



# ΔΙΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

ΔΠ-ΗΕ: Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας



# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Όπως έγινε σαφές από τα παραπάνω, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας θα παίξει καθοριστικό ρόλο στο μελλοντικό δίκτυο.

Επειδή, η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει όση παράγεται τόση και να καταναλώνεται υπό συγκεκριμένη τάση και συχνότητα, συνήθως αποθηκεύεται με άλλες μορφές.

Οι πιο διαδεδομένες σήμερα είναι:

- (α) οι μπαταρίες,
- (β) τα συστήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου,
- (γ) το βιοαέριο.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Μεγάλη **σημασία** για τον έλεγχο ενός μικροδικτύου ηλεκτρικής ενέργειας με **αυξημένη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών** ενέργειας έχει η γνώση της **κατάστασης φόρτισης των μπαταριών** ή άλλων αποθηκευτικών μέσων σε **κάθε χρονική στιγμή**, βάσει **μετρήσεων** που διενεργούνται σε **πραγματικό χρόνο**.

Παρακάτω μόνο οι **δύο** πρώτες μορφές αποθήκευσης θα **περιγραφούν**, καθώς το **βιοαέριο** έχει **περιγραφεί αναλυτικά παραπάνω**.





## 3.1 Μπαταρίες







# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

**Οι συστοιχίες μπαταριών αποτελούν σημαντικά στοιχεία για την αξιοπιστία και το κόστος των αυτόνομων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας ή των μικροδικτύων.**

**Παρόλο που μια συστοιχία μπαταριών αντιπροσωπεύει μόνο το 8% του αρχικού κόστους ενός νέου φωτοβολταϊκού συστήματος, αντιπροσωπεύει το 23% του συνολικού κόστους του συστήματος αν λάβουμε υπόψη την αντικατάσταση των μπαταριών κατά τη διάρκεια του συνολικού χρόνου ζωής του συστήματος (20 έτη) .**





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Οι μπαταρίες αποθήκευσης παρέχουν στο μικροδίκτυο **πλεονεκτήματα** όπως:

- τη **δυνατότητα της παροχής** ενέργειας κατά τη διάρκεια της **νύχτας** και τις **ανήλιες** περιόδους,
- την **ικανότητα να ανταποκρίνεται στιγμιαία** σε **φορτία αιχμής** και
- τη **σταθεροποίηση της τάσης** του συστήματος.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

**Παλαιότεροι τρόποι λειτουργίας χρησιμοποίησαν τα όρια της τάσης μόνο για να προστατέψουν την μπαταρία από την αποφόρτιση και την υπερφόρτωση.**

**Πλέον, ο τρόπος λειτουργίας της μπαταρίας μεταβάλλεται σε αυτό που περισσότερο θα αποκαλούσαμε διαχείριση παρά απλώς προστασία της μπαταρίας.**

**Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές έρευνες με σκοπό τη βελτίωση του καθορισμού του επιπέδου φόρτισης της μπαταρίας (SoC).**





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Οι συνθήκες λειτουργίας των μπαταριών διαφέρουν ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής τους - φωτοβολταϊκές εφαρμογές (PV) ή υβριδικά - ηλεκτρικά οχήματα.

Ο λόγος που γίνεται αναφορά στα ηλεκτρικά οχήματα είναι γιατί αποτελούν τον επικρατέστερο τρόπο για να ενσωματωθεί μεγάλη ποσότητα διανεμημένης αποθήκευσης ενέργειας στα μικροδίκτυα του δικτύου διανομής.

Ένας δεδομένος τρόπος υπολογισμού του επιπέδου φόρτισης της μπαταρίας (SoC) θα είναι καταλληλότερος για μια συγκεκριμένη εφαρμογή απ' ότι για κάποια άλλη.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Προκειμένου να μετρήσουμε το επίπεδο φόρτισης, χρειάζεται να γνωρίζουμε πρώτα τι ακριβώς είναι.

Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί της χωρητικότητας και του επιπέδου φόρτισης της μπαταρίας (SoC).

Ένα πλήρες επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (SoC) επιτυγχάνεται όταν (σύμφωνα με το DIN43539) το ρεύμα της μπαταρίας σε συνθήκες σταθερής τάσης και θερμοκρασίας διατηρείται αμετάβλητο για 2 ώρες.

Ο ορισμός αυτός δεν περιλαμβάνει το πρόβλημα της φθοράς της μπαταρίας που επιφέρει ο χρόνος ή το επίπεδο υγείας της μπαταρίας (SoH).





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Στην πραγματικότητα, η χωρητικότητα μιας μπαταρίας ενδέχεται να αλλάξει στη διάρκεια του κύκλου ζωής της εξαιτίας προβλημάτων όπως:

- μείωση της ικανότητας γόμωσης του ενεργού υλικού σε κάποιο από τα ηλεκτρόδια,
- αλλαγές στις φυσικές ιδιότητες του ηλεκτρολύτη
- διάβρωση των αγωγών ρεύματος.







# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Οι **δύο** τύποι μπαταριών που έχουν χρησιμοποιηθεί για τα **Φ/Β** συστήματα είναι:

- μολύβδου-οξέος και**
- νικελίου-καδμίου**





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου έχουν απασχοληθεί σε σχετικά λίγα συστήματα, λόγω:

- του υψηλότερου κόστους,
- της χαμηλότερης τάσης κυψελίδας (1,2 V),
- της χαμηλότερης ενεργειακής απόδοσης και
- της περιορισμένης ανώτερης θερμοκρασίας λειτουργίας (40°C).

Η χρήση τους βασίζεται κυρίως στην μεγάλη διάρκεια ζωής τους με την μειωμένη συντήρηση και την ικανότητά τους να υφίστανται την βαθιά αποφόρτιση χωρίς φθορές.







# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Η μπαταρία μολύβδου-οξέος θα παραμείνει η σημαντικότερη συσκευή αποθήκευσης στο εγγύς μέλλον, ειδικά σε Φ/Β συστήματα μεσαίου και μεγάλου μεγέθους.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

## Επίπεδο φόρτισης μπαταριών (SoC):

Οι επικρατέστερες μέθοδοι καθορισμού επιπέδου φόρτισης μπαταριών είναι:

1. Η μέθοδος μέτρησης της πυκνότητας του ηλεκτρολύτη (για σταθερούς συσσωρευτές με υγρό ηλεκτρολύτη).

*Είναι σχετικά αντικοινομική, αφού θα πρέπει να αγοραστεί καινούριος εξοπλισμός μέτρησης χημικών στοιχείων και μάλιστα για όλες τις μπαταρίες του μικροδικτύου. Αυτό σημαίνει επίσης ότι δεν είναι απλή και εμπορικά εκμεταλλεύσιμη.*





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

## Επίπεδο φόρτισης μπαταριών (SoC):

2. Η μέθοδος ανοικτού κυκλώματος  
απαιτεί τη διακοπή του κυκλώματος, κάτι που  
φυσικά είναι ανεπίτρεπτο σε μικροδίκτυα
3. Η μέθοδος **Coup de Fouet**  
απαιτεί να έχει προηγηθεί πλήρης φόρτιση  
μπαταριών, κάτι που σχεδόν ποτέ δεν συμβαίνει σε  
πραγματικά συστήματα



# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

## Επίπεδο φόρτισης μπαταριών (SoC):

### 4. Τα Νευρωνικά Δίκτυα

*απαιτούνται αξιόπιστα, αρκετά και αντιπροσωπευτικά δεδομένα από φορτίσεις και αποφορτίσεις της μπαταρίας. Αυτό επομένως απαιτεί ότι σε μια συστοιχία μπαταριών θα προηγηθούν εκτενείς δοκιμές φόρτισης και αποφόρτισης, άρα παραβιάζεται το αντίστοιχο κριτήριο που τέθηκε στην αρχή. Επίσης, τα νευρωνικά δίκτυα εισάγουν και κατά τη λειτουργία τους σφάλματα.*





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

## Επίπεδο φόρτισης μπαταριών (SoC):

5. Ο καθορισμός του επιπέδου φόρτισης της μπαταρίας (SoC) με τη χρήση της φασματοσκοπίας της αντίστασης *εξακολουθεί να αποτελεί θέμα διαμάχης εξαιτίας της ευαισθησίας στη θερμοκρασία και της δυσκολίας που παρουσιάζει η εφαρμογή της*
6. Τα πηνία σύρματος *είναι αντιοικονομικά και η μέθοδος κρίνεται ως αρκετά περίπλοκη*





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

## Επίπεδο φόρτισης μπαταριών (SoC):

Πρέπει να τονιστεί ότι:

Το **σφάλμα** που εισάγεται από όλες τις μεθόδους καθιστά **απαραίτητη** τη χρήση **ελεγκτή φόρτισης (charger)** σε σειρά με τη μπαταρία, για να αποφευχθεί **υπερφόρτιση** ή **πλήρης εκφόρτιση** της μπαταρίας. Η μέθοδος που θα εφαρμοστεί στην πράξη σε ένα **μικροδίκτυο**, πρέπει να πληροί κάποιες **επιπλέον προϋποθέσεις**:

- να είναι **αξιόπιστη**,
- **οικονομική**, να είναι
- **απλή** και **εμπορικά εκμεταλλεύσιμη**.







# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

- **απλή και εμπορικά εκμεταλλεύσιμη**

Το κριτήριο αυτό **σημαίνει** ότι πρέπει να μπορεί να **εκτιμηθεί** η κατάσταση μιας **μπαταρίας** ή **συστοιχίας μπαταριών** από ένα **σύστημα** που **δεν** θα **χρειάζεται** να **εγκατασταθεί** από **ειδικό** στις **μπαταρίες** και συνεπώς **δεν** θα **απαιτεί** διαδικασία **αρχικοποίησης** και **αρχικών μετρήσεων**. Θα είναι όπως θα λέγαμε με **όρους** από την **επιστήμη** των **ηλεκτρονικών υπολογιστών** μια μέθοδος **“Plug and play”**.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

## Επίπεδο φόρτισης μπαταριών (SoC):

Οι μέθοδοι που θεωρήθηκε ότι μπορεί να εφαρμοστούν για εφαρμογές μικροδικτύων είναι:

1. η μέθοδος καθορισμού  $A_h$ ,
2. το γραμμικό μοντέλο,
3. το φίλτρο Kalman







# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

## Επίπεδο φόρτισης μπαταριών (SoC):

### 1. Η μέθοδος υπολογισμού του αριθμού των Ah

*Παρέχει σχετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα στις σύντομες χρονικά εφαρμογές, ιδίως στις χαμηλές και μεσαίες συχνότητες φόρτισης της μπαταρίας. Βέβαια στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές η συχνότητα φόρτισης και εκφόρτισης είναι αρκετά μεγάλη. Επίσης παρουσιάζει δύο σημαντικά προβλήματα: Απαιτεί μεγάλη ακρίβεια μετρήσεων και απαιτεί αναβαθμονόμηση του αρχικού SoC.*





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

## Επίπεδο φόρτισης μπαταριών (SoC):

### 2. Το γραμμικό μοντέλο,

*εφαρμόζεται σε αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα φαίνεται αρκετά αξιόπιστο και απλό, κατάλληλο για φωτοβολταϊκές εφαρμογές και φυσικά σχετικά δοκιμασμένο*





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

## Επίπεδο φόρτισης μπαταριών (SoC):

### 3. Το φίλτρο Kalman

*Οι υπολογισμοί είναι αρκετά πολύπλοκοι και απαιτούν κάποια αρχικά δεδομένα όπως την τάση ανοικτού κυκλώματος (OCV) και την τάση μετά από 3 ώρες ανάπαυση των μπαταριών (EMF). Σε περίπτωση που τα στοιχεία αυτά δεν δίνονται, πρέπει φυσικά να υπολογιστούν. Η αξιοπιστία όμως της μεθόδου είναι μεγαλύτερη από όλες τις μεθόδους.*

*Οι τρεις τελευταίες μέθοδοι φαίνονται να είναι πιο πιθανό να ενσωματωθούν στα συστήματα ελέγχου των μικροδικτύων του μέλλοντος.*





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας



*Σχήμα 3.1: Συστοιχίες μπαταριών φωτοβολταϊκών εφαρμογών.*





## 3.2 Συστήματα κυψελών καυσίμου

### 3.2.1. Παραγωγή του υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

**«Είναι προφανές ότι η γενικευμένη χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο προϋποθέτει την προέλευση του υδρογόνου από μία μέθοδο η οποία είναι αποδοτική, από μία πηγή ιδανικά ανεξάντλητη, ιδανικά προερχόμενη από ανανεώσιμες πηγές και από μία αντίδραση η οποία δεν απελευθερώνει ρυπογόνες ουσίες στην ατμόσφαιρα (όπως μονοξείδιο ή διοξείδιο του άνθρακα).»**







# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Από την άποψη της κατανάλωσης, τα μικροδίκτυα:

- θα μπορέσουν να καλύπτουν τόσο θερμικές και ηλεκτρικές ανάγκες,
- θα μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου,
- θα ενισχύσουν την αξιοπιστία,
- θα βελτιώσουν την ποιότητα της ισχύος υποστηρίζοντας την τάση και
- ενδεχομένως θα μειώσουν το κόστος του ενεργειακού εφοδιασμού





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Έχοντας υπόψη το παραπάνω σκεπτικό, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σταδιακά μια σταδιακή αύξηση του παγκόσμιου ενδιαφέροντος για την παραγωγή του υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού, κυρίως εξαιτίας της σύγχρονης δυνατότητας κατασκευής ολοκληρωμένων συστημάτων από ηλεκτρολυτικές διατάξεις νερού, οι οποίες λειτουργούν μέσω της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με τη βοήθεια διαφόρων ΑΠΕ (κυρίως της ηλιακής και αιολικής ενέργειας)







# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Τα ολοκληρωμένα αυτά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω διαφόρων ΑΠΕ παρουσιάζουν το σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα παραδοσιακά ηλεκτρολυτικά συστήματα, ότι η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιούν παράγεται χωρίς κάποιο σημαντικό κόστος, μιας και βασίζεται όπως είπαμε στην παραγωγή της από διάφορες ΑΠΕ, ενώ ταυτόχρονα δεν εκλύονται ρυπογόνες ουσίες στην ατμόσφαιρα κατά την παραγωγή υδρογόνου.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Υπάρχει μία και μοναδική μέθοδος παραγωγής του **υδρογόνου** μέσω **ηλεκτρόλυσης** και αυτή είναι από το **νερό**. Ως γνωστόν, το νερό κατά τη **διαδικασία** της ηλεκτρόλυσης **διασπάται** στα δύο στοιχεία που το αποτελούν, δηλαδή το **υδρογόνο** και το **οξυγόνο**. Η ηλεκτρόλυση του νερού, προς **παραγωγή υδρογόνου**, πραγματοποιείται μέσα σε ειδικές **διατάξεις** που ονομάζονται **διατάξεις ηλεκτρόλυσης** και απαιτεί την **ταυτόχρονη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος**.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

**Το βασικό πλεονέκτημα που προκύπτει κατά την ηλεκτρόλυση του νερού προς παραγωγή υδρογόνου, είναι ότι το υδρογόνο που παράγεται χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα υψηλές τιμές καθαρότητας και επομένως δύναται να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, χωρίς περαιτέρω επεξεργασία.**





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Η ηλεκτρόλυση του νερού, για την παραγωγή υδρογόνου, μέσω της χρησιμοποίησης του ηλεκτρικού ρεύματος που προέρχονταν από το κλασικό δίκτυο ηλεκτρισμού, σαν μέθοδος, βρήκε ευρεία απήχηση από τις αρχές του 1900 μέχρι και τη δεκαετία του 1950 περίπου.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

**Μετά τη δεκαετία του '50 όμως, λόγω των διαφόρων φθηνότερων μεθόδων που ανακαλύφθηκαν για την παραγωγή του υδρογόνου (κυρίως της καταλυτική αναμόρφωση φυσικού αερίου), η ηλεκτρόλυση του νερού εγκαταλείφθηκε στο μεγαλύτερο μέρος της, με αποτέλεσμα στις μέρες μας, μόνο ένα σχετικά μικρό ποσοστό της συνολικής ποσότητας του παραγόμενου υδρογόνου σε παγκόσμια κλίμακα να παράγεται πλέον με αυτόν τον τρόπο.**





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

**Η εφαρμογή της ηλεκτρόλυσης του νερού προς παραγωγή του υδρογόνου εφαρμόζεται σήμερα κυρίως όταν υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις σε καθαρό υδρογόνο και οι ποσότητες αυτού που απαιτούνται δεν είναι πολύ μεγάλες.**





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η εφαρμογή τους για την **μαζική παραγωγή του υδρογόνου να γίνεται πολύ φθηνότερα** από την κλασική μέθοδο παραγωγής του υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης (παραγωγή με **χρησιμοποίηση της συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου**) και να **εφαρμόζεται σταδιακά όλο και περισσότερο.**







# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Από την **άλλη μεριά βέβαια**, το **κόστος** κυρίως των **υλικών** που **χρησιμοποιούνται** για την **κατασκευή** αυτών των **ολοκληρωμένων ηλεκτρολυτικών συστημάτων** παραγωγής υδρογόνου μέσω ΑΠΕ, είναι προς το παρόν **ακόμα αρκετά υψηλό** ώστε η **παραγωγή** αυτού μέσω των **συγκεκριμένων διατάξεων** να **μπορεί να υποσκελίσει** τις **συμβατικές μεθόδους παραγωγής** του μέσω π.χ. των **ορυκτών καυσίμων**, με αποτέλεσμα η **παραγωγή υδρογόνου** μέσω **ολοκληρωμένων ηλεκτρολυτικών διατάξεων** να **μην χρησιμοποιείται τόσο μαζικά** όσο αυτές.

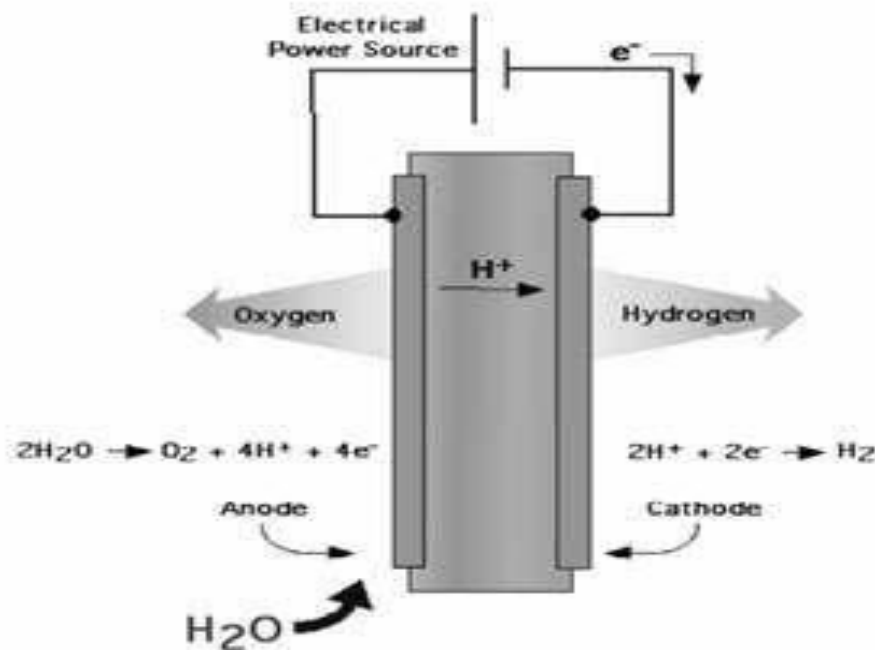






# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Στην παρακάτω εικόνα, φαίνεται η διαδικασία της εσωτερικής λειτουργίας, κατά την παραγωγή του υδρογόνου μέσω αυτής.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Φαίνεται λοιπόν ιδανική λύση, η παρασκευή του υδρογόνου από την ηλεκτρόλυση υδατικών διαλυμάτων, ακόμα και του θαλασσινού νερού, με την αναγκαία ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από ανανεώσιμες πηγές.

Έτσι λύνεται το πρόβλημα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και από την άλλη το συνολικό ισοζύγιο ενέργειας είναι θετικό αφού η κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή καυσίμου (υδρογόνου) είναι ουσιαστικά μηδενική.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

## Αποθήκευση - Μεταφορά – Διανομή Υδρογόνου





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Λόγω της εξαιρετικά χαμηλής πυκνότητάς του το υδρογόνο, κατά την αποθήκευση του ως ασυμπίεστο ρευστό καταλαμβάνει εξαιρετικά μεγάλο όγκο. Αυτός είναι ο ανασταλτικός παράγοντας για την ανάπτυξη της οικονομίας του υδρογόνου.

Για παράδειγμα, 1kg υδρογόνου σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας καταλαμβάνει όγκο 11m<sup>3</sup>. Συνεπώς, για τη χρήση του ως καύσιμο πρέπει να αυξηθεί με κάποιο τρόπο η πυκνότητά του, ώστε η δεξαμενή να καταλαμβάνει λογικές διαστάσεις.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Έτσι το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί με τους εξής τρόπους:

- με τη μορφή συμπιεσμένου αερίου σε εξαιρετικά υψηλές πιέσεις
- ως κρυογονικό υγρό σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες
- με τη μορφή μεταλλικού υβριδίου όπου το αέριο υδρογόνο σχηματίζει χημικές ενώσεις με συγκεκριμένα μέταλλα ή μεταλλικά κράματα
- ως αέριο υδρογόνου προσροφημένο από κάποιο στερεό όπως οι νανοσωλήνες άνθρακα (carbon nanotubes).





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Η λύση που χρησιμοποιείται ευρέως είναι αυτή της αποθήκευσης του υδρογόνου ως συμπιεσμένο αέριο ενώ η πλέον υποσχόμενη είναι αυτή της αποθήκευσης του σε υδρίδια μετάλλων. Από την άλλη μεριά, η τεχνολογία των νανοσωλήνων άνθρακα, αν και πολλά υποσχόμενη είναι ακόμα καινούρια και αμφιλεγόμενη.

Η μεταφορά του υδρογόνου μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω φορτηγών που μεταφέρουν υγροποιημένο υδρογόνο ή συμπιεσμένο σε αέρια φάση και μέσω αγωγών





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Για τη διείσδυση του υδρογόνου στην αγορά, τουλάχιστον στην αρχική φάση διαμόρφωσης της και κατόπιν σε συγκεκριμένες εφαρμογές, τα φορτηγά είναι η πιο ενδεδειγμένη λύση. Το μειονέκτημα του συμπιεσμένου υδρογόνου, έναντι του υγροποιημένου, είναι η μεταφορά συγκριτικά λιγότερης ποσότητας ενέργειας.







# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Μελλοντικά προβλέπεται, ότι πολλές μεγάλες μονάδες παραγωγής του υδρογόνου ικανές να παράγουν μεγάλες ποσότητες αυτού, θα βρίσκονται συνδεδεμένες μεταξύ τους μέσω κατάλληλων αγωγών μεταφοράς του, οι οποίοι θα το μεταφέρουν σε αέρια μορφή. Μέρος του δικτύου αυτού θα αποτελούν και τα διάφορα κέντρα ελέγχου διανομής του υδρογόνου, τα οποία θα αναλαμβάνουν να το τροφοδοτούν σε μικρότερους σταθμούς διανομής του (π.χ. σε πρατήρια ανεφοδιασμού οχημάτων του, ηλεκτρικά εργοστάσια κ.τ.λ.).





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Επειδή η παραγωγή, κατά τη συγκεκριμένη προσέγγιση συγκρότησης του μελλοντικού δικτύου διανομής του υδρογόνου, λαμβάνει χώρα μακριά από τις τοπικές πηγές κατανάλωσής του, ο συγκεκριμένος τρόπος διανομής του χαρακτηρίζεται σαν **κεντροποιημένος**.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Ένα βήμα παραπέρα, αποτελεί επίσης η απευθείας παραγωγή του υδρογόνου στο κάθε σημείο της ζήτησής του, όπου αυτό προφανώς κρίνεται δυνατό, χωρίς την απαραίτητη μεσολάβηση οποιονδήποτε ενδιάμεσων σταθμών παραγωγής του. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε για παράδειγμα να συμβεί με την παραγωγή του υδρογόνου από τον ίδιο τον χρήστη του, δηλαδή της ενέργειάς του, π.χ. στο χώρο του σπιτιού μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού από οικιακά ηλιακά ή αιολικά ηλεκτροπαραγωγικά συστήματα με σκοπό την κάλυψη των διαφόρων οικιακών αναγκών ή στο χώρο της εργασίας για μικρές ή μεσαίες επιχειρήσεις.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

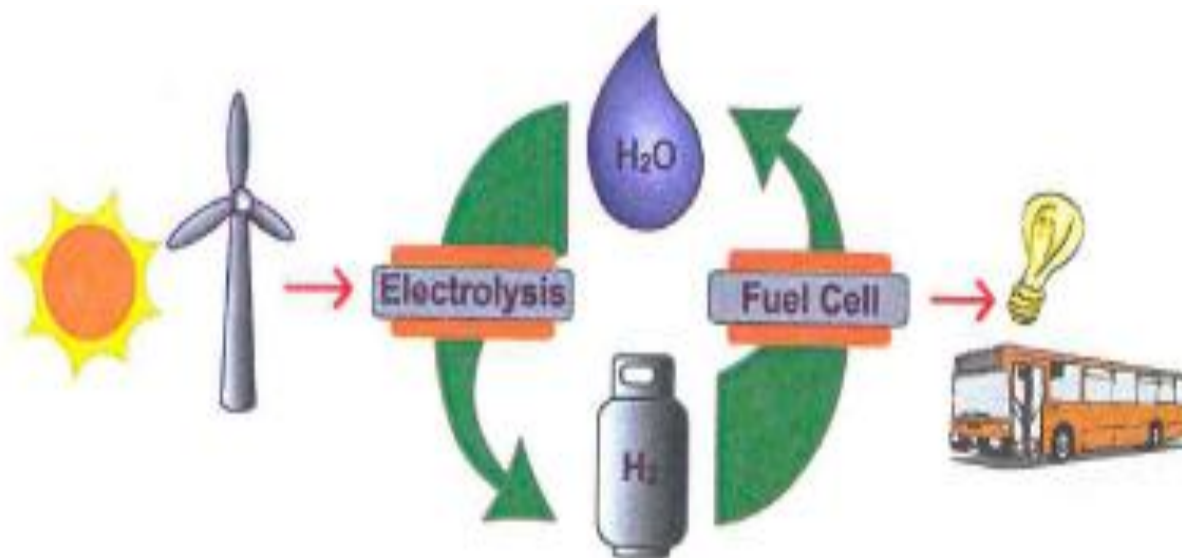
Τα 3 στάδια λειτουργίας του **αποκεντρωμένου συστήματος διανομής** του υδρογόνου είναι τα εξής :

- Το **πρώτο στάδιο** περιλαμβάνει την **παραγωγή** του υδρογόνου μέσω **κατάλληλων τεχνικών**, πιθανόν εφαρμόζοντας τις **διάφορες τεχνολογίες ΑΠΕ**
- Το **δεύτερο στάδιο** περιλαμβάνει την **αποθήκευση** του παραχθέντος υδρογόνου με **φυσικές ή χημικές διαδικασίες**
- Τέλος το  **τρίτο στάδιο** περιλαμβάνει τη **μετατροπή** της εσωτερικής χημικής ενέργειας του υδρογόνου αρχικά σε **ηλεκτρισμό ή θερμότητα** και στη συνέχεια σε **οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας**





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας



**Στάδια λειτουργίας του αποκεντρωμένου συστήματος διανομής του υδρογόνου**







# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Από την παραπάνω ανάλυση της πιθανούς συγκρότησης του μελλοντικού δικτύου διανομής του υδρογόνου μπορούμε να συμπεράνουμε, ότι το σημαντικό πλεονέκτημα που παρουσιάζει η αποκεντρωμένη διανομή του είναι η σημαντική ενεργειακή ανεξαρτησία που αυτή προσφέρει σε σχέση με την κεντροποιημένη του διανομή.

Αυτό γιατί, η **δυσλειτουργία** που ενδεχομένως θα μπορούσε αυτή να παρουσιάσει σε κάποιο σημείο του δικτύου της, δε θα είχε οπωσδήποτε σαν συνέπεια την παρεμπόδιση ή διακοπή της λειτουργίας και κάποιων άλλων σημείων του δικτύου της, μιας και, όπως αναφέραμε, τα διάφορα σημεία του ευρύτερου δικτύου της λειτουργούν σχεδόν ανεξάρτητα μεταξύ τους.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

## Βασικοί τύποι κυψελών καυσίμου





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Πολυάριθμοι τύποι κυψελών καυσίμου έχουν κατασκευαστεί σήμερα, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για πολλές και διαφορετικές εφαρμογές.

Τα ονόματα των κυψελών προσδιορίζουν το είδος του μεταφερόμενου ιόντος που διέρχεται από τον ηλεκτρολύτη.

Η βασική δομή των κυψελών αυτών είναι όμοια, διαφοροποιούνται όμως ως προς το είδος του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν, τη θερμοκρασία λειτουργίας, τους καταλύτες, την καθαρότητα των αντιδρώντων και τις επιμέρους χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Οι κύριοι τύποι κυψελών καυσίμου είναι:

- ✓ **κυψέλες καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC)**
- ✓ **κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)**
- ✓ **κυψέλες καυσίμου αλκαλίων (AFC)**
- ✓ **κυψέλες καυσίμου ανθρακικών αλάτων (MCFC)**
- ✓ **κυψέλες καυσίμου στερεοποιημένων οξειδίων (SOFC)**
- ✓ **κυψέλες καυσίμου μεθανόλης (DMFC)**





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Για την εμπορική χρήση σε επίπεδο χαμηλής θερμοκρασιακής λειτουργίας έχει προταθεί η κυψέλη καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC), ενώ σε υψηλή θερμοκρασιακή λειτουργία η κυψέλη καυσίμου τήγματος ανθρακικών αλάτων (MCFC) και στερεών οξειδίων (SOFC).





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

## Χαρακτηριστικά κυψέλης καυσίμου τύπου PEM και περιφερειακά συστήματα





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκτός από την κυψέλη καυσίμου ή την συστοιχία κυψελών καυσίμου περιλαμβάνει και περιφερειακό εξοπλισμό. Η κυψέλη καυσίμου αναλαμβάνει την μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου, κυρίως υδρογόνου, σε συνεχές ρεύμα.

Επομένως για να αξιοποιηθεί από το δίκτυο είναι απαραίτητη η χρήση ενός μετατροπέα ηλεκτρονικών ισχύος





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Συνήθως χρησιμοποιείται αρχικά ένας μετατροπέας ανύψωσης DC/DC για να αυξήσει και να σταθεροποιήσει την τάση και στη συνέχεια ένας αντιστροφέας DC/AC (inverter) για να τη μετατρέψει σε εναλλασσόμενη με την επιθυμητή συχνότητα.

Στην περίπτωση που το καύσιμο δεν είναι καθαρό υδρογόνο (όπως π.χ. το φυσικό αέριο ή μεθανόλη) είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί επεξεργασία του καυσίμου ώστε το τελικό αέριο που θα εισαχθεί στην κυψέλη να έχει υψηλή περιεκτικότητα σε υδρογόνο. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η Μονάδα επεξεργασίας καυσίμου (αναμορφωτής - Reformer).







# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Όταν το σύστημα βρίσκεται σε κανονική λειτουργία υπάρχουν μεταβολές στο απαιτούμενο φορτίο στις οποίες πρέπει να προσαρμόζεται. Η απόδοση του συστήματος εκφράζεται από την χαρακτηριστική καμπύλη τάσης-ρεύματος. Επομένως για να είναι βέλτιστη η απόδοση, η χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος πρέπει να παραμένει σε συγκεκριμένο επίπεδο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του ελέγχου κατάλληλων παραμέτρων όπως:

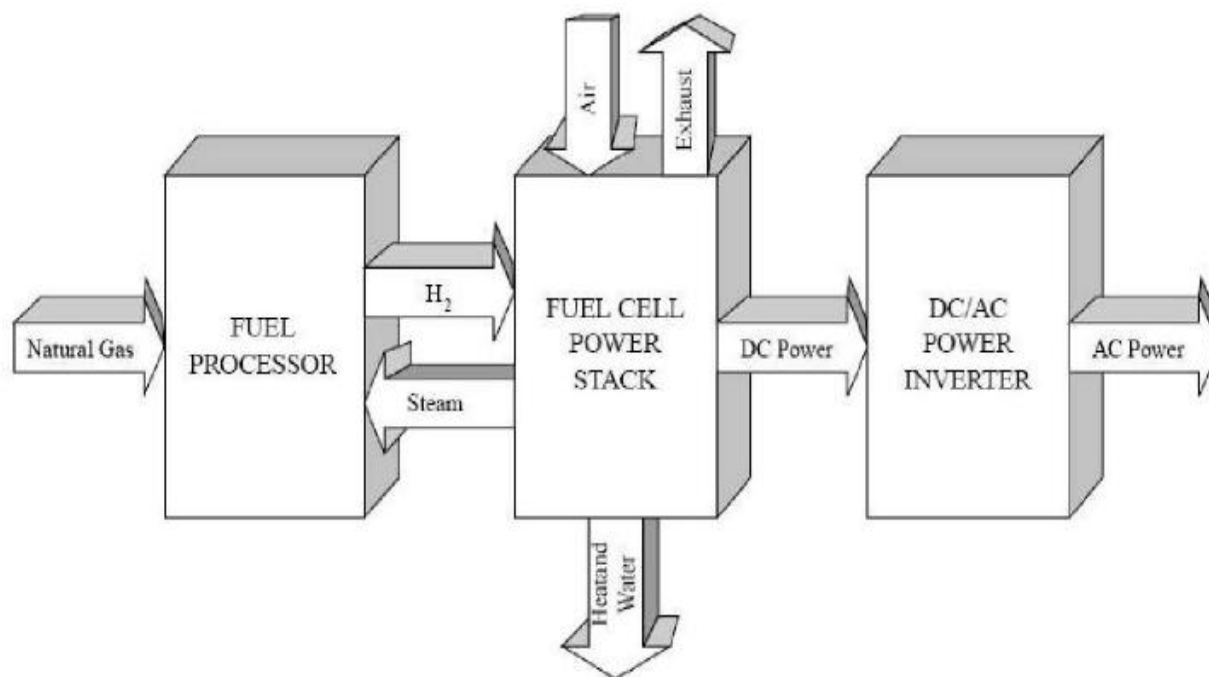
- ✓ Ο ρυθμός ροής των αντιδρώντων
- ✓ Η συνολική πίεση
- ✓ Οι μερικές πιέσεις των αντιδρώντων
- ✓ Η θερμοκρασία
- ✓ Η υγρασία της μεμβράνης.







# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας



**Διασύνδεση Επεξεργαστή καυσίμου με Κυψέλη & Μετατροπέα Τάσης**





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

Για τον έλεγχο των παραπάνω παραμέτρων χρησιμοποιούνται διάφορα βοηθητικά υποσυστήματα, όπως ανεμιστήρες για το υποσύστημα ψύξης, συμπιεστής οξυγόνου, αντλίες για την κυκλοφορία του υδρογόνου και την ψύξη της κυψέλης και υγραντήρες για τα αντιδρώντα.

Επιπλέον χρησιμοποιείται εξοπλισμός που σχετίζεται με την μετατροπή ισχύος και τον έλεγχο του συστήματος, όπως ο μετατροπέας ανύψωσης και ο αντιστροφέας, ο κεντρικός ελεγκτής του συστήματος.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

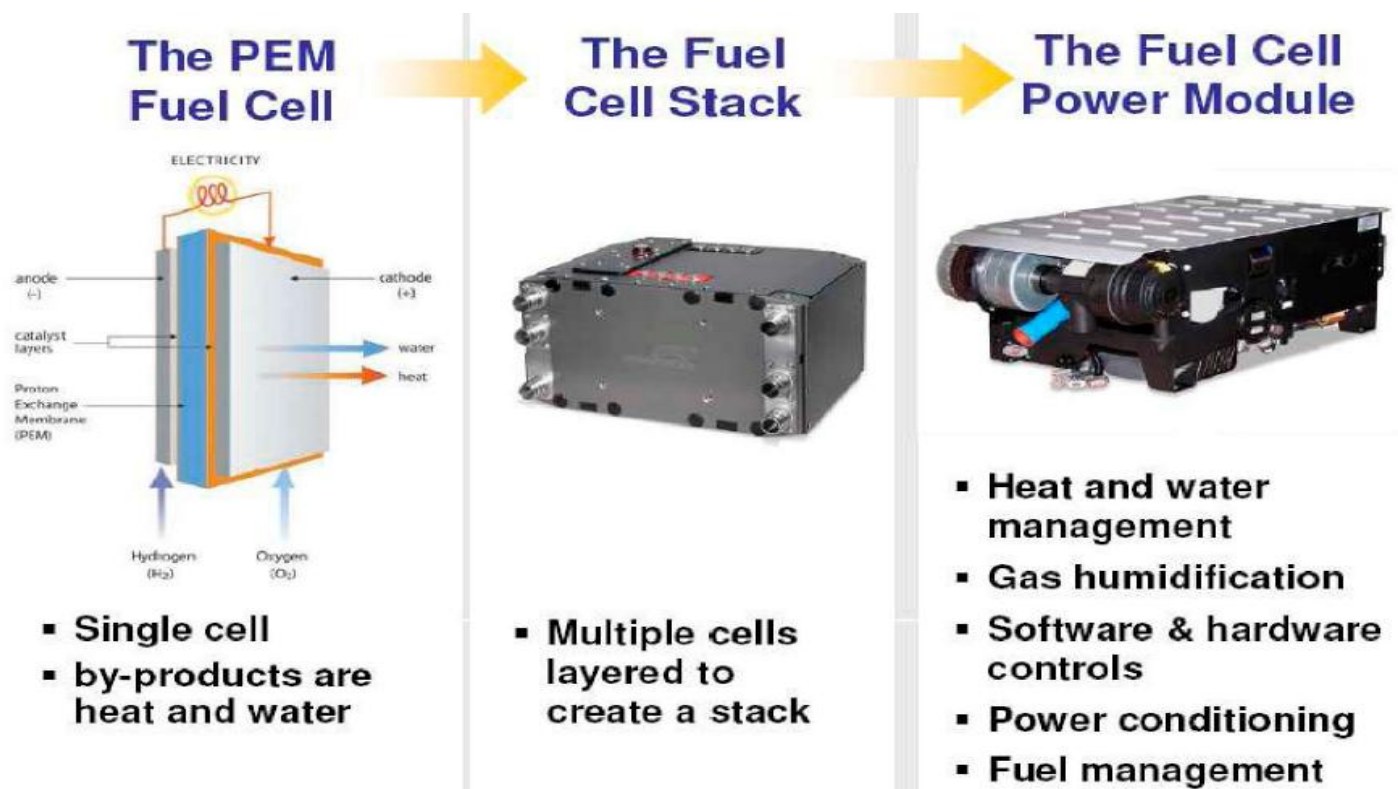
Το πλήθος του βοηθητικού εξοπλισμού και ο τύπος του διαφέρει από μονάδα σε μονάδα, ανάλογά με την εφαρμογή.

Οι παραπάνω παράμετροι πρέπει να ελέγχονται για να διασφαλίζεται η γρήγορη μεταβατική απόκριση του συστήματος, να γίνεται με σταθερό τρόπο η έναρξη λειτουργίας και να μπορεί το σύστημα να σταματήσει την λειτουργία με εξίσου σταθερό τρόπο.





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας

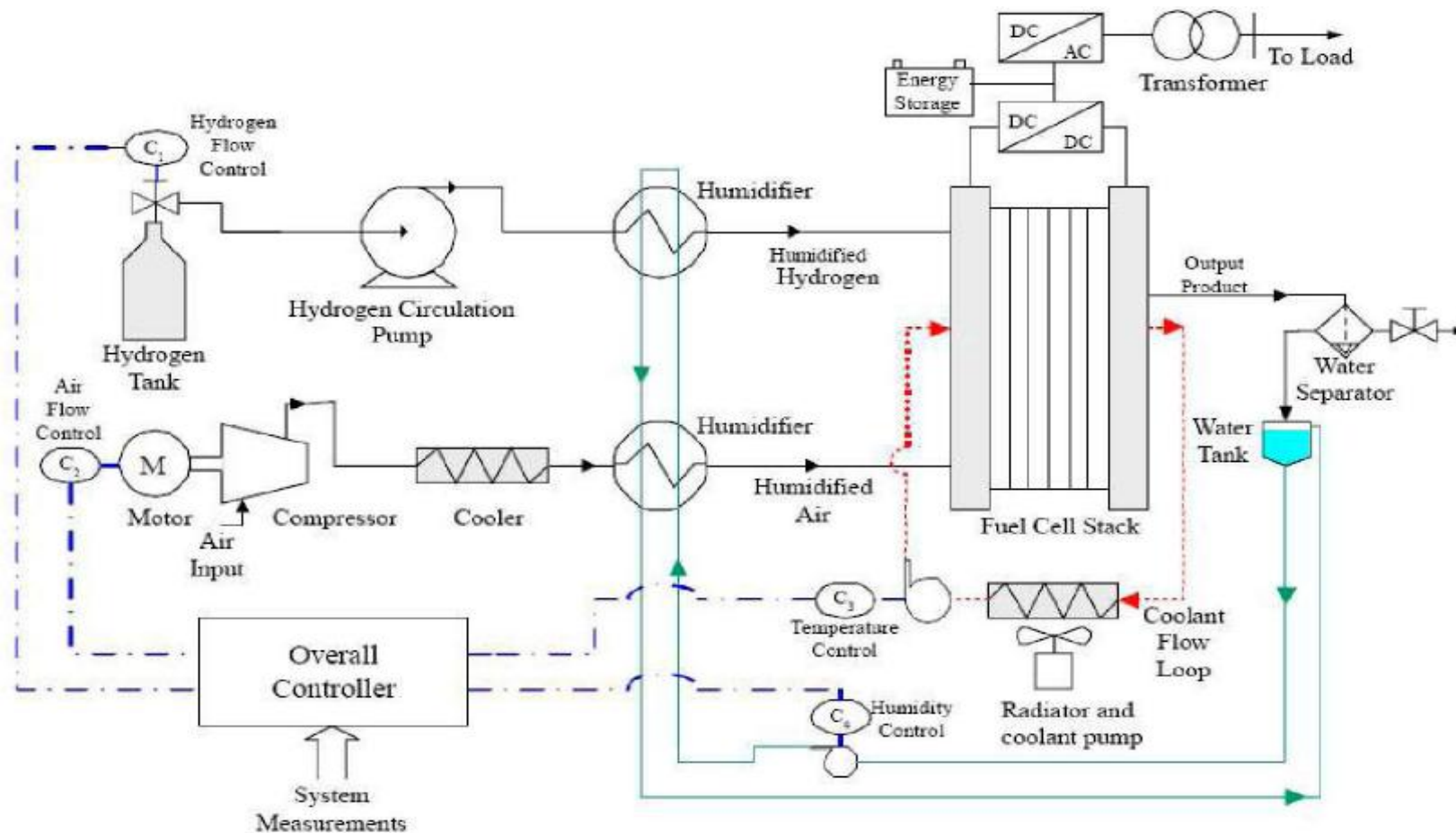


**Από το μονό κελί καυσίμου στο ολοκληρωμένο σύστημα**





# Κεφ 3<sup>ο</sup>: Αποθήκευση Ηλ. Ενέργειας



**Ολοκληρωμένο σύστημα κυψέλης καυσίμου**

