

Υδρογόνο και κύψελες καυσίμου

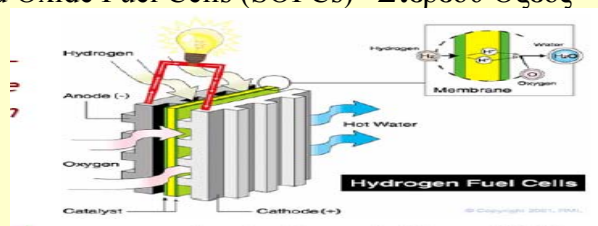
Αντώνιος Γ. Τσικαλάκης
Ηλ/γος Μηχ/κος & Μηχ/κος Η/Υ ΕΜΠ

ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

1

Κυψέλες Καυσίμου

- Χρησιμοποιούν Υδρογόνο: μετατρέπουν υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό και ηλεκτρισμό
- Alkaline Fuel Cells (AFCs)-Αλκαλικές
- Phosphoric Acid Fuel Cells (PAFCs)-Φωσφορικού οξέος
- Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFCs)- Πολυμερών
- Molten Carbonate Fuel Cells (MCFCs) –Λειωμένων καρβονιδίων
- Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs) –Στερεού Οξέος



ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

2

Κυψέλες Καυσίμου

- Αν για την παραγωγή του υδρογόνου χρησιμοποιηθεί βιομάζα(με φυσικοχημικές διεργασίες) η περίσσεια από ΑΠΕ τότε κατατάσσονται στις ΑΠΕ.
- Δεν εκπέμπονται ρύποι κατά τη λειτουργία τους
- Παράγουν συνεχή τάση και έχουν υψηλή απόδοση

ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

3

Κυψέλες Καυσίμου

- Αν για την παραγωγή του υδρογόνου χρησιμοποιηθεί βιομάζα(με φυσικόχημικές διεργασίες) η περίσσεια από ΑΠΕ τότε κατατάσσονται στις ΑΠΕ.
- Δεν εκπέμπονται ρύποι κατά τη λειτουργία τους
- Παράγουν συνεχή τάση και έχουν υψηλή απόδοση
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συμπαραγωγή



ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

4

Κυψέλες Καυσίμου- Παράδειγμα

- PEM -2kWe και 3.5kWth, 32% απόδοση Ηλεκτρισμού, 87% συνολική
- Εξωτερικές Διαστάσεις 73 by 76 by 36cm-64kg



www.ballard.com



ΛΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

5

Ιδανικές Εφαρμογές Κυψελών καυσίμου

- Συστήματα Υψηλής Διαθεσιμότητας
 - Data Centers
 - Κατασκευαστές Chip
 - Εγκαταστάσεις Άμυνας
- Εφαρμογές που αξιοποιούν υποπροϊόντα καυσίμου
 - Εγκαταστάσεις Πετροχημικών
 - Εγκαταστάσεις επεξεργασίας κρέατος
- Εφαρμογές Συνδυασμένου εργοστασίου
 - Φυλακές, Ξενοδοχεία, Εγκαταστάσεις Πλυσταριών
 - Επεξεργασία τροφίμων

Emission Levels and Sound Pressure Levels		
Emissions	PC25A Power Plant Emissions at 200kW (ppmv, 15% O ₂ , Dry)	California Standards for Combustion Engines
NO _x	1	36
SO _x	Neglible	-
Particulates	Neglible	-
Smoke	None	-
CO	5	2000
Non-Methane Hydrocarbons	1	250 (Reative Organic Gases)
Noise	62 dBA at 30 feet from the Power Module	
Heat	Low Grade: 700,000 BTUH at 140 deg F High Grade: 300,000 BTUH at 240 deg F	
Electricity	200 kW at 480V, 3 phase, 3 wire	

Source: ONSI Corporation (1996)

ΛΙΓΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

7

Κυψέλες Καυσίμου Φωσφορικού Οξέος- PAFCs

- 150 - 220 deg C Θερμοκρασία λειτουργίας
- H₃PO₄ Ηλεκτρολύτης
- Χρήση σε σταθερές και μεταφέρσιμες εφαρμογές
 - ONSI 200 kW Μονάδες
 - Λεωφορεία με κυψέλη καυσίμου
- Αξιοπιστία 96% στις εμπορικές εφαρμογές
- Κόστος \$850,000 για 200 kW
- Θόρυβος (>62 dBA στα 10μ)
- Demonstrated fuel sources include: natural gas, propane, hydrogen, or landfill gas

Κυψέλες Καυσίμου Φωσφορικού Οξέος-PAFCs

•Πλεονεκτήματα:

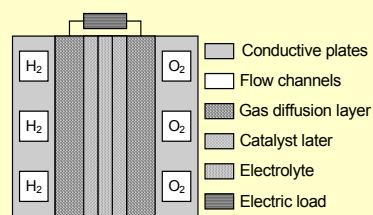
- Εμπορικά διαθέσιμη (200kW μονάδες)
- Αποδεδειγμένη λειτουργία σε Φυσικό Αέριο, Υδρογόνο, αέριο χωματερής και μεθάνιο
- Χαμηλές εκπομπές
- Υψηλή διαθεσιμότητα

•Μειονεκτήματα

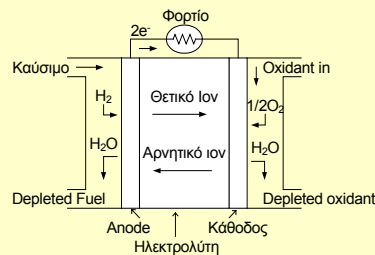
- Υψηλό κόστος καταλύτη (PT)
- Χρειάζεται εξωτερικό πο αναμορφωτή
- CO, NH₃, and S poison reformer
- κόστος \$3250 – 4500/kW

PEM Fuel Cells

- Η μεμβράνη Πολυμερών είναι σαν sandwich μεταξύ 2 ηλεκτροδίων, περιλαμβάνοντας ένα στρώμα gas diffusion layer (GDL) και ένα λεπτό στρώμα καταλύτη.



- The membrane-electrode assembly (MEA) is pressed by two conductive plates περιλαμβάνοντας διαδρομές για να επιτρέπει τη ροή της αντίδρασης.

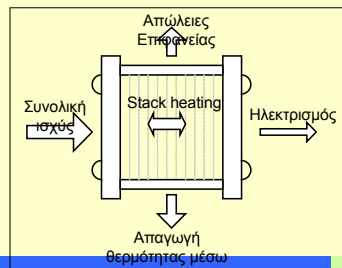


Thermal Model

- Η τάση της Κυψέλης Καυσίμου εξαρτάται από τη θερμοκρασία της συστοιχίας
- Η θερμοκρασία εξαρτάται από το ρεύμα φορτίου, την ψύξη κλπ.
- Ολική ισχύς (απο υδρογόνο) =
Ηλεκτρική Παραγωγή + Ψύξη + Απώλειες επιφανείας + Θερμότητα
- Μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν 1ης τάξης μοντέλο

$$C_{t_fc} \frac{dT'_{fc}}{dt} = \dot{Q}_{stack_fc}$$

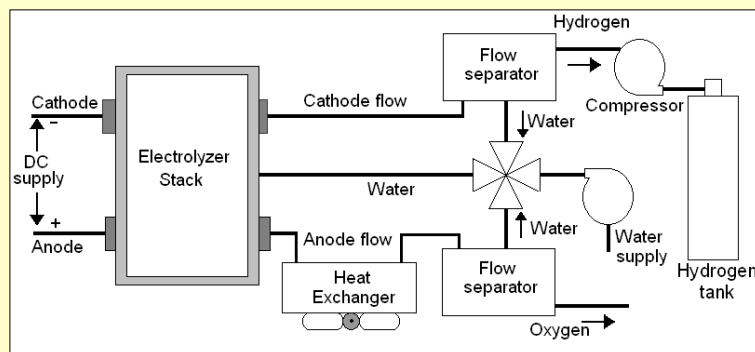
$$C_{t_fc} \frac{dT'_{fc}}{dt} = P_{tot_fc} - P_{fc} - \dot{Q}_{cool_fc} - \dot{Q}_{loss_fc}$$



Model Formulation

11

Ηλεκτρολύτης-Block Diagram λειτουργίας

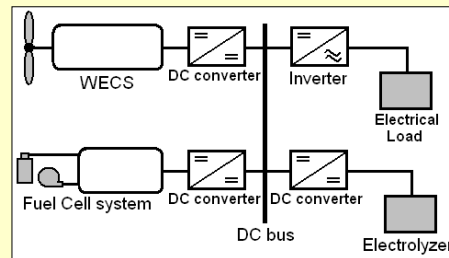


Model Formulation

12

Μετατροπείς Ηλεκτρονικών Ισχύος- Παράδειγμα

- Μεταβλητή έξοδος DC A/Γ –Κυψέλης Καυσίμου σε συνδυασμό με ζυγό 200 V DC
- Φορτίο: 120 V, 60Hz
- Μοντελοποίηση μόνιμης κατάστασης DC-DC μετατροπέων
- απλοποιημένο μοντέλο αντιστροφέα σε συνδυασμό με φίλτρο LC
- Χρησιμοποιούνται ελεγκτές PID



Model Formulation

13

Παράγουν DC άρα... χρειάζονται αντιστροφέα

- Ενδεικτική ονομασία Hydro Boy (SMA)

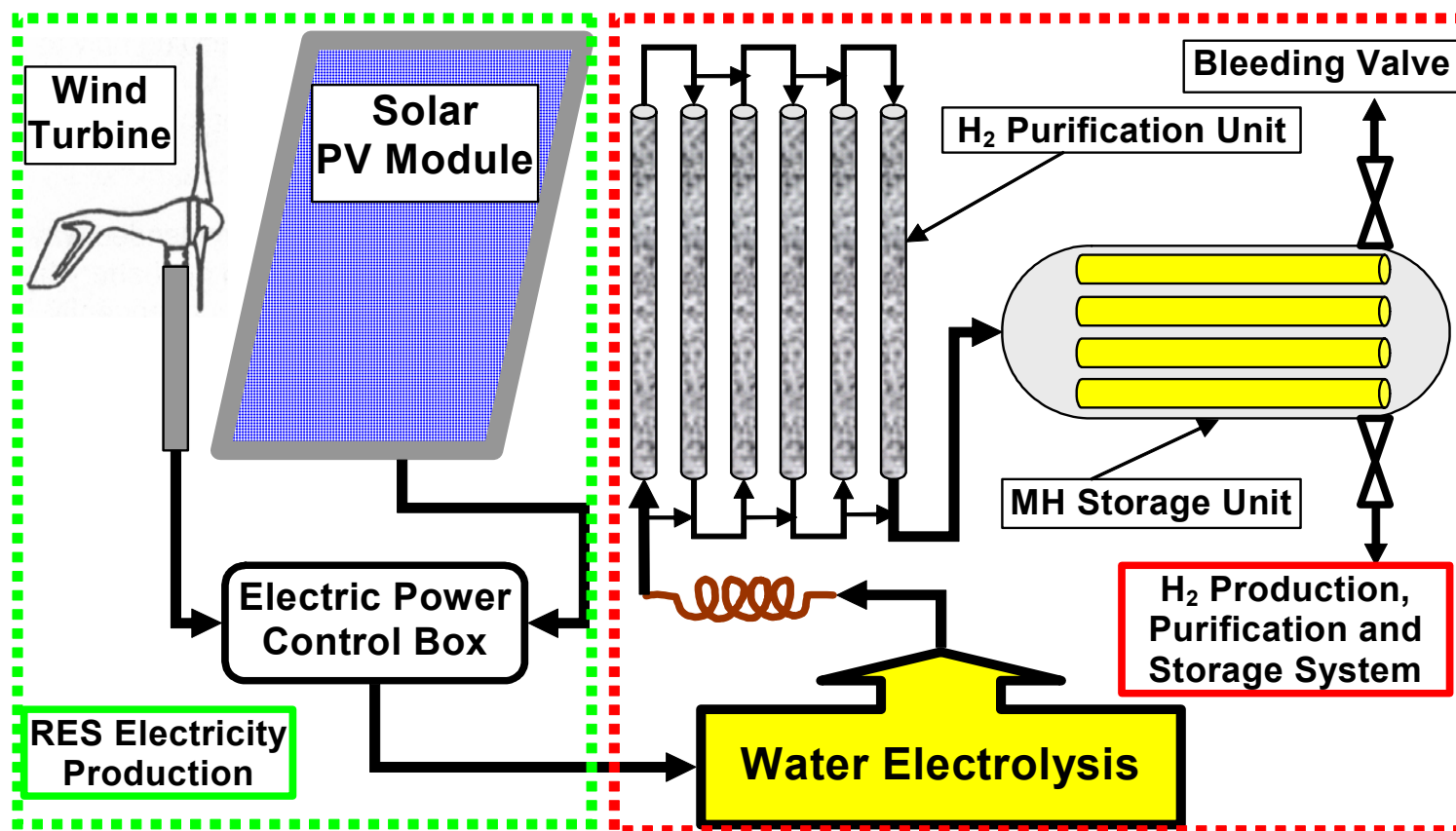


ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

14

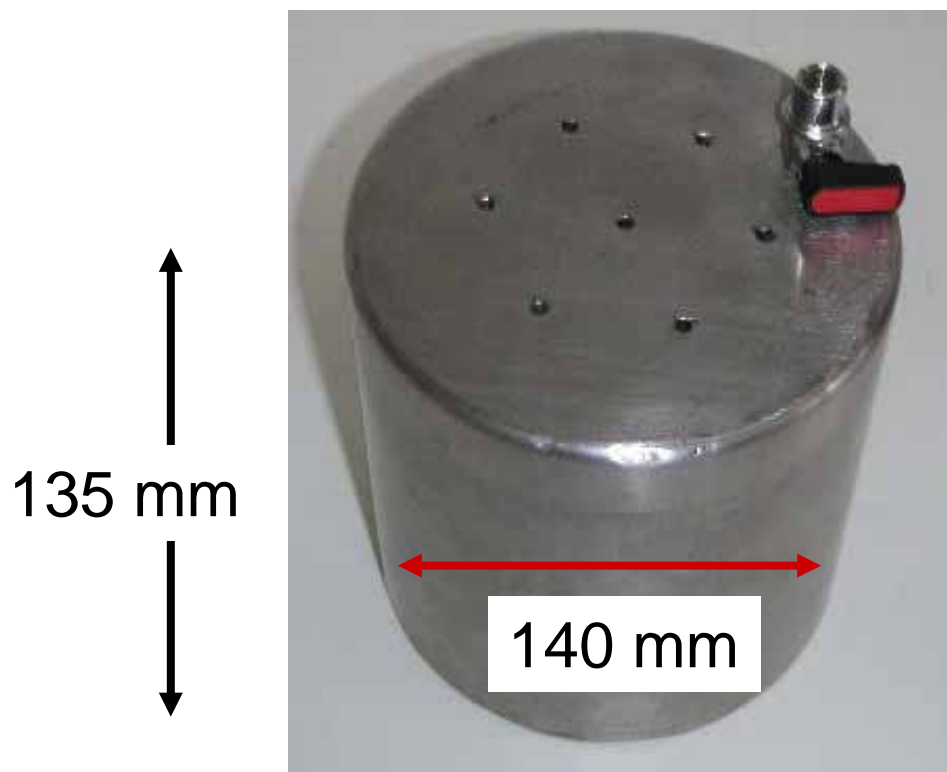


Pilot unit for the production, purification and storage of hydrogen by using Renewable Energy Sources such as, Solar and Wind energy





Air/water-cooled cylindrical units (500-2000 NlitersH₂)



1110 NlitersH₂



Air/water-cooled multi-tubular units (1000-5000 NlitersH₂)



1000 NlitersH₂





Air/water-cooled Aluminum Canister (1500 NlitersH₂) On the move (Golf Cart)

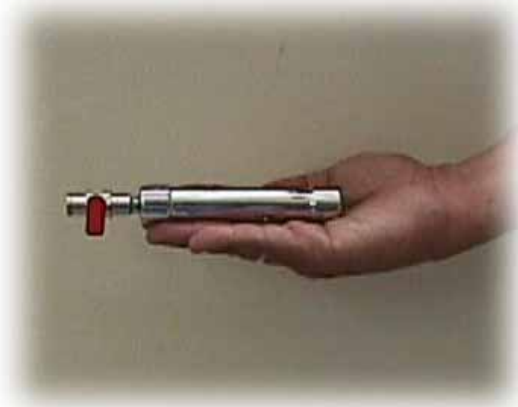




Air/water-cooled tubular units (10-2000 NlitersH₂)



20 NlitersH₂





Air/water-cooled tubular units (10-2000 NlitersH₂)



100 NlitersH₂



Air/water-cooled tubular units (10-2000 NlitersH₂)



100, 50 NlitersH₂



150 NlitersH₂



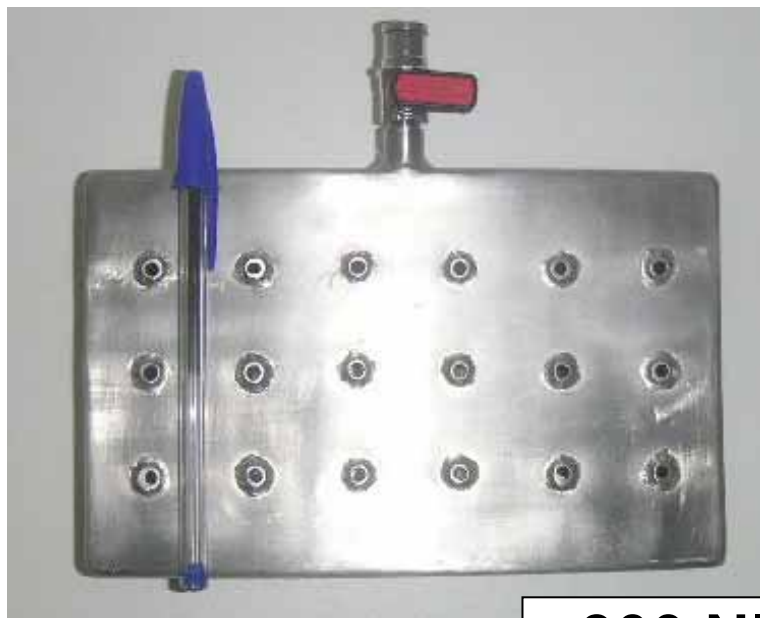
Air/water-cooled rectangular units (50-100 NlitersH₂)



50-75-100 NlitersH₂



Air/water-cooled rectangular units (100-5000 NlitersH₂)



300 NlitersH₂



Air/water-cooled multi-tubular units (1000-5000 NlitersH₂) On the move (City Car)

GREEN - CITYCAR TROPICAL FUEL CELLS - MODULAR - CITYCAR



VARIOUS TYPES OF MODULAR - BODIES FOR THE MODULAR-CHASSIS OF THE GREEN-CITYCAR



TROPICAL SA PRESENT ON 15 JUNE 2003 THE FIRST IN EUROPE FUEL CELLS - MODULAR - CITYCAR. THE PHILOSOPHY OF THIS FUEL CELLS - CITYCAR IS THAT THE CONSTRUCTION HAS BEEN MADE WITH THE "MODULAR" METHOD. THE "MODULAR-CHASSIS" INCLUDES THE FUEL CELLS - ENGINE, THE FRONT AXLE THE REAR AXLE WITH THE DRIVE MOTOR, THE BRAKES AND THE ELECTRIC SYSTEM. THEN THE BODY MANUFACTURER INSTALL ON THE "MODULAR-CHASSIS" DIFFERENT "MODULAR-BODIES". THE CITYCAR FUEL CELLS ENGINE IS A DEVICE WHICH CONVERTS HYDROGEN & OXYGEN INTO ELECTRICITY. HYDROGEN CAN CONVERT ENERGY WITH UP TO 80% EFFICIENCY AND BE TOTALLY EMISSION FREE (ONLY WATER).

TROPICAL TROPICAL S.A. - 98 L. KIFISOU
12132 - PERISTERI - ATHENS - GREECE
TEL:0030-210-5785455 * FAX:0030-210-785457
INTERNET : www.otenet.gr/tropical * E-mail : tropical@otenet.gr

FUEL CELLS & HYDROGEN TECHNOLOGY- RESEARCH & DEVELOPMENT

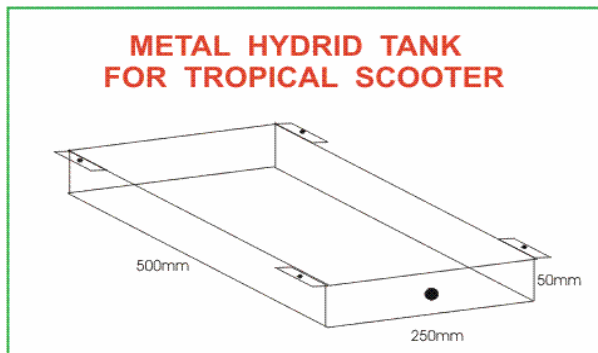
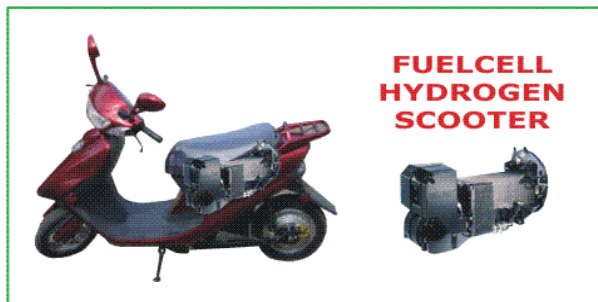


1000 NlitersH₂



Air/water-cooled multi-tubular units (1000-5000 NlitersH₂) On the move (Scooter)

GREEN TRANSPORTATION BY TROPICAL

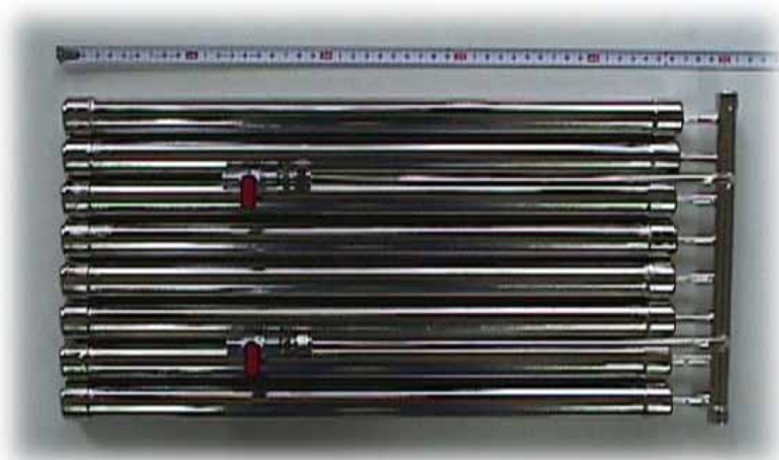
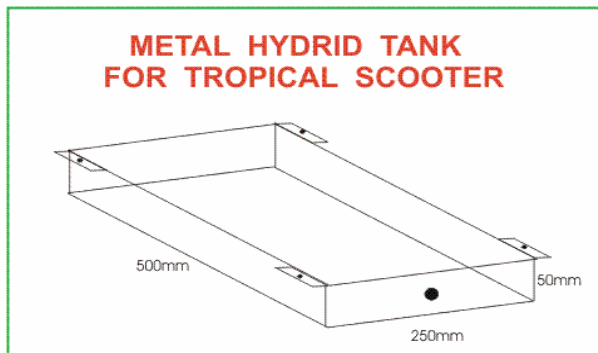
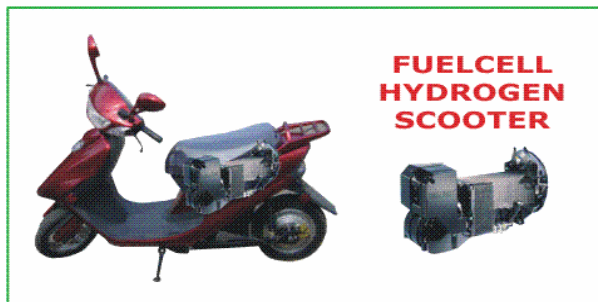


1000 NlitersH₂



Air/water-cooled multi-tubular units (1000-5000 NlitersH₂) On the move (Scooter)

GREEN TRANSPORTATION BY TROPICAL



1000 NlitersH₂



Water-cooled multi-tubular System (30000 NlitersH₂)



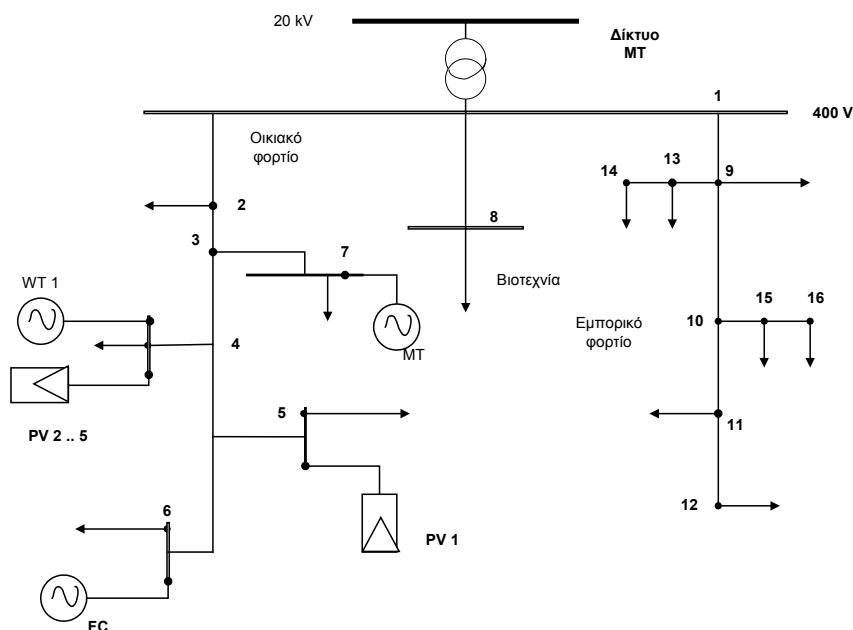
Πιν. 1-5 Σύνοψη των κυριότερων χαρακτηριστικών των κυψελών καυσίμου [2,3,4]

	AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Ηλεκτρολύτης	Υδροξείδιο του καλίου	Πολυμερές	Πολυμερές	Φωσφορικό Οξύ	Μίγμα Ανθρακικών Αλκαλίων	Σταθεροποιημένο ζirkόνιο
Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	60-90	70-100	90	150-220	600-700	650-1000
Θερμότητα από Συμπαγωγή	Καθόλου	Χαμηλής ποιότητας	Καθόλου	Αποδεκτή για πολλές εφαρμογές	Υψηλή	Υψηλή
Βαθμός Απόδοσης	50-70%	40-50%	25-40%	40-45%	50-60%	50-60%
Καύσιμο	H ₂ . Απαραίτητη η απομάκρυνση του CO ₂ , από τα αέρια της ανόδου και της καθόδου.	H ₂ Αν αυτό προέρχεται από αναμόρφωση, η περιεκτικότητα σε CO να είναι CO<10ppm	Διάλυμα νερού/μεθανόλης	H ₂ Και από αναμόρφωση	H ₂ , CO, φυσικό αέριο	H ₂ , CO, φυσικό αέριο
Ισχύς	Μέχρι 20kW	Μέχρι 250kW	<10kW	>50kW	>1MW	>200kW
Εφαρμογές	Μικρές μονάδες. Χρήση σε διαστημικές εφαρμογές.	Οικιακή και εμπορική παραγωγή Συστήματα κίνησης οχημάτων	Φορητές συσκευές	Εμπορική παραγωγή. Μεγάλα οχήματα (λεωφορεία)	Εμπορική και βιομηχανική παραγωγή. Μονάδες μεγάλης ισχύος (MW)	Οικιακή, εμπορική και βιομηχανική παραγωγή (μεγάλη ισχύς).
Χρόνος Εκκίνησης (h)	<0.1 [5]	<0.1	<0.2	1-4	>10	5-10

2 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

2.1 Δίκτυο Εφαρμογής-Αποτελέσματα

Οι αλγόριθμοι οι οποίοι αναπτύχθηκαν για τη μελέτη των Μικροδικτύων εφαρμόστηκαν στο τυπικό δίκτυο του Σχ. 2.1 [6].



Σχ. 2.1 Το τυπικό μικροδίκτυο που χρησιμοποιήθηκε.

Θεωρείται επίσης ότι εγκαθίστανται διάφορες μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής που αναμένονται να εγκατασταθούν σε τέτοιου είδους δίκτυα όπως μικροτουρμπίνες, Α/Γ, Φ/Β(PV) και κυψέλη καυσίμου (FC). Τα χαρακτηριστικά των επιμέρους μονάδων παραγωγής δίνονται από τον Πιν. 2-1. Τα δεδομένα για το χρόνο ζωής, απόσβεσης και το κόστος εγκατάστασης των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής για τις αναλύσεις προέρχονται από τις εργασίες [7,8] και συνοψίζονται στον Πιν. 2-2. Επίσης περιλαμβάνεται το κόστος για τις συσκευές επικοινωνίας των μονάδων με τον κεντρικό ελεγκτή. Σε όλες τις περιπτώσεις το επιτόκιο αναγωγής υποτέθηκε 8%. Η διαθεσιμότητα των MT και του FC είναι 95 και 90% αντίστοιχα. Ο συντελεστής φόρτισης της Α/Γ θεωρήθηκε ίσος με 40%, (3504kWh/kW) και για τα PVs η ετήσια παραγωγή είναι 1300 kWh/kW σύμφωνα με την [8].

Πιν. 2-1 Χαρακτηριστικά μονάδων μικροδικτύου υπό εξέταση

Μονάδα	Τύπος Μονάδας	Τεχνικό Ελάχιστο (kW)	Τεχνικό Μέγιστο (kW)
1	MT	6	30
2	FC	3	30
3	WT	0	15
4	PV1	0	3
5	PV2	0	2.5
6	PV3	0	2.5
7	PV4	0	2.5
8	PV5	0	2.5

Πιν. 2-2 Στοιχεία χρόνου ζωής μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής

	MT	FC	WT	PV
Χρόνος ζωής (έτη)	12.5	12.5	12.5	20
Κόστος βιβλιογραφίας (€/kW)	800-2000	3000-20000	800-5000	4200-9900
Κόστος εγκατάστασης (€/kW)	1500	4500	2500	7000
Χρόνος για απόσβεση (έτη)	10	10	10	20
Κόστος απόσβεσης (€/kW-έτος)	223.54	670.62	372.57	712.92

Το κόστος λειτουργίας των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής είναι συνάρτηση του κόστους καυσίμου και της συνάρτησης ειδικής κατανάλωσης. Η MT και η Κυψέλη Καυσίμου χρησιμοποιούν φυσικό αέριο με απόδοση 8.8 kWh/m³ και τιμή 10 €/m³ [9]. Η απόδοση της MT είναι 26%, ενώ για την κυψέλη καυσίμου χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση απόδοσης της μονάδας, όπως αυτή προέκυψε για κυψέλες τύπου Proton Exchange Membrane (PEM)[10].

Για το κόστος εκκίνησης της MT, υποτέθηκε ότι το κόστος καυσίμου μέχρι να φτάσει η μονάδα στην πλήρη της ισχύ και με το μισή της απόδοση. Για την κυψέλη καυσίμου, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση, σύμφωνα με τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν στην εργασία [10].

$$stpcost = a + b \left(1 - e^{-\frac{t_{off}}{\tau}} \right) \quad (2.1)$$

όπου a είναι το κόστος για θερμή εκκίνηση, b αντίστοιχο κόστος για ψυχρή εκκίνηση, t_{off} ο χρόνος για τον οποίο είναι σβηστή η κυψέλη και is τ η σταθερά χρόνου ψύξης του FC cooling σε h. Οι τιμές που θεωρήθηκαν είναι a=0.05\$, b=0.15\$ and τ= 0.75h. Για την απλοποίηση των υπολογισμών και λόγω της μαθηματικής συμπεριφοράς της (2.1), το κόστος εκκίνησης θεωρήθηκε ίσο με a+b=0.2\$ ή 14 €/ct.

Πιν. 2-3 Στοιχεία κόστους παραγωγής μικροδικτύου.

Μονάδα	Τύπος Μονάδας	Fuel_Coeff_A [€/kWh ²]	Fuel_Coeff_B [€/kWh]	Fuel_Coeff_C [€/h]
1	MT	0.01	4.37	0.01
2	FC	0.033	2.41	0.8415
3	WT	0	0	0
4	PV1	0	0	0
5	PV2	0	0	0
6	PV3	0	0	0
7	PV4	0	0	0
8	PV5	0	0	0

3 ΑΝΑΦΟΡΕΣ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1 European Hydrogen and Fuel Cell Projects, 2004 EUR 21241-, διαθέσιμο http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/h2fuell_cell_en.pdf

2 Εριέττα Ζουντουρίδου, «Ανάλυση-Λειτουργία Κυψελών Καυσίμου Και Προσομοίωση Λειτουργίας Κυψέλης Καυσίμου Μεμβράνης Ανταλλαγής Πρωτονίων (PEMFC) Για Την Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας», Διπλωματική Εργασία, Σχολή ΗΜΜΥ, ΕΜΠ Ιούνιος 2006, Επίβλεψη Ν. Χατζηαργυρίου.

3 California Distributed Energy Resources guide, Διαθέσιμο: http://www.energy.ca.gov/distgen/equipment/fuel_cells/applications.html

4 Larmine J.E, Dicks A. *Fuel cell systems explained*. Chichester: Wiley; 2000.

5 FII - Alkaline Fuel Cell (AFC) Powered Golf Car, Διαθέσιμο: <http://pdf.directindustry.com/pdf/astris-energi/fuel-cell-golf-car/22766-19648.html>

6 S. Papanthanasίου, N. Hatziaργυρίου, K. Strunz, "A Benchmark LV Microgrid for Steady State and Transient Analysis", in *Proc of the Cigre Symposium "Power Systems with Dispersed Generation"*, Athens, 2005, paper no 313

7 Resources Dynamic Corporation Technical Report "Assessment of Distributed Generation Technology Applications", Vienna, VA, February 2001

8 G.C.Bakos and M.Soursos, “Technical Feasibility and economic viability of a grid-connected PV installation for low cost electricity production.” *Energy and Buildings J*, vol. 34, pp. 753–758, July 2002

9 <http://www.hotworkct.com/engineering/alcoa.htm>

10 A.M. Azmy, “*Simulation and Management of Distributed Generating Units using Intelligent Techniques*”, PhD Dissertation, Universitat Duisburg-Essen, 2005