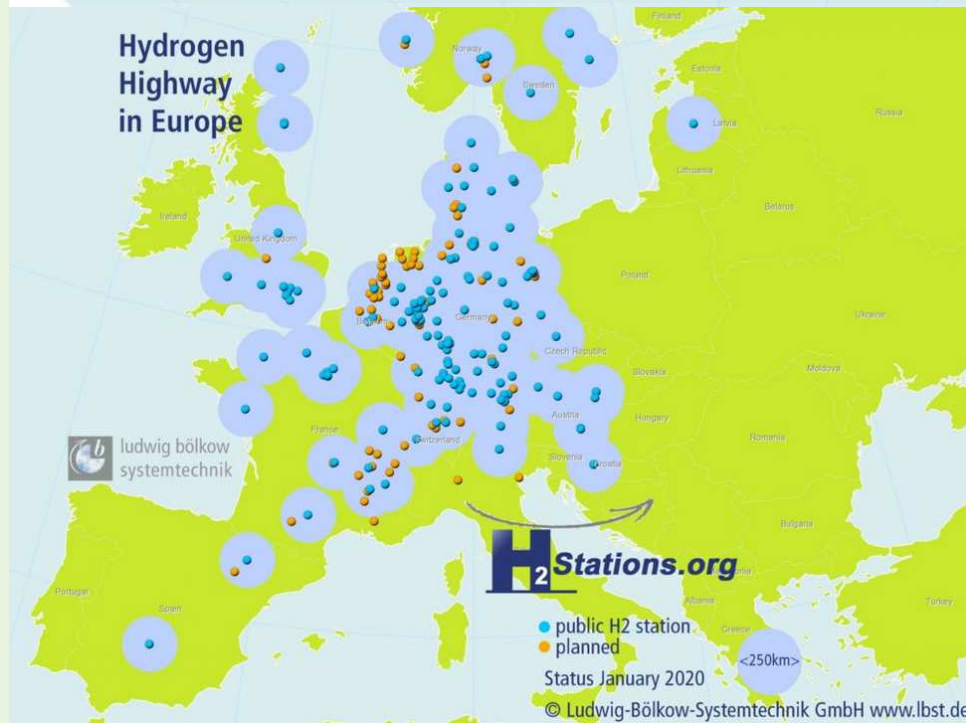
>25 million km οδήγησης οχημάτων κυψελών καυσίμου

Υπερκαλύπτουν τα αυστηρότερα κριτήρια ασφάλειας και ποιότητας για οδήγηση στους αυτοκινητοδρόμους (NHTSA, EURO7)

Πηγή: <http://www.fchea.org/>



Σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου (Ιανουάριος 2020)



Παγκόσμια κατάσταση (αρχές 2020)

- ✓ **Σύνολο: 432 σταθμοί**
- ✓ **330 σε δημόσια χρήση όπως οι συμβατικοί σταθμοί**
- ✓ **Τετραπλασιασμός τα 5 τελευταία χρόνια**
- ✓ **ΗΠΑ: 74 (48 στην Καλιφόρνια)**
- ✓ **ΑΣΙΑ: 173 (114 στην Ιαπωνία, 33 στην Κορέα, 26 στην Κίνα)**
- ✓ **ΕΥΡΩΠΗ: 177 (83 στη Γερμανία, 26 στη Γαλλία)**



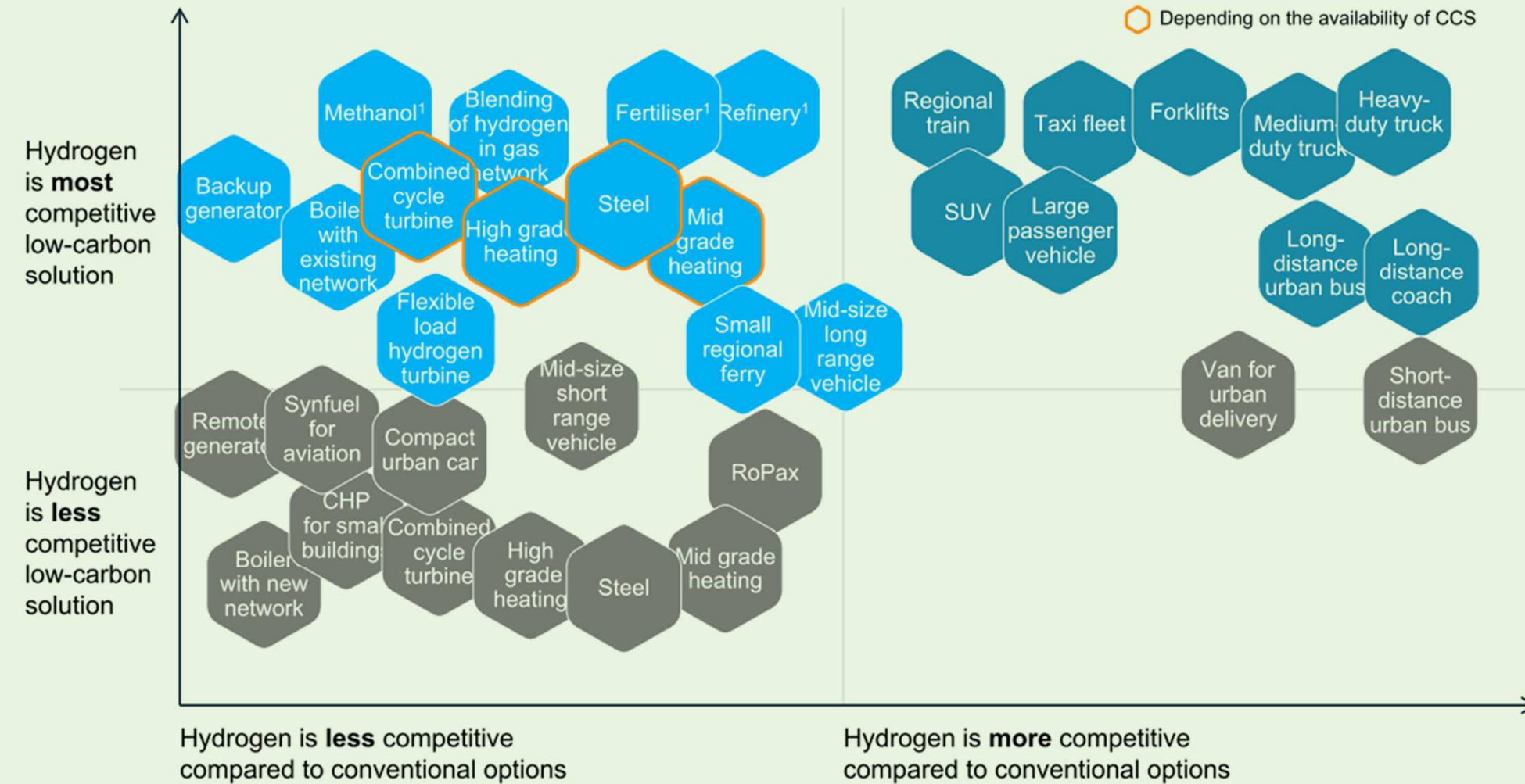
□ Ο τομέας των μεταφορών ευθύνεται για το 17% των εκπομπών CO₂ παγκοσμίως (6290 Mt).

□ Ο τομέας των μεταφορών ευθύνεται για το 17% των εκπομπών CO₂ παγκοσμίως (6290 Mt).

□ Συγκρίσιμο κόστος αγοράς με τα ηλεκτρικά οχήματα.

□ Κόστος καυσίμου:
 ➤ Βενζίνη: 0,09€ /km
 ➤ Υδρογόνο: 0,11€/km με πρόβλεψη να διαμορφωθεί στα 0,07€/km το 2025.

(πηγή: <https://cafcp.org/content/cost-refill>)



1. Hydrogen is the only alternative and low-carbon/renewable hydrogen competing with grey (optimal renewable or low-carbon shown)



Επιβατικά οχήματα



Πηγή: wikipedia

Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των
τεχνολογιών υδρογόνου



FCVs στις μεταφορές



Πηγή: <http://www.fchea.org/transportation>

Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των
τεχνολογιών υδρογόνου





FCVs στα μέσα σταθερής τροχιάς



Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των
τεχνολογιών υδρογόνου

FCVs στην αεροπλοΐα



Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των τεχνολογιών υδρογόνου



Πηγή: wikipedia





FCVs στη ναυτιλία



Πηγή: <http://www.fchea.org/transportation>

Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των τεχνολογιών υδρογόνου

FC σε μη επανδρωμένα οχήματα



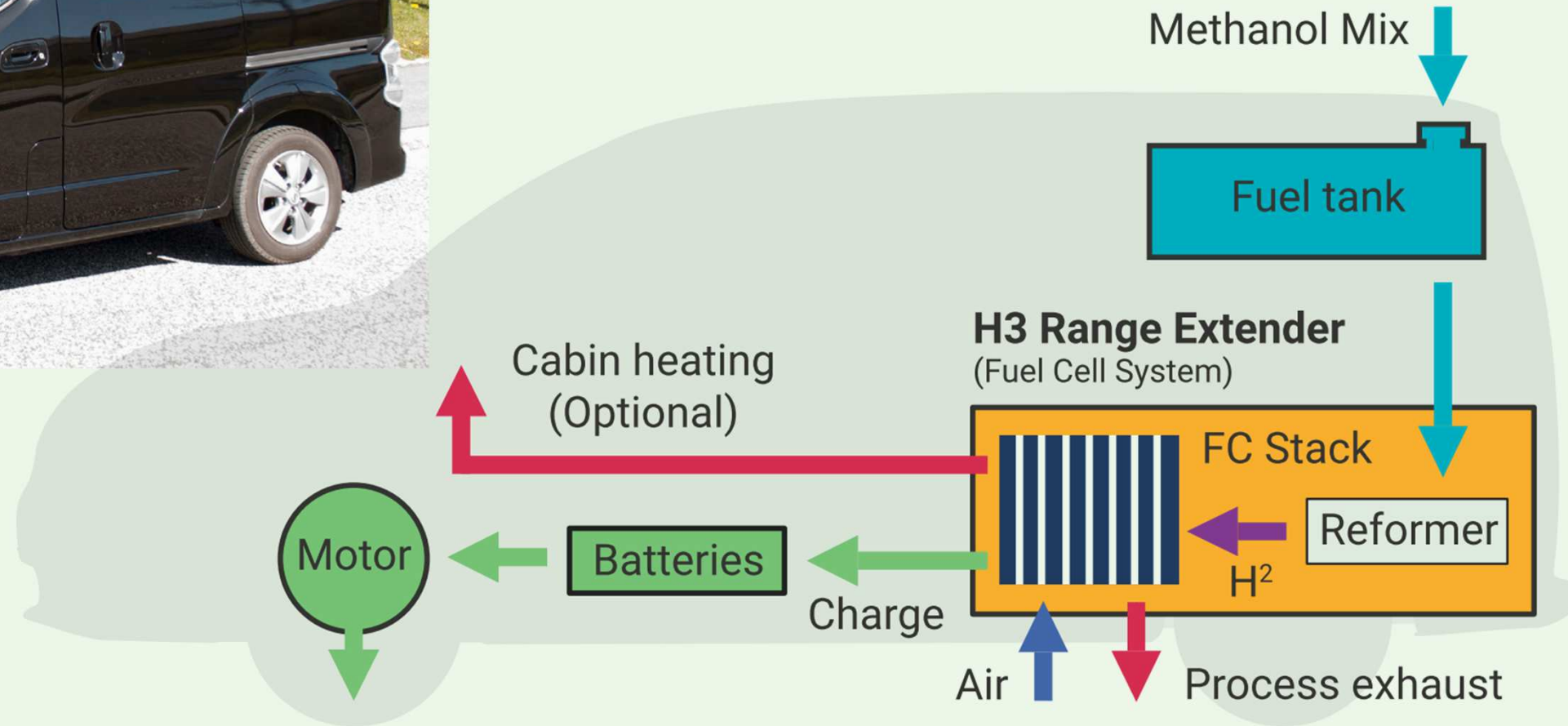
Πηγή: <http://www.fchea.org/transportation>



Πηγή: <https://www.jwnenergy.com>



Reformed Methanol Hybrid Fuel Cell Vehicle



H₃NV200 Methanol Fuel Cell Hybrid

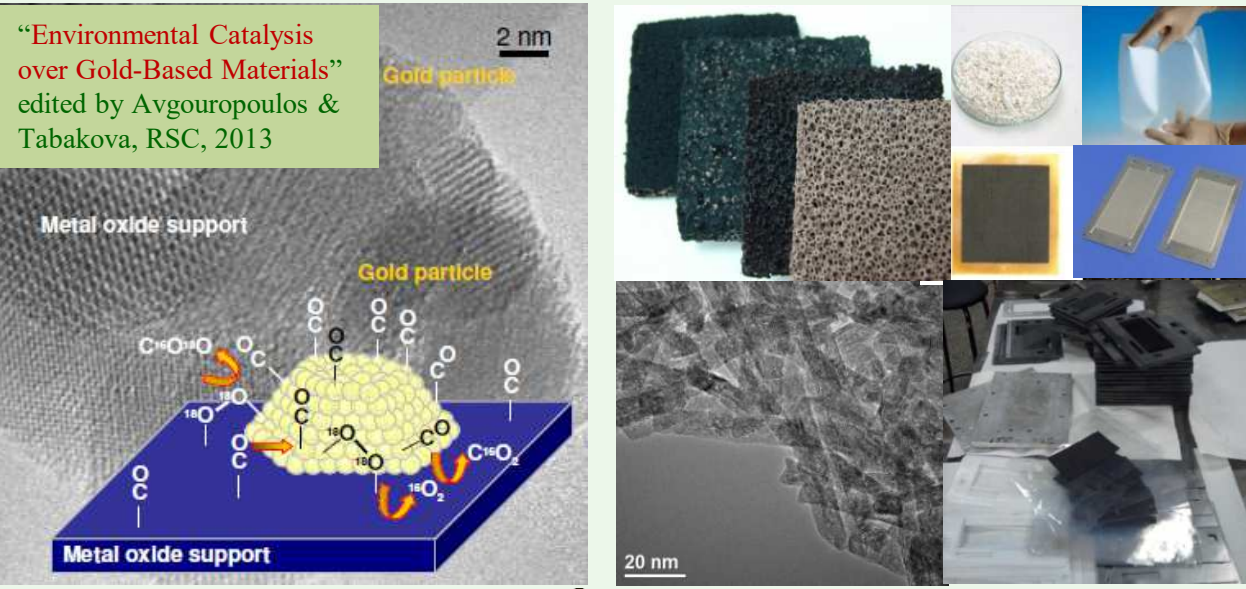
Πηγή: www.serenergy.com

Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των τεχνολογιών υδρογόνου



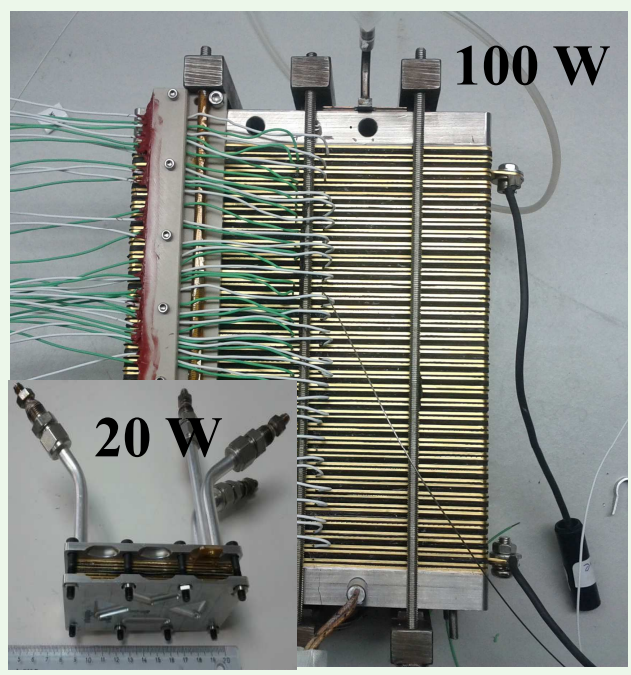
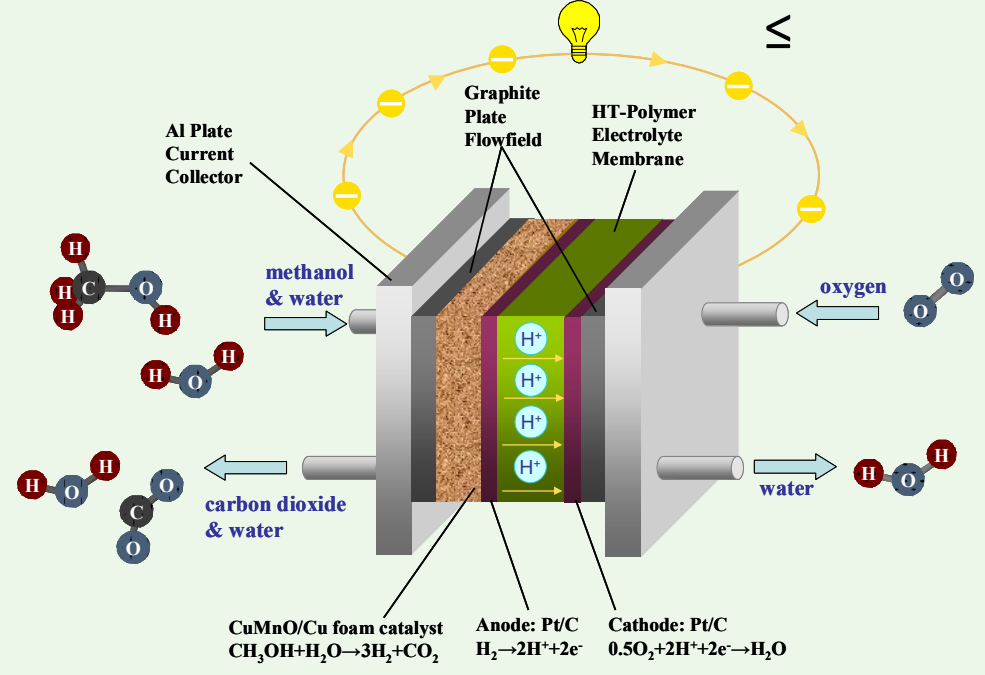
Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των τεχνολογιών υδρογόνου

“Environmental Catalysis over Gold-Based Materials”
edited by Avgouropoulos & Tabakova, RSC, 2013



Ερευνητικές δραστηριότητες

- Νανοδομημένα υλικά για ενεργειακές & περιβαλλοντικές εφαρμογές
- Καταλυτικές διεργασίες **υδρογόνου** για τεχνολογίες **κυψελίδων καυσίμου**
- Περιβαλλοντική κατάλυση (οξείδωση CO)
- **Internal Reforming Methanol Fuel Cell**
- Νανοϋλικά για μπαταρίες ιόντων Li & Na



Χρηματοδότηση & συντονισμός ευρωπαϊκών και εθνικών έργων σε κυψελίδες καυσίμου και μπαταρίες >5m€

- ✓ IRMFC (FCH-JU; 2013-2016)
- ✓ METHCELL (Greece-China; 2019-2022)
- ✓ BaNaNa (Research-Creat-Innovate; 2020-2023)

Internal Reforming Alcohol Fuel Cell
G. Avgouropoulos et al., US Patent 200861/095,779 (10 Sep. 2008)

συνεργασίες

Fraunhofer/IMM, ITE/IEXMH, UMCS, Adamant, Pleioni, Advent, UoI



Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας

L.E.M.E.C.

Laboratory of
Electromechanical
Energy Conversion

Διευθυντής: Ε. Τατάκης

E.C.R.G.

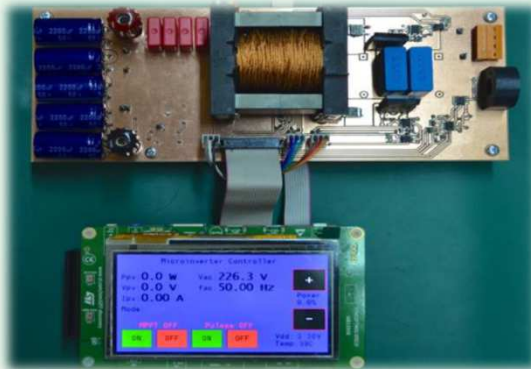
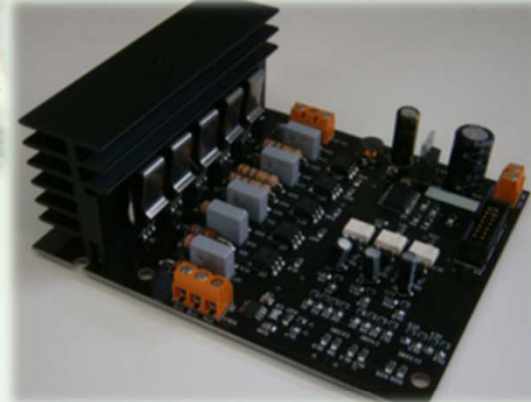
Energy Conversion
Research Group

E.M.R.G.

Electrical Machines
Research Group

E.D.R.G.

Electric Drives
Research Group



Ερευνητικές δραστηριότητες

- Μοντελοποίηση, ανάλυση και σχεδιασμός Ηλεκτρικών Μηχανών
- Μοντελοποίηση, Ανάλυση και Κατασκευή Ηλεκτρονικών Μετατροπών ισχύος: Μετατροπείς DC/DC, Ηλεκτρονικοί Μετατροπείς Ισχύος για τον Έλεγχο Ηλεκτρικών Μηχανών, Ηλεκτρονικοί Μετατροπείς Ισχύος για ΑΠΕ.
- Συστήματα ηλεκτροπρόωσης Ηλεκτρικών και Υβριδικών Οχημάτων.
- Οδήγηση και έλεγχος Ηλεκτροκινητηρίων Συστημάτων – μέθοδοι ανεκτικοί σε σφάλματα.
- Διάγνωση Σφαλμάτων Ηλεκτροκινητηρίων Συστημάτων.
- Απομακρυσμένος Έλεγχος Ηλεκτρικών Κινητηρίων Συστημάτων.
- Μικροδίκτυα ΑΠΕ - Διεσπαρμένη Παραγωγή.

Πάνω από 40 Ερευνητικά προγράμματα, χρηματοδοτούμενα από:

- ✓ Εθνικά και Ευρωπαϊκά κονδύλια
- ✓ Εγχώρια ή Ξένη βιομηχανία

Προοπτικές ηλεκτροκίνησης μέσω των τεχνολογιών υδρογόνου

ενδ. συνεργασίες

Innovative Technologies Center, Eurocopter, FARAD S.A., MILTECH HELLAS, KLEEMAN S.A.