ΕΠΙΔΡΑΣΗ 28 **...ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ:**
Στοιχεία καυσίμου

Ένα στοιχείο καυσίμου λειτουργεί όπως ένα συμβατικό γαλβανικό στοιχείο με εξαίρεση το ότι τα αντιδρώντα τροφοδοτούνται εξωτερικά αντί να αποτελούν επιμέρους τμήμα της κατασκευής του. Ένα βασικό και σημαντικό παράδειγμα στοιχείου καυσίμου είναι το *στοιχείο υδρογόνου/οξυγόνου* (Σχ. 1)· στοιχεία σαν αυτό χρησιμοποιούνται στις διαστημικές αποστολές. Ένας από τους ηλεκτρολύτες που χρησιμοποιούνται είναι το πυκνό υδατικό υδροξείδιο του καλίου που διατηρείται στους 200°C. Τα αέρια είναι σε υψηλή πίεση (20–40 atm) και τα ηλεκτρόδια μπορεί να είναι πορώδες νικέλιο σε μορφή φύλλων συμπιεσμένης σκόνης. Η αντίδραση της καθόδου είναι η αναγωγή

$$O_2(g) + 2\,H_2O(l) + 4\,e^- \rightarrow 4\,OH^-(aq) \qquad E^\ominus = +0{,}40\ V$$

και η αντίδραση της ανόδου είναι η οξείδωση

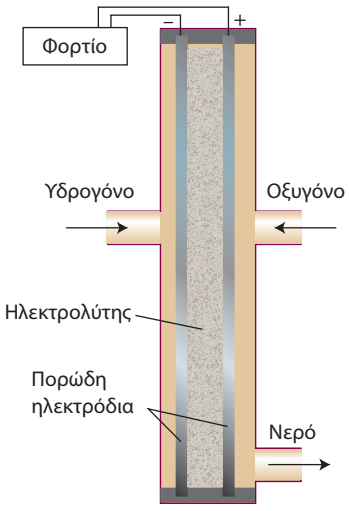
$$H_2(g) + 2\,OH^-(aq) \rightarrow 2\,H_2O(l) + 2\,e^-$$

Για την αντίστοιχη αναγωγή, $E^\ominus = -0{,}83$ V. Επειδή η ολική αντίδραση

$$2\,H_2(g) + O2(g) \rightarrow 2\,H_2O(l) \qquad E^\ominus_{\text{στοιχείου}} = +1{,}23\ V$$

είναι εξώθερμη και αυθόρμητη, ευνοείται θερμοδυναμικά λιγότερο στους 200°C από ό,τι στους 25°C, έτσι το δυναμικό στοιχείου είναι μικρότερο στην υψηλότερη θερμοκρασία. Ωστόσο, η αύξηση της πίεσης εξουδετερώνει την αύξηση της θερμοκρασίας, οπότε $E \approx +1{,}2$ V σε 200°C και 40 atm.

Ένα πλεονέκτημα του συστήματος υδρογόνου/οξυγόνου είναι η μεγάλη πυκνότητα ρεύματος ανταλλαγής της αντίδρασης του υδρογόνου. Δυστυχώς, η αντίδραση του οξυγόνου έχει πυκνότητα ρεύματος ανταλλαγής μόλις 0,1 nA cm^{-2} περίπου, κάτι που περιορίζει το ρεύμα που παράγεται από το στοιχείο. Ένας τρόπος αντιμετώπισης αυτής της δυσκολίας είναι να χρησιμοποιήσουμε μια καταλυτική επιφάνεια (ώστε να αυξήσουμε την πυκνότητα ρεύματος ανταλλαγής) με μεγάλο εμβαδόν.



Σχήμα 1 Μια μονάδα ενός στοιχείου καυσίμου υδρογόνου/οξυγόνου. Στην πράξη, χρησιμοποιείται μια συστοιχία πολλών απλών μονάδων.

Ένας τύπος στοιχείου καυσίμου που έχει αναπτυχθεί πολύ έχει ως ηλεκτρολύτη φωσφορικό οξύ και λειτουργεί με υδρογόνο και αέρα στους 200°C περίπου. Οι αντιδράσεις του ηλεκτροδίου είναι:

Άνοδος: $2\,H_2(g) \rightarrow 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$

Κάθοδος: $O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^- \rightarrow 2\,H_2O(l)$

Αυτό το στοιχείο καυσίμου αποτελεί καλή προοπτική για τα *συνδυασμένα συστήματα θέρμανσης και ισχύος* (συστήματα CHP). Στα συστήματα αυτά, η απώλεια θερμότητας, που αποτελεί αναπόφευκτο παραπροϊόν, χρησιμοποιείται για τη θέρμανση κτιρίων ή για την εκτέλεση έργου. Η απόδοση σε μια μονάδα CHP μπορεί να φτάσει το 80 τοις εκατό. Η ισχύς εξόδου των μπαταριών από τέτοια στοιχεία έχει φτάσει την τάξη των 10 MW.

Το υδρογόνο που απαιτείται για αυτά τα στοιχεία λαμβάνεται από μια «αντίδραση αναμόρφωσης» στο φυσικό αέριο (μεθάνιο). Παρόλο που το αέριο υδρογόνο είναι ένα ελκυστικό καύσιμο, έχει μειονεκτήματα ως προς τις κινητές εφαρμογές: είναι δύσκολο να αποθηκευτεί και επικίνδυνο στη χρήση. Μια πιθανότητα για φορητά στοιχεία καυσίμου είναι η αποθήκευση του υδρογόνου σε νανοσωλήνες. Έχει δειχθεί ότι οι νανοσωλήνες άνθρακα σε σχήμα ψαροκόκαλου μπορούν να αποθηκεύσουν μεγάλες ποσότητες υδρογόνου και καταλήγουν σε πυκνότητα ενέργειας (η ποσότητα της απελευθερούμενης ενέργειας διά του όγκου του υλικού) διπλάσια εκείνης της βενζίνης.

Στοιχεία με τηγμένους ανθρακικούς ηλεκτρολύτες στους 600°C περίπου μπορούν να χρησιμοποιήσουν απευθείας φυσικό αέριο, αποφεύγοντας έτσι την ανάγκη μετατροπής του σε υδρογόνο Ηλεκτρολύτες στερεής κατάστασης χρησιμοποιούνται επίσης. Σε μια εκδοχή τους ο ηλεκτρολύτης είναι ένας στερεός πολυμερικός ιοντικός αγωγός στους 100°C περίπου, αλλά επί του παρόντος απαιτεί πολύ καθαρό υδρογόνο για να λειτουργήσει επιτυχώς. Τα στοιχεία στερεών ιοντικών αγώγιμων οξειδίων λειτουργούν στους 1000°C περίπου και μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν απευθείας υδρογονάνθρακες ως καύσιμο. Έως ότου αναπτυχθούν αυτά τα υλικά, ένα ελκυστικό καύσιμο είναι η μεθανόλη, που είναι εύκολη στον χειρισμό και πλούσια σε άτομα υδρογόνου:

Άνοδος: $CH_3OH(l) + 6\,OH^-(aq) \rightarrow 5\,H_2O(l) + CO_2(g) + 6\,e^-$

Κάθοδος: $O_2(g) + 4\,e^- + 2\,H_2O(l) \rightarrow 4\,OH^-(aq)$

Ένα μειονέκτημα της μεθανόλης, ωστόσο, είναι το φαινόμενο της «ηλεκτρο-ωσμωτικής μεταφοράς», στο οποίο τα πρωτόνια που κινούνται διά μέσου της πολυμερικής ηλεκτρολυτικής μεμβράνης που διαχωρίζει την άνοδο από την κάθοδο μεταφέρουν νερό και αιθανόλη στο διαμέρισμα της καθόδου, όπου το δυναμικό είναι αρκετό για να οξειδώσει την CH_3OH σε CO_2, μειώνοντας έτσι την απόδοση του στοιχείου.