

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εναλλακτικές πηγές ενέργειας (alternative energy sources), οι οποίες θα πρέπει να είναι «ανανεώσιμες» (renewable), με την έννοια της μη εξαντλησιμότητας, και φιλικές προς το περιβάλλον είναι ένα από τα ζητούμενα της σημερινής κοινωνίας λόγω των προβλημάτων ρύπανσης του πλανήτη που έχουν προκύψει.

Η στροφή του ενδιαφέροντος προς αυτή την κατεύθυνση, τόσο από πλευράς έρευνας όσο και από πλευράς προτροπών αλλά και εθνικών δεσμεύσεων/στόχων του Παγκόσμιου Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος, είναι έντονη.

Οι βασικότερες εναλλακτικές, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:

- Αιολική ενέργεια (Aeolian ή wind energy): αφορά την αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας των αερίων μαζών με ανεμογεννήτριες.
- Βιομάζα (biomass energy): αφορά την εκμετάλλευση φυτικών προϊόντων και οργανικών αστικών ή βιομηχανικών αποβλήτων.
- Γεωθερμική ενέργεια (geothermic energy): αφορά την αξιοποίηση των ατμών επιφανειακών ή υπόγειων θερμών ρευμάτων που δημιουργούνται από τη θερμότητα της Γης.
- Ηλιακή ή φωτοβολταϊκή ενέργεια (sun, photovoltaic energy): αφορά τη συγκέντρωση και φωτοβολταϊκή μετατροπή της ακτινοβολούμενης από τον ήλιο ενέργειας σε ηλεκτρική.
- Ενέργεια των ωκεανών (ocean energy): αφορά την εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των κυμάτων, ρευμάτων των θαλασσών, της παλίρροιας και των θερμικών επιπέδων των υδάτων σε κατακόρυφο άξονα.
- Υδροηλεκτρική ενέργεια (hydroelectric energy): αφορά την εκμετάλλευση ελεγχόμενης υδατόπτωσης των υδάτων ποταμών ή άλλων τεχνικών ή φυσικών υδροταμιευτήρων.

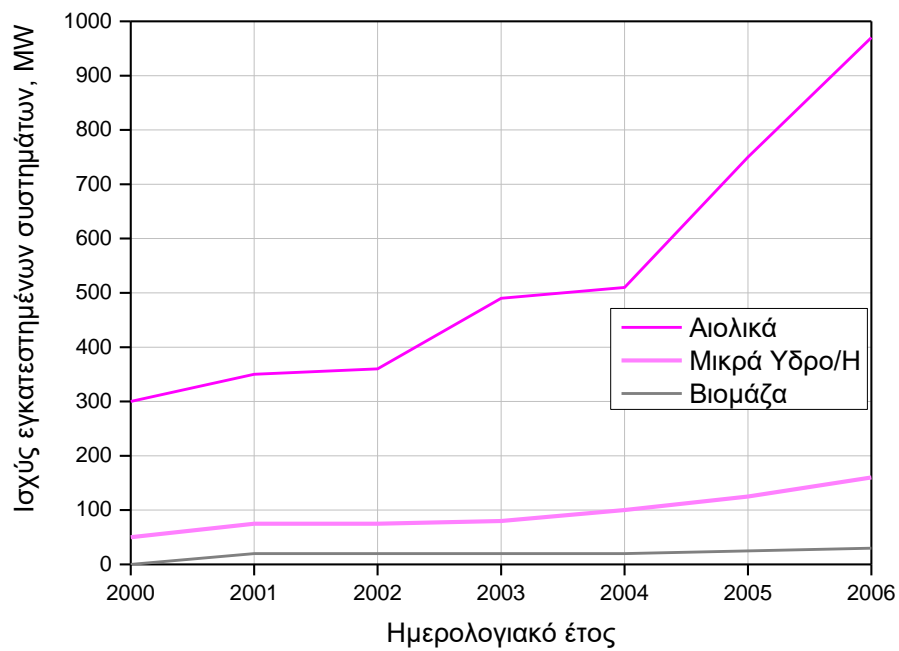
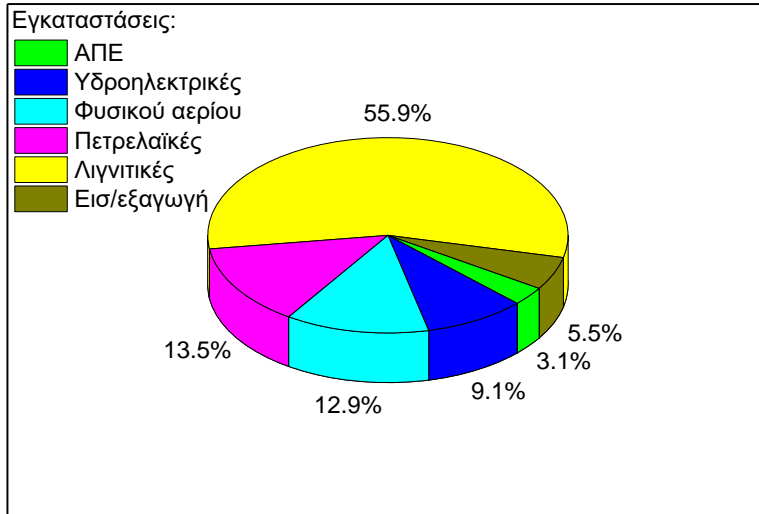
Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ΑΠΕ (renewable energy sources), πέραν της πρακτικά μη εξαντλησιμότητάς τους έχουν και τα πλεονεκτήματα:

- της ελάχιστης έως μηδενικής ρύπανσης, της ευέλικτης διαχείρισης και της μεγάλης διασποράς. Το τελευταίο χαρακτηριστικό συνεπάγεται ελαχιστοποίηση των απωλειών και του κόστους μεταφοράς της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς τον καταναλωτή.
- των θετικών επιπτώσεων σε δημογραφικά ζητήματα (αποκέντρωση, οικονομική ανάπτυξη και αναβάθμιση του μορφωτικού επιπέδου της περιφέρειας).

Η σκιαγράφιση της κατάστασης (~2000) είχε ως ακολούθως:

- το ποσοστό συνεισφοράς των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης κυμαινόταν στο 6%,
- στην χώρα μας, παρά την πλεονεκτική θέση που κατέχει, το αντίστοιχο ποσοστό δεν ξεπερνούσε το 3%
με τα κάτωθι χαρακτηριστικά
 - Αιολική Ενέργεια ~ 40 MW
 - Υδροηλεκτρική Ενέργεια ~2.850 MW
 - Φωτοβολταϊκά συστήματα 0,3 MW
 - Ηλιακοί συλλέκτες ~2.500.000 m²

Τόσο στην ευρωζώνη όσο και στην Ελλάδα, η κατάσταση αλλάζει ραγδαία. Στην Ελλάδα το θέμα παίρνει φαίνεται να παίρνει πλέον διαστάσεις εθνικής προτεραιότητας με αποτελέσματα όπως αυτά που φαίνονται στο Σχήμα:



Ενέργεια από βιομάζα

Ο επίσημος, εθνικά, ορισμός της βιομάζας έχει ως:

«Το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων που προέρχονται από τις γεωργικές, συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών, τις δασοκομικές και τις συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων και απορριμμάτων».

Παραδοσιακή χρήση:

Θερμική ενέργεια → μηχανική ενέργεια → ηλεκτρισμός

Εναλλακτική χρήση:

Η βιομάζα με κατάλληλες επεξεργασίες μπορεί να αποδώσει ουσίες υψηλού ενεργειακού περιεχομένου και δείκτη εκμετάλλευσης, δυνάμενες να αξιοποιηθούν ενεργειακά με τρόπο απόλυτα φιλικό προς το περιβάλλον.

Οι αντιπροσωπευτικότερες εξ αυτών είναι:

i. Το βιοαέριο (biogas): ένα προϊόν προερχόμενο από την αποδόμηση της βιομάζας παραγόμενο σε αξιοσημείωτες ποσότητες και ελεγχόμενο τρόπο (άρα εκμεταλλεύσιμο) από τη βιολογική επεξεργασία υγρών αστικών αποβλήτων (μονάδες βιολογικών καθαρισμών)

ii. Οι βιοαλκοόλες με βασικό αντιπρόσωπο την βιοαιθανόλη ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$): συστατικά υψηλού ενεργειακού περιεχομένου που προέρχονται από τη ζύμωση της βιομάζας.

Με σκοπό την αύξηση της παραγωγής του ανανεώσιμου αυτού βιοκαυσίμου, τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται ραγδαία η διαδικασία των **«ενεργειακών καλλιεργειών»** οι οποίες θα οδηγήσουν σε μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας, κατάλληλης να αποδώσει μεγάλες ποσότητες βιοαιθανόλης.

Εκτιμάται ότι μεσοπρόθεσμα (~2030) οι ενεργειακές καλλιέργειες θα αποτελούν σε Ευρωπαϊκό επίπεδο την κύρια πηγή βιοενέργειας, με μια δυναμικότητα της τάξης των ~150 μεγατόνων (Mt) ισοδύναμου πετρελαίου.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες και γενικότερα η βιομάζα ως ενεργειακός πόρος έχει ιδιαίτερη σημασία και βαρύτητα για χώρες όπως η **Ελλάδα στις οποίες ευνοούνται κλιματικά** οι ενεργειακές καλλιέργειες και υπάρχει υψηλό υπόβαθρο αγροτικών και κτηνοτροφικών παραπροϊόντων (τα οποία λογίζονται σήμερα ως «απόβλητα» γεγονός που συνεπάγεται περαιτέρω κόστος για την διαχείριση τους).

Σύγχρονες ερευνητικές τάσεις στοχεύουν στην αύξηση της παραγωγής βιομάζας υψηλής ποιότητας και στην ανάπτυξη νέας τεχνολογίας/τεχνογνωσίας για την αποτελεσματικότερη, πιο ενδεδειγμένη αξιοποίηση των βασικών καταρχάς προϊόντων αυτής, δηλαδή βιοαερίου, βιοαλκοολών και βιοντίζελ, και μάλιστα με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον.

«Ενεργειακές καλλιέργειες» θα ονομάζουμε καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη του φυτικού βασιλείου τα οποία παράγουν ως κύριο προϊόν βιομάζα που θα χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας (βιοκαύσιμα, θερμότητα, ηλεκτρισμό).

Διακρίνονται στις:

-δασικές

-γεωργικές (ετήσιες και πολυετείς).

- **Δασικές ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα:**
 - **Ευκάλυπτος** του είδους *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh (ανθεκτικός στην ξηρασία) και Ευκάλυπτος του είδους *Eucalyptus globulus* Labill (απαιτητικός σε άρδευση): Δασικά φυτά που συγκομίζονται ανά περίπου 2-3 έτη, ταχύτατα αναπτυσσόμενα μετά τη συγκομιδή. Πειραματικές τους καλλιέργειες στον Ελλαδικό χώρο έδειξαν μέσες αποδόσεις σε βιομάζα της τάξης των ~ 3 τόνων/στρέμμα/έτος με ενεργειακό δυναμικό ~1,3 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου/στρέμμα/έτος.
 - **Ψευδοκακία:** Φυτό πολυετές, ψυχανθές και δενδρώδες. Ταχύτατης ανάπτυξης και αναβλάστησης μετά την κοπή. Πειραματικές του καλλιέργειες στον Ελλαδικό χώρο έδειξαν μέσες αποδόσεις σε βιομάζα της τάξης των ~ 1 τόνο/στρέμμα/έτος με ενεργειακό δυναμικό κυμαινόμενο μεταξύ 0,1-0,6 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου/στρέμμα/έτος.

- **Γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες:**
 - **Ελαιοκράμβη:** ετήσιο ελαιοπαραγωγικό φυτό της οικογένειας των σταυρανθών, θεωρούμενο παγκοσμίως το τρίτο στη σειρά σημαντικότητας, μετά τη σόγια και το φοινικέλαιο, για παραγωγή ελαίου. Στον Ελλαδικό χώρο αποδίδει περίπου 120-250 κιλά σπόρο/στρέμμα, διπλάσια περίπου κιλά ξηρής βιομάζας και 40-90 λίτρα βιοντίζελ/στρέμμα.
 - **Καλάμι:** Πολυετές, αυτοφυές φυτό που ευδοκιμεί ιδιαίτερα στη χώρα μας. Αναφέρονται για την Ελλάδα αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα της τάξης των 0,8 έως 3,5 τόνων/στρέμμα. Το ενεργειακό του δυναμικό είναι περίπου 1,2 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου/στρέμμα/έτος.
 - **Αγριαγκινάρα:** Πολυετές φυτό που φαίνεται να ευδοκιμεί ιδιαίτερα στην Ελλάδα. Πειραματικές καλλιέργειες αγριαγκινάρας στην Ελλάδα αποδίδουν

τυπικά 1,0 έως 3,1 τόνους ξηρής βιομάζας/έτος. Το ενεργειακό περιεχόμενο των καλλιέργειών κυμαίνεται μεταξύ 0,6-1,2 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου/στρέμμα/έτος.

- **Μίσχανθος:** Πολυετές φυτό ανεκτικό σε ασθένειες. Σε εγχώριες πειραματικές καλλιέργειες αναφέρονται αποδόσεις της τάξης των 0,8 έως 3,2 τόνων ξηρής βιομάζας/στρέμμα.
- **Switchgrass:** πολυετές φυτό με αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα που κυμαίνονται μεταξύ 0,7 έως 2,5 τόνους/στρέμμα
- **Σόργο** (γλυκό και κυτταρινούχο): φυτό μονοετούς καλλιέργειας χαμηλών απαιτήσεων για να ευδοκιμήσει αποδίδοντας βιομάζα σε υψηλές αποδόσεις και υψηλό περιεχόμενο σε σάκχαρα που θα αποτελέσουν και την πρώτη ύλη για παραγωγή βιοαιθανόλης κατόπιν ζύμωσης. Το κυτταρινούχο έχει μικρότερο ποσοστό από αυτό του γλυκού σε σάκχαρα αλλά υψηλότερο ενεργειακό δυναμικό σε κυτταρινούχα συστατικά. Το γλυκό σόργο αποδίδει σάκχαρα ~1 τόνο/στρέμμα ενώ το κυτταρινούχο ~0,2 τόνους/στρέμμα. Μια ποσότητα βιοαιθανόλης της τάξης των 650 λίτρων/τόνο είναι εύκολα εφικτή. Οι αποδόσεις σόργου σε ξηρό βάρος βιομάζας φθάνουν στους 2,8 τόνους/στρέμμα.
- **Κενάφ:** φυτό χρησιμοποιούμενο συχνά για την παραγωγή χαρτιού υψηλής ποιότητας. Πειραματικές καλλιέργειές του στην Ελλάδα έχουν δείξει αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα μέχρι και 2,4 τόνους/στρέμμα.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΩΝ

ΑΣΚΗΣΗ 1

Μία κυψέλη καυσίμου λειτουργεί στους 80°C με τροφοδοσία καθαρού H₂ στην άνοδο και αέρα στην κάθοδο. Η αντίσταση των ηλεκτροδίων και του πολυμερικού στερεού ηλεκτρολύτη είναι συνολικά 1 ohm. Εάν η κυψέλη εμφανίζει μόνο ωμική υπέρταση, να:

(α) Σχεδιαστεί σε διάγραμμα τάσης-έντασης και ισχύος-έντασης η συμπεριφορά της κυψέλης. Ποιο είναι το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να παράγει η κυψέλη; Ποια η μέγιστη ισχύς αυτής και σε ποιο ρεύμα επιτυγχάνεται;

(β) Να βρεθεί η τάση, το ρεύμα και η ισχύς της κυψέλης στο σημείο εκείνο της λειτουργίας που ο συντελεστής απόδοσής της θα είναι 65%.

(γ) Να υπολογιστεί ο ρυθμός παροχής υδρογόνου στην άνοδο ώστε εάν η κυψέλη λειτουργεί σε συνθήκες μέγιστης ισχύος να επέρχεται κατανάλωση (μετατροπή) του καυσίμου κατά 95%.

ΛΥΣΗ

(α) Σύμφωνα με τα δεδομένα του παραδείγματος στην κυψέλη επιτελείται η αντίδραση $H_2 + 1/2 O_2 \rightarrow H_2O$. Εφόσον η διαφορά θερμοκρασίας από $T=298K$ (25°C) έως την $T=353K$ (80°C) που λειτουργεί η κυψέλη είναι πολύ μικρή μπορούμε να δεχθούμε χωρίς ιδιαίτερο σφάλμα ότι τα δεδομένα του Πίνακα 13.10 του Βιβλίου «Ατμοσφαιρική Ρύπανση: επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες, Ι. Γεντεκάκης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος 2010», καλύπτουν τις συνθήκες λειτουργίας της κυψέλης.

Έτσι από τον Πίνακα βρίσκουμε τα θερμοδυναμικά δεδομένα της συνολικής αντίδρασης που επιτελείται στην κυψέλη: $-\Delta G^{\circ}=237,3$ kJ/mol, $-\Delta H^{\circ}=286$ kJ/mol, τα οποία μάλιστα προβλέπουν αντιστρεπτό δυναμικό λειτουργίας της κυψέλης ίσο με $V_{rev}=1,229$ V και μέγιστη θεωρητική απόδοση $\varepsilon_{max}=83\%$.

Η εξίσωση της συμπεριφορά του δυναμικού της κυψελίδας σε σχέση με τις υπερτάσεις που αυτή αναπτύσσει, είναι:

$$V_{cell} = V_{rev} - \Phi_{act} - \Phi_{ohm} - \Phi_{con} \quad (1)$$

Στην περίπτωσή μας, σύμφωνα με την εκφώνηση, έχουμε την ανάπτυξη μόνο ωμικής υπέρτασης Φ_{ohm} ενώ $\Phi_{act}=0$ και $\Phi_{con}=0$.

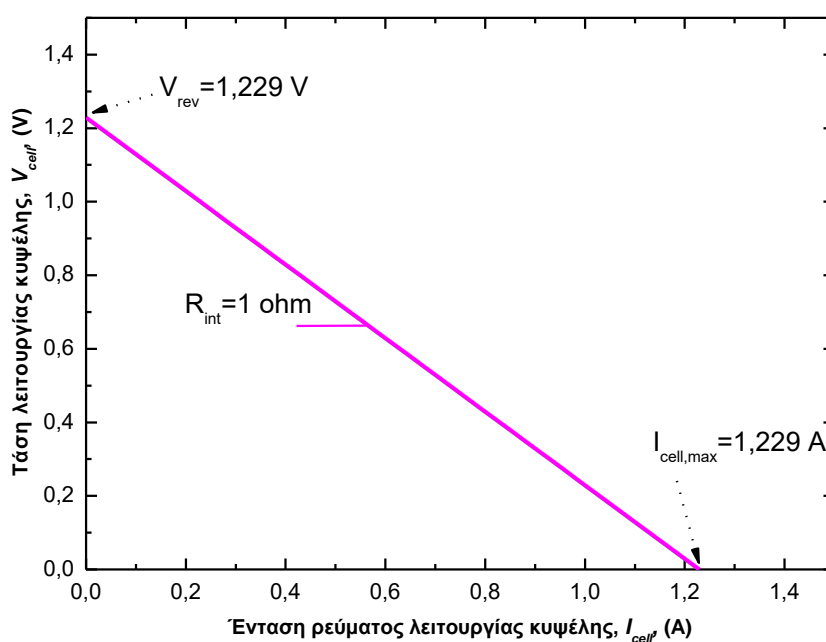
Δεδομένου ότι η ωμική υπέρταση καθορίζεται από τη συνολική εσωτερική αντίσταση της κυψελίδας, R_{int} :

$$\Phi_{ohm} = I \cdot R_{int} \quad (2)$$

η σχέση (1) γίνεται:

$$V_{cell} = V_{rev} - I \cdot R_{int} \quad (3)$$

Η τελευταία εξίσωση (3) δείχνει την εξάρτηση του δυναμικού λειτουργίας της κυψέλης συναρτήσει του ρεύματος που το διαρρέει, την οποία και σχεδιάζουμε στο Σχήμα Π1.



Σχήμα Π1: Διάγραμμα τάσης-έντασης της κυψελίδας του παραδείγματος.

Παρατήρηση: Εφόσον η εξίσωση (3) είναι ευθεία γραμμή μπορούμε να τη σχεδιάσουμε με δύο τρόπους (βλ. Σχήμα Π1): είτε ξεκινώντας από το σημείο ($I=0$ A, $V_{cell}=V_{rev}=1,229$ V) από το οποίο ξεκινά και να συνεχίσουμε το σχεδιασμό χρησιμοποιώντας τη δεδομένη από την άσκηση κλίση της (κλίση $=-R_{int}=-1$ ohm), είτε ξεκινώντας από το σημείο ($I=0$ A, $V_{cell}=V_{rev}=1,229$ V) που είναι και η τεταγμένη της και καταλήγοντας στην τεταγμένη της που, όπως προκύπτει από την (3) για $V_{cell}=0$, είναι το σημείο ($I=I_{max}=V_{rev}/R_{int}=1,229V/1ohm=1,229A$, $V_{cell}=0$ V).

Τώρα, χρησιμοποιώντας τη σχέση:

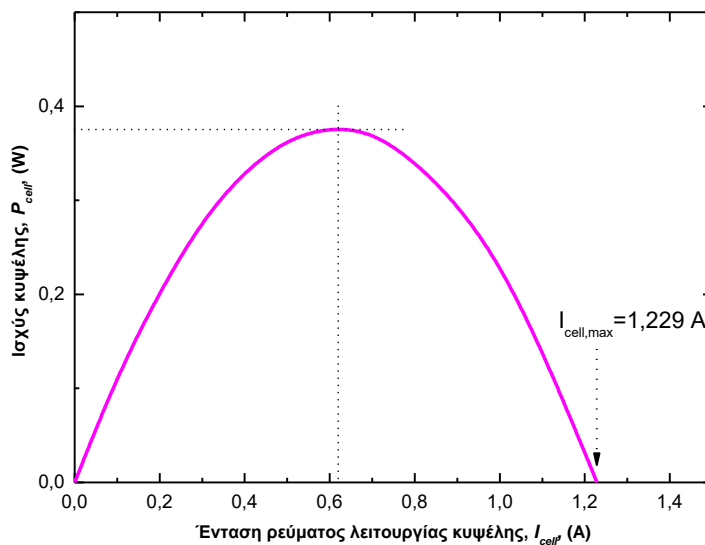
$$P = I V_{cell} \quad (4)$$

και με ένα μικρό βήμα, έστω $I=0,1$ A, βρίσκουμε τα εκάστοτε αντίστοιχα V_{cell} και P , οπότε σχεδιάζουμε και το διάγραμμα ισχύος-έντασης της κυψελίδας (Σχήμα Π2). Από τα σχήματα Π1 και Π2 βρίσκουμε αντίστοιχα:

$$I_{max}=1,229$$
 A

$$P_{max}= 0,376$$
 W (σε ρεύμα $I^*=0,62$ A)

(προσοχή: μη γίνει σύγχυση ότι τι μέγιστο ρεύμα δίνει την μέγιστη ισχύ. Το μέγιστο ρεύμα I_{max} αντιστοιχεί σε ισχύ μηδέν)



Σχήμα Π2: Διάγραμμα ισχύος-έντασης της κυψελίδας του παραδείγματος 13.1.

(β) Ο συντελεστής απόδοσης της κυψελίδας δίνεται από τη σχέση (5):

$$\varepsilon_o = -nFV_{cell}/\Delta H = (-nFV_{rev}/\Delta H)(V_{cell}/V_{rev}) = \varepsilon_{max}\varepsilon_p \quad (5)$$

όπου το ε_{max} της εν λόγω κυψελίδας είναι 0,83 (Πίνακας 13.10 του βιβλίου «Ατμοσφαιρική ρύπανση»). Οπότε, για την ζητούμενη $\varepsilon_o=0,65$ προκύπτει:

$$\varepsilon_o = \varepsilon_{max}(V_{cell}/V_{rev}) \Rightarrow V_{cell} = \varepsilon_o V_{rev} / \varepsilon_{max} = 0,65 \times 1,229V / 0,83 = 0,962 V.$$

Από το Σχήμα Π1 για $V_{cell}=0,962 V$ βρίσκουμε $I=0,267 A$ και κατόπιν

$$P = I \cdot V_{cell} = 0,257W$$

(γ) Ο ρυθμός κατανάλωσης του υδρογόνου από την κυψελίδα σύμφωνα με το νόμο του Faraday στο ρεύμα που αυτή παράγει θα είναι

$$r_H \text{ (g-atom/s)} = I/F \quad (6), \text{ ή,}$$

$$r_{H_2} = I/2F \quad (7)$$

όπου $F=96484 \text{ Cb/mol}$ η σταθερά Faraday.

Άρα, εάν $I=I^*$ είναι το ρεύμα που αντιστοιχεί στη λειτουργία μέγιστη ισχύος της κυψέλης, θα έχουμε:

$$r_{H_2} = I^*/2F = 0,62 A / (2 \times 96484 \text{ Cb/mol}) = 3,2 \times 10^{-6} \text{ mol/s.}$$

Από την άσκηση μας ζητείται μια μετατροπή καυσίμου κατά 95% ($X_{H_2} = 0,95$). Εάν η παροχή καυσίμου (H_2) είναι Q_{in} (mol H_2 /s), τότε η μετατροπή ορίζεται ως:

$$X_{H_2} = (Q_{in} - Q_{out}) / Q_{in} = (I^* / 2F) / Q_{in} \Rightarrow$$

$$Q_{in} = (I^* / 2F) / 0,95 = 3,38 \times 10^{-6} \text{ mol/s} \text{ ή } Q_{in} = 4,6 \text{ cm}^3 / \text{min} .$$

ΑΣΚΗΣΗ 2

Μελετήθηκε η αντίδραση οξείδωσης του αιθυλενίου σε καταλύτη Pt που ήταν εναποθεθειμένος σε στερεό ηλεκτρολύτη TiO_2 (αγωγός ιόντων O^{2-}), σε ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο του τύπου Pt/ TiO_2 /Au που ήταν διευθετημένο σε αντιδραστήρα ανεξάρτητου δισκίου ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί το φαινόμενο NEMCA [Pliangos et al., 1996]. Στους 540°C και με ανοικτό κύκλωμα ο ρυθμός της αντίδρασης ήταν $r_0=3,96\times 10^{-8}$ mol O/s. Με την εφαρμογή μικρού ρεύματος $I=40\mu\text{A}$ ο ρυθμός της αντίδρασης αυξήθηκε ραγδαία και σταθεροποιήθηκε μετά από λίγα λεπτά στην τιμή $r=4,49\times 10^{-7}$ mol O/s. Στην ουσία είχαμε την εμφάνιση του φαινομένου NEMCA. Υπολογίστε τον παράγοντα προσαύξησης Λ και τον λόγο προσαύξησης του ρυθμού ρ . Πόσο τοις εκατό ενεργότερος παρουσιάζεται ο καταλύτης κάτω από την επίδραση του φαινομένου;

ΛΥΣΗ

Με την εφαρμογή του ρεύματος $I=40\mu\text{A}$ στέλνομαι προς την καταλυτική επιφάνεια ιόντα O^{2-} (φορτίου $z=2$) με ένα ρυθμό G ίσο με:

$$G=I/2F=(40\times 10^{-6}\text{Cb/s})/(2\times 96484\text{Cb/mol O})=2,07\times 10^{-10}\text{mol O/s}$$

Το αποτέλεσμα είναι μια προσαύξηση του ρυθμού κατά

$$\Delta r=(r-r_0)=4,49\times 10^{-7}\text{mol O/s} - 3,96\times 10^{-8}\text{mol O/s} = 4,09\times 10^{-7}\text{mol O/s}.$$

Επομένως σύμφωνα με τον ορισμό του παράγοντα προσαύξησης Λ (εξίσωση 13.57, βιβλίο «Ατμοσφαιρική Ρύπανση») έχουμε:

$$\Lambda = \frac{\Delta r}{(I/zF)} = \frac{4,09\times 10^{-7}}{2,07\times 10^{-10}} = 1976$$

Εν ολίγοις κάθε ιόν O^{2-} που στέλνουμε στην επιφάνεια του καταλύτη είναι σαν να «παρακινεί» 1976 ροφημένα άτομα O για να αντιδράσουν με τον υδρογονάνθρακα και να τον οξειδώσουν.

Ο λόγος προσαύξησης του ρυθμού ρ (εξίσωση 13.58) θα είναι:

$$\rho = \frac{r}{r_0} = \frac{4,49\times 10^{-7}\text{mol O/s}}{3,96\times 10^{-8}\text{mol O/s}} = 11,34$$

Ενώ η ποσοστιαία προσαύξηση αυτού θα είναι $(\Delta r/r_0)\times 100=1032,8\%$.