

# **Oil Peaking: Το πρόβλημα της κορυφωσης της πετρελαϊκής ζήτησης**

Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Σπουδών στην  
**ΑΓΡΟΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ  
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ**

από  
**ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**

**Ευάγγελος Α. Λέτσιος**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**



**Oil Peaking:  
Το πρόβλημα της κορύφωσης  
της πετρελαϊκής ζήτησης**

## **Δήλωση**

Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Σπουδών στην «Αγροχημεία και Βιολογικές Καλλιέργειες».

Ευάγγελος Λέτσιος

## **Περίληψη**

Η σύγχρονη κοινωνία έχει στηρίξει το μέλλον της στην ενέργεια. Τα αποθέματα όμως των συμβατικών καυσίμων, όπως το πετρέλαιο και το γκάζι, μειώνονται συνεχώς, ενώ η χρήση τους καταστρέφει όχι μόνο την υγεία του ανθρώπου αλλά και το περιβάλλον. Θα μπορέσουν οι νέες, καθαρότερες τεχνολογίες να ικανοποιήσουν την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια στο μέλλον; Με ποιους τρόπους θα μπορούσε να λυθεί το πρόβλημα της κορύφωσης της πετρελαϊκής ζήτησης μέσω πρωτοποριακών τεχνολογικών καινοτομιών;

Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζονται διαδοχικά η βιβλιογραφική ανασκόπηση του θέματος, τα σημαντικά μεθοδολογικά προβλήματα που αντιμετωπίζει ο ερευνητής της πετρελαϊκής κορύφωσης, η οριοθέτηση του προβλήματος, η μέθοδος πετρελαϊκής πρόβλεψης του Hubbert, οι γεωπολιτικές συνέπειες που προκύπτουν από την πετρελαϊκή κορύφωση, με ειδική μνεία στα κράτη του ΟΠΕΚ και στις ραγδαία αναπτυσσόμενες οικονομίες της Κίνας και της Ινδίας.

Στη συνέχεια ακολουθεί μια εκτενέστατη ανάλυση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας (ανανεώσιμων και πυρηνικής) καθώς και συγκριτική οικονομική ανάλυσή τους. Η στρατηγική που θα εφαρμόσουν τόσο οι πετρελαϊκές εταιρίες (Shell, Statoil) όσο και ο δημόσιος τομέας (εθνικός και ευρωπαϊκός) στη μετά – πετρελαϊκή εποχή αποτελούν βασικό τμήμα της ανάλυσης. Τέλος, αφού αναλυθεί η περίπτωση της πλήρους πετρελαϊκής απεξάρτησης της Σουηδίας, ερευνώνται εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης της πετρελαϊκής κορύφωσης και δίνονται κατευθύνσεις μελλοντικής έρευνας.

**Λέξεις – κλειδιά:** Πετρελαϊκή κορύφωση, Εναλλακτικές πηγές ενέργειας, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Πρόβλεψη Hubbert, Ανάλυση σεναρίων



## **Περιεχόμενα**

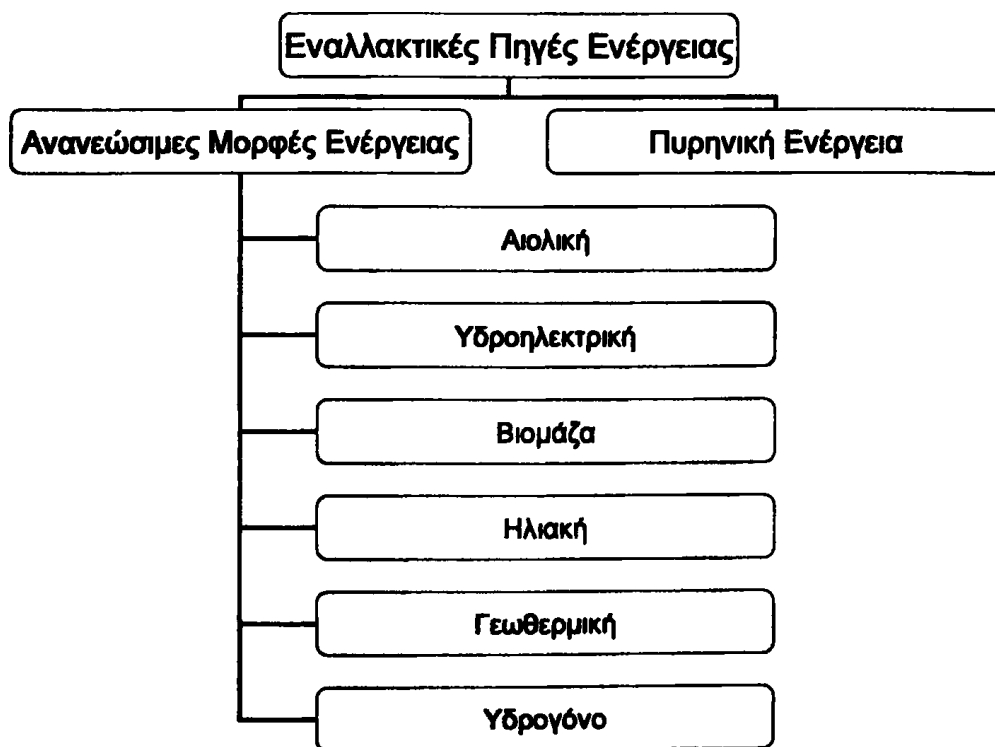
|                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>                                                | <b>6</b>   |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....</b>                                | <b>10</b>  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....</b>                                             | <b>13</b>  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....</b>                                    | <b>14</b>  |
| 4.1 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ .....                                             | 14         |
| 4.2 ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ: ΟΙ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΟΥ HUBBERT .....                          | 17         |
| 4.3 ΓΕΩΠΟΛΙΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ .....                                 | 22         |
| 4.3.1 Ο στρατηγικός ρόλος των χωρών του ΟΠΕΚ .....                               | 22         |
| 4.3.2 Το ενεργειακό στοίχημα της Κίνας και της Ινδίας.....                       | 24         |
| 4.4 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....                                            | 32         |
| 4.4.1 Αιολική ενέργεια.....                                                      | 37         |
| 4.4.2 Υδροηλεκτρική ενέργεια.....                                                | 40         |
| 4.4.3 Βιομάζα.....                                                               | 42         |
| 4.4.4 Ηλιακή Ενέργεια.....                                                       | 46         |
| 4.4.5 Γεωθερμική Ενέργεια .....                                                  | 63         |
| 4.4.6 Υδρογόνο .....                                                             | 65         |
| 4.5 ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....                                                      | 66         |
| 4.6 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....                      | 71         |
| 4.7 Η ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΩΝ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΣΤΗ ΜΕΤΑ-ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΗ ΕΠΟΧΗ. ....        | 73         |
| 4.7.1 Case study: Shell.....                                                     | 73         |
| 4.7.2 Case study: Statoil .....                                                  | 76         |
| 4.8 ΕΘΝΙΚΗ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ .....                             | 77         |
| 4.9 CASE STUDY: Η ΠΛΗΡΗΣ ΑΠΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΣΟΥΗΔΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ .....          | 85         |
| 4.10 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ .....                                                      | 86         |
| 4.10.1 Υπέρ – αισιόδοξο (Pollyanna Scenario) .....                               | 88         |
| 4.10.1.1 Δημιουργείται πετρέλαιο ακόμα και σήμερα; .....                         | 89         |
| 4.10.2 Αισιόδοξο (Optimistic Scenario) .....                                     | 90         |
| 4.10.3 Μετριοπαθές (Plateau Scenario).....                                       | 91         |
| 4.10.4 Απαισιόδοξο (Pessimistic Scenario).....                                   | 93         |
| 4.10.5 Υπέρ – απαισιόδοξο (Head for the Hills Scenario) .....                    | 94         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>                              | <b>95</b>  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΗΓΕΣ .....</b>                                                   | <b>99</b>  |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....                                                               | 99         |
| ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ.....                                                                 | 100        |
| ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ .....                                             | 101        |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: NUCLEAR ENERGY AND THE FOSSIL FUELS BY M. KING HUBBERT .....</b> | <b>104</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK 2005 .....</b>                      | <b>129</b> |



## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Το oil peaking είναι η κορύφωση της πετρελαϊκής παραγωγής, η οποία σύμφωνα με τον γεωφυσικό και πατέρα της θεωρίας της πετρελαϊκής κορύφωσης Marion King Hubbert, συνέβη για τις ΗΠΑ μεταξύ 1965 και 1970 και παγκοσμίως το 2000 (Hubbert M.K. 1956). Πράγματι, η αμερικανική παραγωγή πετρελαίου κορυφώθηκε το 1971 και από τότε μειώνεται συνεχώς, μείωση όμως που δεν παρατηρήθηκε αντιστοίχως στην παγκόσμια παραγωγή. Οι υποστηρικτές του μοντέλου του Hubbert αποδίδουν αυτή την καθυστέρηση στην κορύφωση της παγκόσμιας πετρελαϊκής παραγωγής (Campbell C.J. & Laherrere J.H. 1998), στον μη υπολογισμό των πετρελαϊκών κρίσεων του 1973 και του 1979 που μείωσαν δραστικά την παγκόσμια ζήτηση πετρελαίου.

Το πρόβλημα επομένως που ανακύπτει είναι η αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας που θα αντικαταστήσουν την πετρελαϊκή παραγωγή. Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζονται οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας που θα εξεταστούν στην παρούσα εργασία.



Διάγραμμα 1: Οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας



Βασικό μεθοδολογικό πρόβλημα για τον ερευνητή της πετρελαϊκής παραγωγής αποτελούν σίγουρα τα αντικρουόμενα δεδομένα για τα αποθέματα πετρελαίου. Το ενδιαφέρον για το ύψος των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου κλιμακώθηκε παράλληλα με την εκτίναξη των τιμών του «μαύρου χρυσού» στα σημερινά ύψη. Όλο και περισσότερο, ωστόσο, ενισχύεται η άποψη ότι εν τέλει, δεν έχει τόση σημασία ο ακριβής υπολογισμός των διαθέσιμων ποσοτήτων αργού, όσο η ταχύτητα με την οποία υποκαθίσταται από εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

Κύμα πολεμικής με επίκεντρο τον κακό υπολογισμό των αποθεμάτων ξέσπασε και φέτος, όταν δημοσίευμα έφερε το Κουβέιτ να διαθέτει στην πραγματικότητα μόλις τη μισή ποσότητα αργού από εκείνο που δηλώνει επισήμως. Πρώην ανώτατο στέλεχος της κρατικής σαουδαραβικής Aramco τοποθετεί το μέγεθος των αποδεδειγμένων κοιτασμάτων της χώρας αυτής στα 48 δις. βαρέλια, έναντι επίσημης εκτίμησης περί 99 δις, η οποία πιθανολογείται ότι συμπεριλαμβάνει και μη αποδεδειγμένες ποσότητες.

Η υπόθεση είναι ενδεικτική του διλήμματος που προβληματίζει τις χώρες-μέλη του ΟΠΕΚ περί της ταχύτητας αύξησης των αποθεμάτων τους, ανεξαρτήτως μεγέθους. Πολλές από αυτές τις χώρες δεν έχουν κατορθώσει να αποσυνδέσουν την πορεία της οικονομίας τους από το πετρέλαιο. Έτσι αν η εξάντληση των αποθεμάτων καταλήξει σε ταχεία συρρίκνωση της παραγωγής, ίσως σε 10-15 χρόνια, οι εξελίξεις δεν θα είναι καλές για την παγκόσμια οικονομία στο σύνολό της. Από την άλλη, αν τα αποθέματα διατηρηθούν για 30-40 χρόνια ακόμα, ο κόσμος θα έχει στραφεί σε άλλες μορφές ενέργειας, με αποτέλεσμα να μην έχει καμιά σημασία το ύψος αυτών των αποθεμάτων.

Ο επικεφαλής οικονομολόγος της Διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας (IEA), Φατίχ Μπινόλ, επισημαίνει πως «το ζήτημα δεν είναι τα αποθέματα, αλλά η επενδυτική πολιτική των μεγάλων παραγωγών χωρών: αν αυτές δεν επενδύσουν, δεν έχει καμιά σημασία αν διαθέτουν αποθέματα ενός, δύο ή τριών δις. βαρελιών» (IEA 2006). Προς το παρόν, όμως, το μέγεθος των αποθεμάτων εξακολουθεί να παίζει σημαντικότατο ρόλο. Η ίδια η IEA, σε συνεργασία με άλλους οργανισμούς, επεξεργάζεται μεθόδους που φιλοδοξεί να αποφέρουν πιο σαφή στοιχεία. Ο στόχος είναι δύσκολος,

καθώς αυτό που δεν υπάρχει πάντα σε αφθονία είναι η πολιτική βούληση (σήμερα, π.χ., ζητήματα πολιτικής και ασφάλειας ωθούν τις μεγαλύτερες παραγωγούς χώρες του ΟΠΕΚ να αποκλείουν ξένες επιχειρήσεις από τις πετρελαιοπηγές τους).

Ζητούμενο, μεταξύ άλλων, είναι η εξεύρεση διεθνούς προτύπου για τον υπολογισμό των ενεργειακών αποθεμάτων. Προς το παρόν, το πλησιέστερο σε ένα διεθνώς αποδεκτό τέτοιο πρότυπο είναι οι κανόνες που καθόρισε η Επιτροπή Κεφαλαιαγοράς των ΗΠΑ (SEC) κατά τη δεκαετία του '70. Η SEC, ωστόσο, κατηγορήθηκε και αυτή για τους κανόνες της, που θεωρήθηκαν υπερβολικά συντηρητικοί, όταν ξέσπασε το σκάνδαλο με επίκεντρο τη Royal Dutch Shell και την προς τα κάτω αναθεώρηση των αποθεμάτων της, τον Ιανουάριο του 2004.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει το πρόβλημα της πετρελαϊκής κορύφωσης και να διατυπωθούν εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης και αντιμετώπισης του προβλήματος. Για τη χώρα μας η ανάγκη πετρελαϊκής απεξάρτησης είναι ακόμη μεγαλύτερη, καθώς ο βαθμός εξάρτησης από το πετρέλαιο είναι πολύ μεγαλύτερος έναντι του μέσου ευρωπαϊκού όρου (65% έναντι 50%). Συνεπώς το ετήσιο ποσοστό αντικατάστασης του πετρελαίου από εναλλακτικές πηγές ενέργειας πρέπει να είναι μεγαλύτερο στην ελληνική περίπτωση (2% έναντι 1.5% του ευρωπαϊκού).

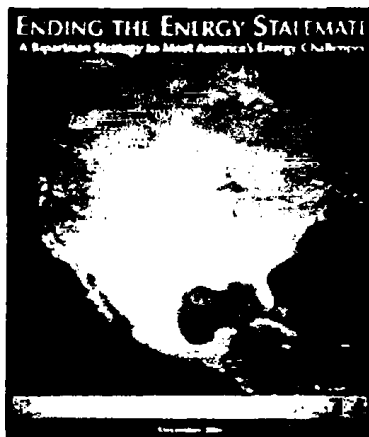
Η δομή της εργασίας έχει ως ακολούθως: Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση του θέματος και επισημαίνεται η τραγική έλλειψη που παρουσιάζει η ελληνική βιβλιογραφία στο θέμα. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σημαντικά μεθοδολογικά προβλήματα που αντιμετωπίζει ο ερευνητής της πετρελαϊκής κορύφωσης και στο τέταρτο ξεκινά η ανάλυση των κύριων ευρημάτων της εργασίας. Ειδικότερα, μετά την οριοθέτηση του προβλήματος, παρουσιάζονται διαδοχικά η μέθοδος πετρελαϊκής πρόβλεψης του Hubbert και οι γεωπολιτικές συνέπειες που προκύπτουν από την πετρελαϊκή κορύφωση, με ειδική μνεία στα κράτη του ΟΠΕΚ και στις ραγδαία αναπτυσσόμενες οικονομίες της Κίνας και της Ινδίας.

Στη συνέχεια ακολουθεί μια εκτενέστατη ανάλυση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας (ανανεώσιμων και πυρηνικής) καθώς και συγκριτική οικονομική ανάλυσή τους. Η στρατηγική που

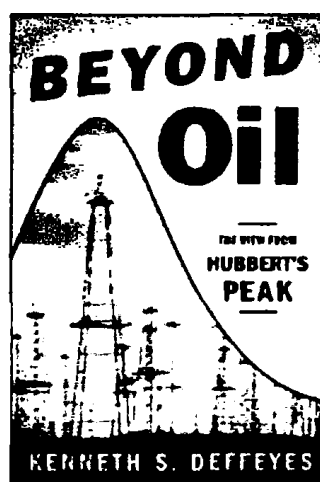
θα εφαρμόσουν τόσο οι πετρελαϊκές εταιρίες (Shell, Statoil) όσο και ο δημόσιος τομέας (εθνικός και ευρωπαϊκός) στη μετά – πετρελαϊκή εποχή αποτελούν βασικό τμήμα της ανάλυσης. Τέλος, αφού αναλυθεί η περίπτωση της πλήρους πετρελαϊκής ανεξάρτησης της Σουηδίας, ερευνώνται εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης της πετρελαϊκής κορύφωσης και διατυπώνονται τα κύρια συμπεράσματα της μελέτης.

## Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

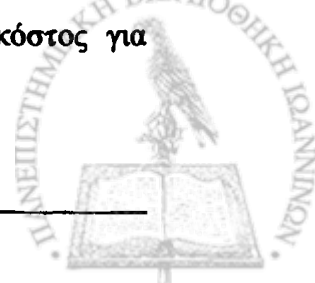
Ένα σημαντικό τμήμα των ερευνητών της πετρελαϊκής κορύφωσης ισχυρίζονται κορύφωση έχει ήδη λάβει χώρα. Ο Campbell υπολογίζει ότι η κορύφωση της παραγωγή συμβατικού πετρελαίου έγινε το 2004 (ASPO 2006), ενώ ο Kenneth S. Deffeyes το 2005.



Η Αμερικανική Επιτροπή Ενεργειακής Πολιτικής δε συμμερίζεται την άποψη ότι η παρο πετρελαίου έχει ήδη φτάσει στην κορύφωσή της. Μάλιστα δεν προβλέπει καμία κορύφωση πρ 2025. Ο κύριος αντίλογος σε αυτές τις αισιόδοξες προβλέψεις είναι ότι οι χώρες Ο υπερεκτιμούν τα πετρελαϊκά τους αποθέματα.

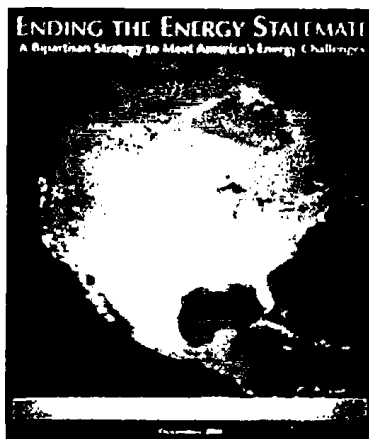


Ο γεωλόγος Deffeyes επισημαίνει ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν είναι ακόμ θέση να αντικαταστήσουν τη μαζική παραγωγή πετρελαίου. Ειδικότερα, το κόστος για απόδοση 60 Watts από ηλιακές κυψέλες αγγίζει τα 1000\$.

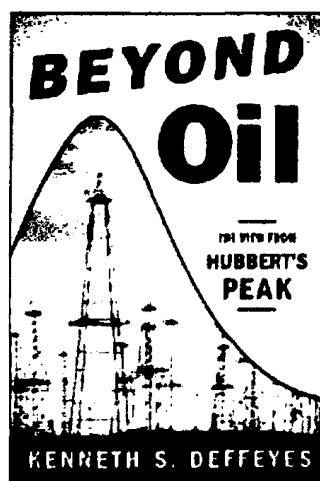
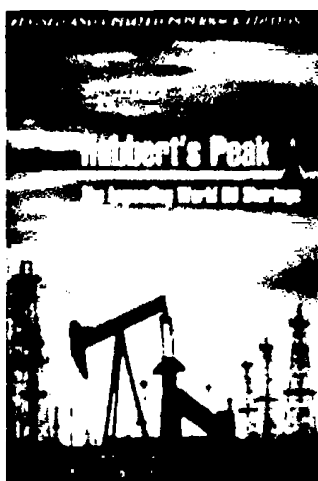


## Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Ένα σημαντικό τμήμα των ερευνητών της πετρελαϊκής κορύφωσης ισχυρίζονται κορύφωση έχει ήδη λάβει χώρα. Ο Campbell υπολογίζει ότι η κορύφωση της παραγωγή συμβατικού πετρελαίου έγινε το 2004 (ASPO 2006), ενώ ο Kenneth S. Deffeyes το 2005.



Η Αμερικανική Επιτροπή Ενεργειακής Πολιτικής δε συμμερίζεται την άποψη ότι η παρο πετρελαίου έχει ήδη φτάσει στην κορύφωσή της. Μάλιστα δεν προβλέπει καμία κορύφωση π 2025. Ο κύριος αντίλογος σε αυτές τις αισιόδοξες προβλέψεις είναι ότι οι χώρες Ο υπερεκτιμούν τα πετρελαϊκά τους αποθέματα.



Ο γεωλόγος Deffeyes επισημαίνει ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν είναι ακόμ θέση να αντικαταστήσουν τη μαζική παραγωγή πετρελαίου. Ειδικότερα, το κόστος για απόδοση 60 Watts από ηλιακές κυψέλες αγγίζει τα 1000\$.



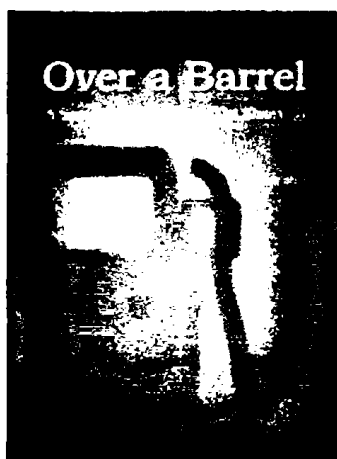
*Oil Addiction*  
*The World in Feril*



Pierre Choma  
A Journey into the Heart of the  
Energy Crisis in Africa



Την ίδια άποψη συμμερίζεται και ο οικονομολόγος – ενεργειολόγος Richard Heinberg γι φωτοβολταϊκό ηλεκτρισμό. Στο ίδιο μήκος κλίματος είναι και οι αναλύσεις των Pierre Choma Paul Roberts.

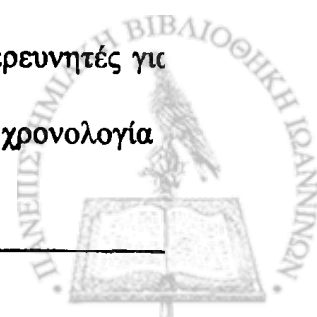


SURVIVING THE CONVERGING CATASTROPHES  
of the TWENTY-FIRST CENTURY

JAMES HOWARD KUNSTLER  
Author of THE DISSENTING OPINION

Προβάδισμα στην πυρηνική ενέργεια δίνει ο J. H. Kunstler θεωρώντας ότι μόνο ανι εναλλακτική μπορεί να αντεπεξέλθει στα τεράστια ποσά ενέργειας που καταναλώνει ο δυτ κόσμος. Ο Tom Mast με τη σειρά του αναφέρει ότι τα ηλιακά συστήματα δίνουν τελικά πενι, αποδόσεις με δυσθεώρητο κόστος παραγωγής.

Σε κάθε περίπτωση η αρχή όλων έγινε από τον M. King Hubbert το 1956 όταν παρουσίασ μέθοδο πρόβλεψης της πετρελαϊκής κορύφωσης (Παράρτημα 1). Από τότε διάφοροι ερευνι χρησιμοποιώντας τη μέθοδό του κατέληξαν σε διαφορετικές εκτιμήσεις σχετικά με την κορύφα. Στον Πίνακα 1 βρίσκουμε συγκεντρωτικά διάφορες εκτιμήσεις που έχουν κάνει ερευνητές γι χρονολογία κορύφωσης της πετρελαϊκής παραγωγής. Στην πρώτη στήλη είναι η χρονολογία



εκτιμούν ότι θα πραγματοποιηθεί η κορύφωση και στις άλλες δύο υπάρχουν στοιχεία για τους ερευνητές και τους φορείς που τους χρηματοδότησαν.

**Πίνακας 1: Προβλέψεις κορύφωσης πετρελαϊκής παραγωγής**

| <b>ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ<br/>ΚΟΡΥΦΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ<br/>ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ</b> | <b>ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ – ΦΟΡΕΑΣ<br/>ΕΡΕΥΝΑΣ</b> | <b>ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΦΟΡΕΑ</b>                       |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|
| 2006 – 2007                                              | Bakhitari, A.M.S.                     | Στέλεχος πετρελαϊκής εταιρίας,<br>Ιράν       |
| 2007 – 2009                                              | Simmons, M.R.                         | Τραπεζικό στέλεχος, Η.Π.Α.                   |
| Μετά το 2007                                             | Skrebowski, C.                        | Εκδότης του Petroleum<br>Review, Μ. Βρετανία |
| Πριν το 2009                                             | Deffeyes, K.S.                        | Γεωλόγος, Η.Π.Α.                             |
| Πριν το 2010                                             | Goodstein, D.                         | Στέλεχος πετρελαϊκής εταιρίας,<br>Η.Π.Α.     |
| 2010                                                     | Campbell, C.J.                        | Γεωλόγος, Ιρλανδία                           |
| Μετά το 2010                                             | World Energy Council                  | Παγκόσμια ΜΚΟ                                |
| 2012                                                     | Pang Xiongqi                          | Στέλεχος πετρελαϊκής εταιρίας,<br>Κίνα       |
| 2010 – 2020                                              | Laherrere, J.                         | Γεωλόγος, Γαλλία                             |
| 2016                                                     | EIA                                   | Αμερικανική κυβερνητική<br>υπηρεσία          |
| Μετά το 2020                                             | CERA                                  | Εταιρία συμβούλων ενέργειας,<br>Η.Π.Α.       |
| Μετά το 2025                                             | Shell                                 | Πετρελαϊκή εταιρία, Μ.<br>Βρετανία           |

Πηγή: Hirsch R. L. (2005, 9)



## **Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία**

Το ενεργειακό πρόβλημα αποτελεί ένα από τα πλέον σημαντικά ζητήματα που θα αντιμετωπίσει η παγκόσμια οικονομία στο άμεσο μέλλον. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει το πρόβλημα της κορύφωσης της πετρελαϊκής ζήτησης και να αναπτύξει διαφορετικά σενάρια εξέλιξης και αντιμετώπισης του προβλήματος.

Η εργασία μεθοδολογικά στηρίζεται στο υπόδειγμα του Hubbert, που αποτελεί το βασικότερο εργαλείο πρόβλεψης της κορύφωσης της πετρελαϊκής προσφοράς. Η συντριπτική πλειοψηφία των ερευνητών της πετρελαϊκής κορύφωσης χρησιμοποιούν στις προβλέψεις τους το υπόδειγμα του Hubbert ή κάποια παραλλαγή του.

Βασικό μεθοδολογικό πρόβλημα για τον ερευνητή της πετρελαϊκής παραγωγής αποτελούν σίγουρα τα αντικρουόμενα δεδομένα για τα αποθέματα πετρελαίου. Φυσικά στόχος της εργασίας δεν είναι να κάνει ακόμη μια καινούργια πρόβλεψη για την πετρελαϊκή κορύφωση.

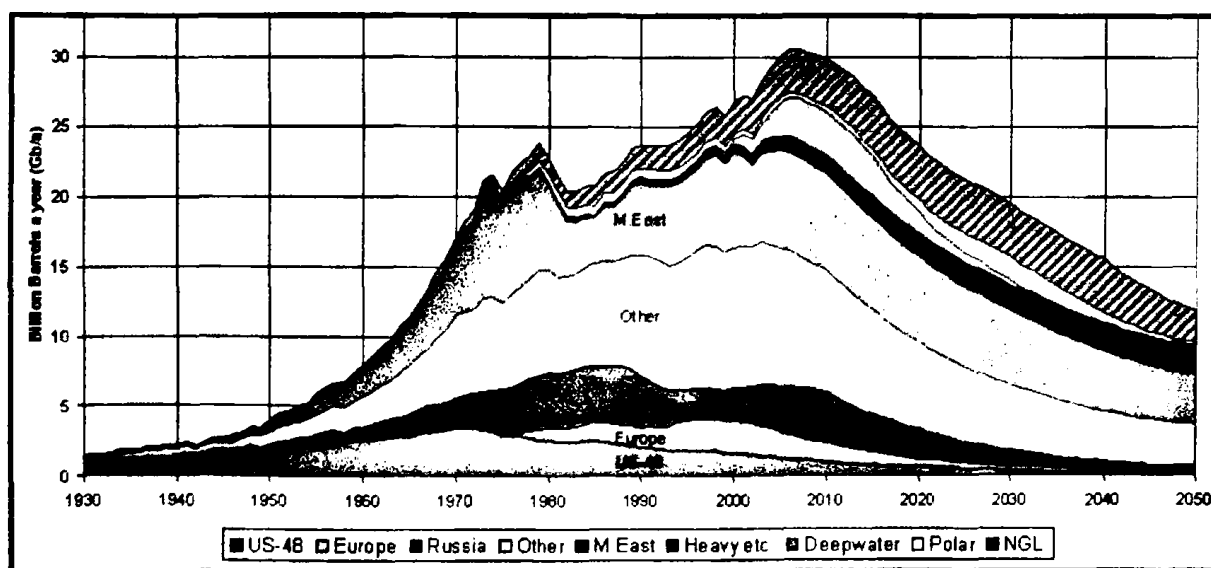
Αντιθέτως, μετά την οριοθέτηση του προβλήματος αναπτύσσονται διεξοδικά οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας (ανανεώσιμες και πυρηνική) και εξετάζονται οι στρατηγικές που θα ακολουθήσουν τόσο ο ιδιωτικός (πετρελαϊκές εταιρίες) όσο και ο δημόσιος τομέας (Ελλάδα, Ε.Ε.) στη μετά – πετρελαϊκή εποχή. Τα πέντε διαφορετικά σενάρια που αναπτύσσονται στο τέλος της έρευνας, σκιαγραφούν τον ενεργειακό χώρο μέσα στον οποίο θα κινηθεί μελλοντικά η διεθνής κοινότητα.



## Κεφάλαιο 4: Ανάλυση των Στοιχείων

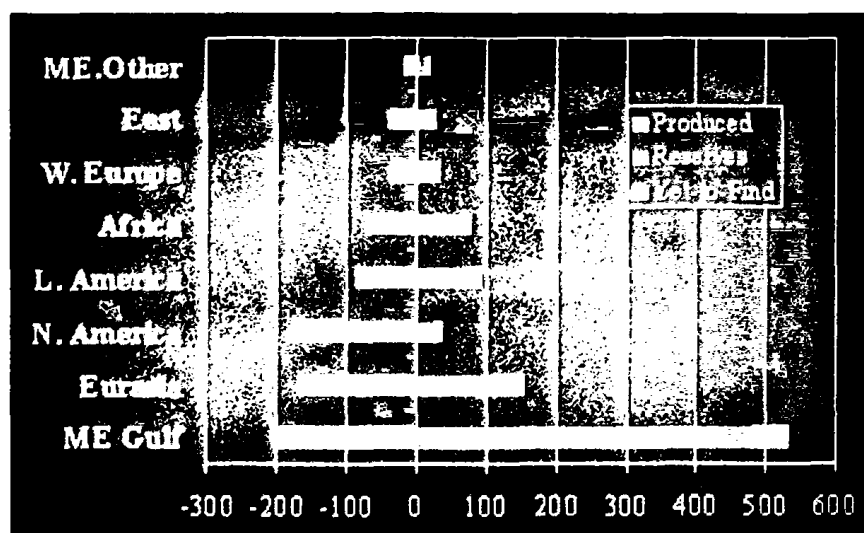
### 4.1 Οριοθέτηση του προβλήματος

Τα πετρελαϊκά αποθέματα δεν θα διαρκέσουν για πάντα και εκτιμάται ότι, μέσα σε 30 έως 100 χρόνια από σήμερα θα έχουν όλα εξαντληθεί (Οικολογική Επιθεώρηση 2004). Εκτιμήσεις όμως που για άλλους είναι υπερβολικά αισιόδοξες μιας και η πετρελαϊκή κρίση έχει ήδη αρχίσει (Campbell C.J. & Lahetere J.H. 1998). Η εξήγηση είναι απλή, μιας και το πιο σημαντικό δεν είναι το πότε τελειώνουν τα αποθέματα, πότε δηλαδή θα αντληθεί από τη γη και η τελευταία σταγόνα πετρελαίου. Μικρά κοιτάσματα μπορεί άλλωστε να ανακαλύπτονται για εκατοντάδες χρόνια από σήμερα. Το πιο σημαντικό ζήτημα είναι, πότε η αύξηση της παραγωγής δεν θα μπορεί πλέον να καλύψει την αύξηση της ζήτησης. Την ημέρα εκείνη θα γίνει κραχ στην αγορά (Hirsch R.L. 2005, 2), ακόμη και εάν υπάρχουν ακόμη τεράστια διαθέσιμα αποθέματα προς εκμετάλλευση.



Διάγραμμα 2: Εκτιμήσεις παραγωγής πετρελαίου ανά περιοχή (Πηγή: Beyond Peak 2006)

Οι βιομηχανικές χώρες πιέζουν τον ΟΠΕΚ να αυξήσει την παραγωγή, δηλαδή να συνεχώς μεγαλύτερους ρυθμούς από τα διαπιστωμένα κοιτάσματα που διαθέτει. Ποι πιέζουν για την ανακάλυψη καινούργιων κοιτασμάτων. Ο λόγος είναι απλός, αφ σημαντικά κοιτάσματα έχουν ανακαλυφθεί ήδη (Bauquis P.R. 2003, 340). Όταν τη δε '70 ξέσπασε η πρώτη πετρελαϊκή κρίση, τεράστια κονδύλια και νέες τεχνικές (ιδίως η ι τους τεχνητούς σεισμούς) διοχετεύτηκαν στην ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων. Βρέθηκαν εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα, πολλά από αυτά σε βιομηχανικές χώρες (ΗΠΑ, Μεγάλη Βόρεια Θάλασσα, Νορβηγία κλπ) τα οποία πρόσφεραν μια προσωρινή αποδέσμευσ εισαγωγές πετρελαίου. Όμως οι ανακαλύψεις αυτές ήταν συγκριτικά μικρές και δε αισθητά το συνολικό μέγεθος των αποθεμάτων που υπάρχουν (Hirsch R.L. 2000 περισσότερα από αυτά τα κοιτάσματα ήδη πέρασαν το μέγιστο σημείο παραγωγής τους συνεχώς φθίνουν.



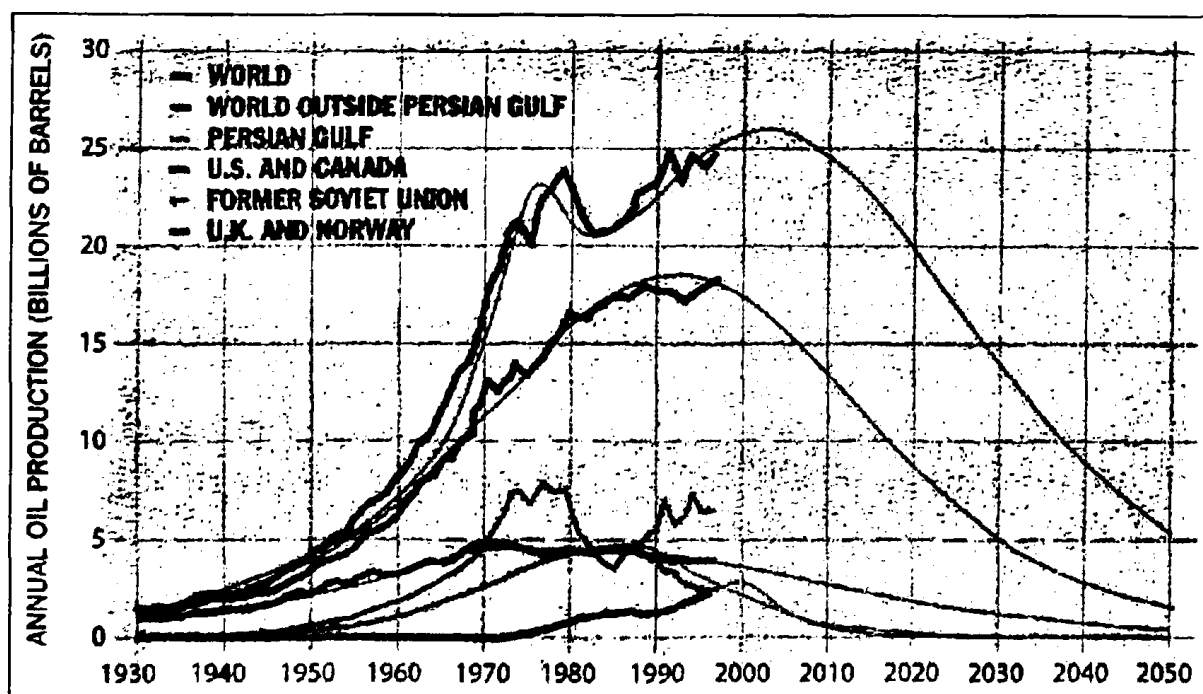
Διάγραμμα 3: Η πετρελαϊκή πραγματικότητα ανά περιοχή: ποσότητα πετρελαίου που έχει παραχθεί, αποθέματα και κοιτάσματα που θα βρεθούν (Πηγή: Peak Oil Action 2006)

Το συμπέρασμα από αυτές τις έρευνες ήταν ότι οι υπόγειες «θάλασσες» πετρελα ήδη ανακαλυφθεί ως επί το πλείστον, και βρίσκονται στην πλειοψηφία τους στις χώρες τ Αν και οι ανακαλύψεις συνεχίζονται, δεν δίνονται πλέον τα ίδια τεράστια κονδύλια στη



Σήμερα, ανακαλύπτουμε μόλις ένα βαρέλι για κάθε πέντε που καταναλώνουμε (Οικολογική Επιθεώρηση 2004). Ενδεικτικά, το πετρέλαιο της Αλάσκας, για την εκμετάλλευσή ή μη του οποίου τόσο μεγάλος αγώνας γίνεται μεταξύ εταιρειών και οικολογικών οργανώσεων, μπορεί να καλύψει την παγκόσμια κατανάλωση για μερικές μόνο ημέρες (Roberts P. 2005, 112).

Έτσι η έμφαση δεν δίνεται στην ανακάλυψη κοιτασμάτων, αλλά στην όλο και μεγαλύτερη παραγωγή από τα υφιστάμενα. Η αγορά έχει εξοικειωθεί με αυτό το μηχανισμό, ώστε κάθε φορά που αυξάνει η παραγωγή μειώνονται οι τιμές, χωρίς κανείς να σκέφτεται ότι αυτό οδηγεί στην ταχύτερη εξάντληση των αποθεμάτων. Γεγονός που αποτελεί τυπικό παράδειγμα της αδυναμίας των μηχανισμών της αγοράς να αντιμετωπίσουν προβλήματα μη ανανεώσιμων αγαθών.

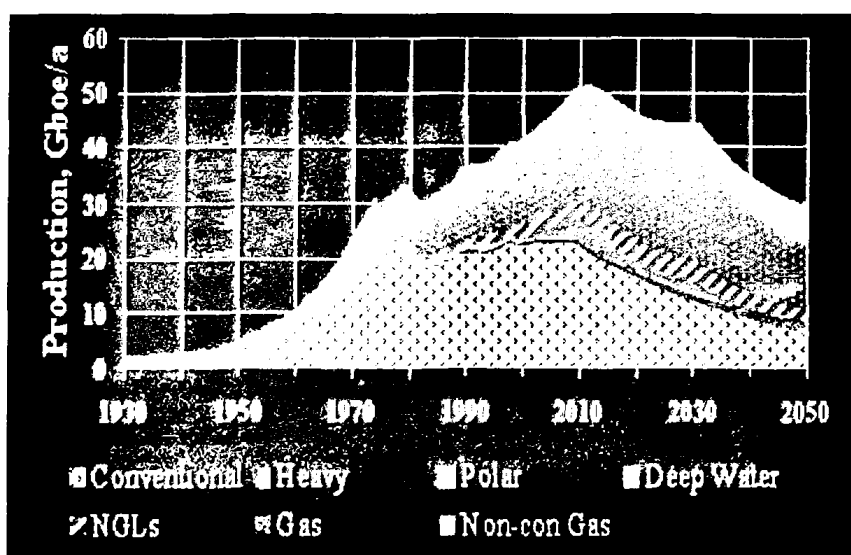


Διάγραμμα 4: Εκτιμήσεις παραγωγής πετρελαίου ανά περιοχή (Πηγή: Peak Oil Organization 2006)

Οι εκτιμήσεις ποικίλλουν, για πολλούς και διάφορους λόγους, όχι πάντα τεχνικούς. Αρχικά είναι δύσκολο να εκτιμηθούν τα διαθέσιμα αποθέματα (Heinberg R. 2005, 54). Όχι μόνο λόγω δυσκολιών στις μετρήσεις, αλλά και για άλλους λόγους. Για παράδειγμα, πολλές φτωχές χώρες δεν είναι σε θέση να κάνουν αξιόπιστες μετρήσεις, και δίνουν εδώ και χρόνια τους ίδιους σταθερούς αριθμούς. Χώρες που θέλουν να αυξήσουν τη στρατηγική τους σημασία παρουσιάζουν

μεγαλύτερους αριθμούς, ενώ χώρες που θέλουν να αντισταθούν σε πιέσεις γ παραγωγής παρουσιάζουν μικρότερους, κλπ

Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί ο ρυθμός αύξησης της ζήτησης (Kleinpeter 199 δυτικές χώρες υιοθετήσουν πολιτική εξοικονόμησης και επενδύσουν σε ήπιες μο ενώ παράλληλα ο ρυθμός εκβιομηχάνισης στις "αναπτυσσόμενες" χώρες κρατηθεί ; ζήτηση πετρελαίου θα αυξάνεται με αργούς ρυθμούς. Εάν συμβεί το αντίθετο, τό αυξηθεί κατακόρυφα.



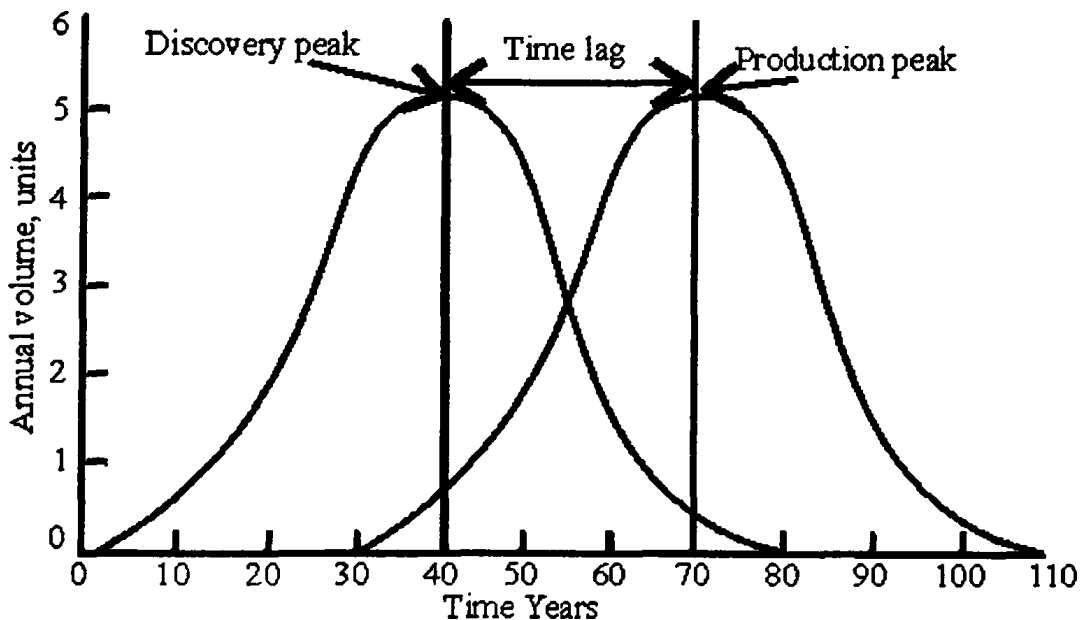
Διάγραμμα 5: Εκτιμήσεις της παραγωγής ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο – γκάζι) ανά είδος (Πηγή: Peak

## 4.2 Προβλέψεις παραγωγής: Οι καμπύλες του Hubbert

Από τις εκατοντάδες σχετικές προβλέψεις που έχουν κατά καιρούς γί αποδείχθηκε έως τώρα σωστή. Ο M. King Hubbert, γεωλόγος της Shell, προέβλεψε η παραγωγή πετρελαίου των ΗΠΑ θα φθάσει στο μέγιστο σημείο της την επόι πέφτοντας έξω μόνο κατά λίγα χρόνια (Deffeyes 2005, 35 – 51). Την εποχή του λοιδ πρόβλεψή του ξεχάστηκε. Σήμερα όμως μελετούν με προσοχή τη μέθοδό του, που της απλή: Η καμπύλη των ανακαλύψεων, που έχει μορφή καμπάνας, καλύπτει το ιξ

την καμπύλη της παραγωγής, αφού δεν μπορούμε να παράγουμε παρά μόνο ότι έχουμε ανακαλύψει.

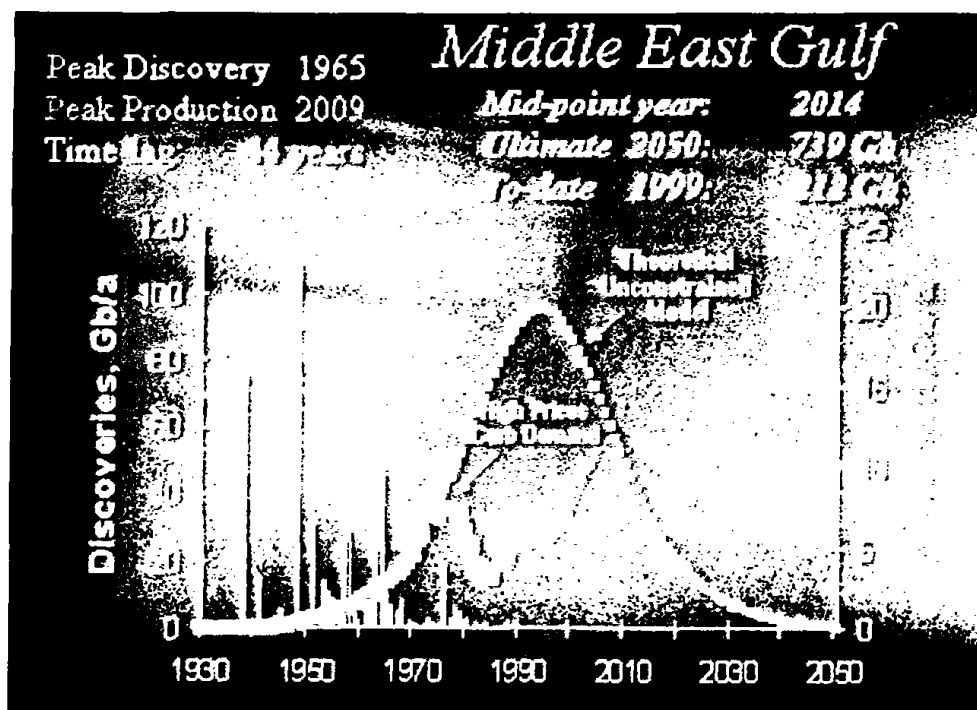
Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε απλοποιημένες τις δύο αυτές καμπύλες, στην τυπική τους μορφή.



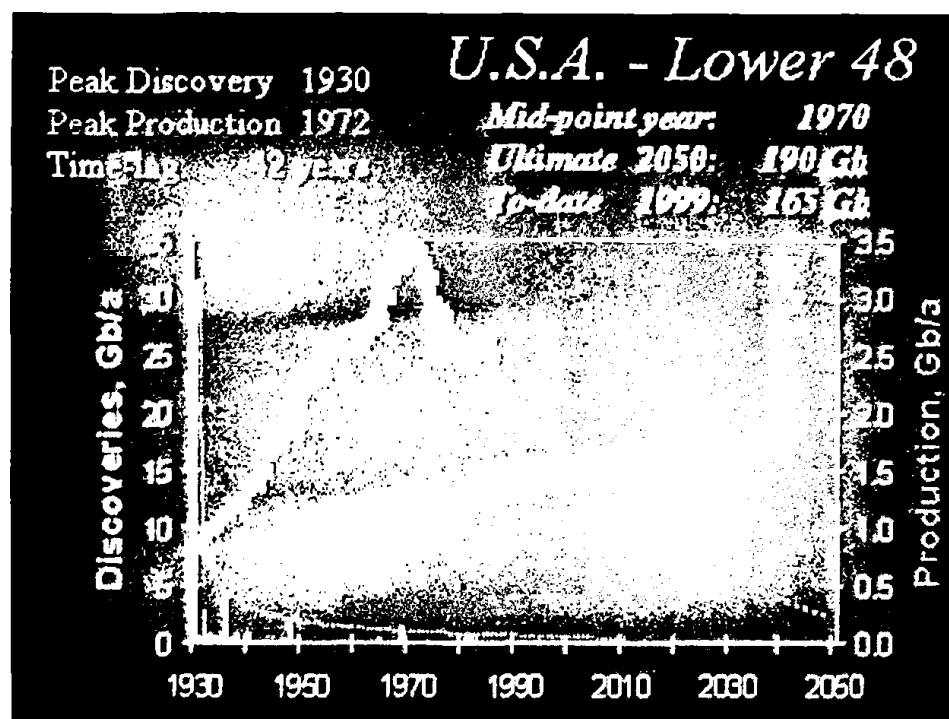
Διάγραμμα 6: Οι καμπύλες του Hubbert (Πηγή: The Coming Global Oil Crisis 2006)

Αριστερά, η πρώτη καμπύλη, παριστάνει τις ανακαλύψεις κοιτασμάτων πετρελαίου. Θεωρητικά ο ρυθμός ανακαλύψεων θα αυξάνει όλο και πιο γρήγορα, ώσπου φτάνουμε σε μια κορύφωση. Ύστερα ακολουθεί ταχύτατη πτώση. Για τις ΗΠΑ, η χρονιά που οι ανακαλύψεις κοιτασμάτων έφθασαν στο μέγιστο σημείο τους, ήταν το 1940 (Schipper L. & Meyers S. 1995, 252). Δεξιά, μια παρόμοια καμπύλη παριστάνει την παραγωγή πετρελαίου. Λογικά, χρειάζονται κάποια χρόνια μέχρι να αρχίσει η αξιοποίηση των κοιτασμάτων που έχουν ανακαλυφθεί. Έτσι, το μέγιστο της καμπύλης της παραγωγής θα έρθει μερικά χρόνια αργότερα από το μέγιστο της καμπύλης των ανακαλύψεων. Από εκεί και πέρα, η παραγωγή θα αρχίσει να φθίνει. Οι ΗΠΑ έφθασαν στο μέγιστο της παραγωγής τους το 1970.





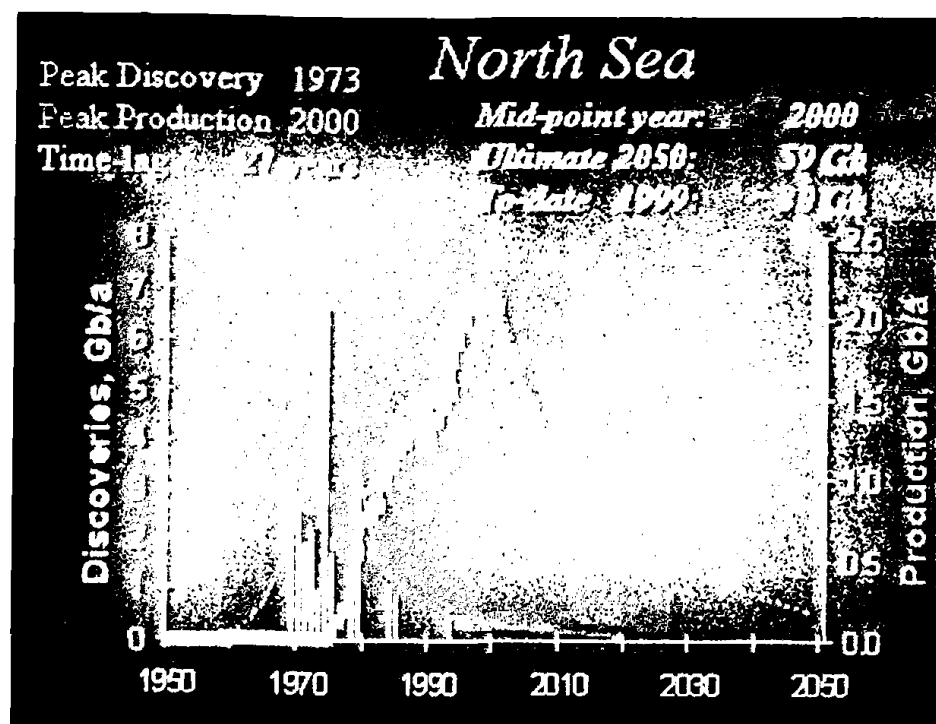
Διάγραμμα 7: Η καμπύλη του Hubbert για τον Περσικό Κόλπο (Πηγή: Peak Oil Action 20)



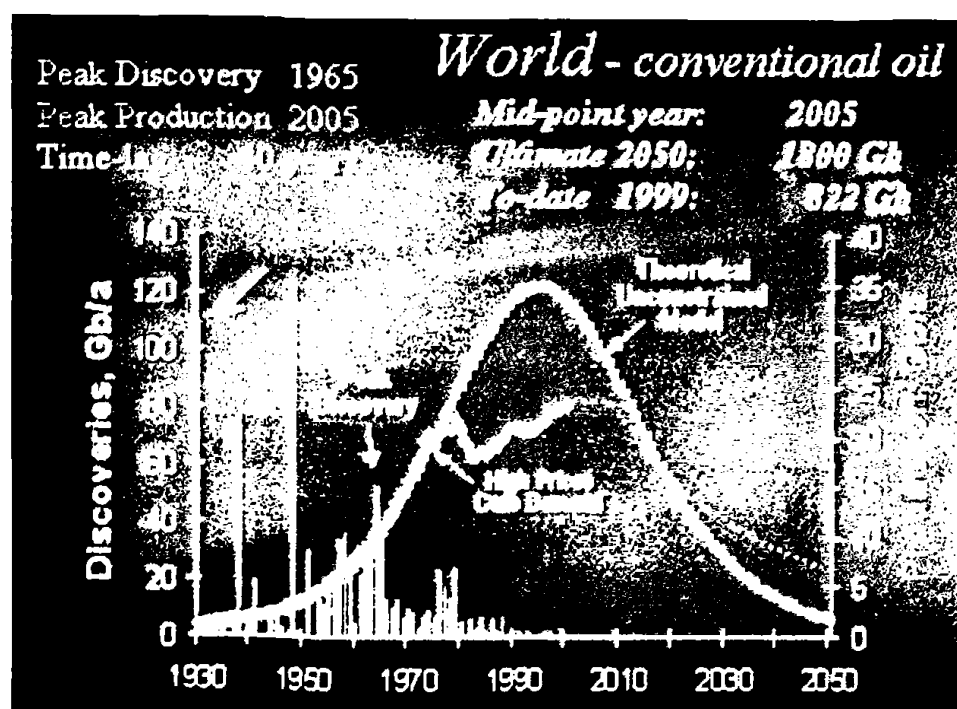
Διάγραμμα 8: Η καμπύλη του Hubbert για τις ΗΠΑ (Πηγή: Peak Oil Action 2006)

Σύμφωνα με τους θεωρητικούς υπολογισμούς του Hubbert, τα δύο μέγιστα α τους περίπου 30 χρόνια. Επειδή η τεχνολογία από την εποχή του έχει βελτιω μεταθέτουν την απόσταση στα 40-45 χρόνια (Bauquis P.R. 2003, 46). Αν λοιπόν ξέρι η χρονική περίοδος με τις περισσότερες ανακαλύψεις κοιτασμάτων πετρελαίου,

προβλέψουμε πότε θα έχουμε και το μέγιστο της παραγωγής πετρελαίου. Στα δι-  
 βλέπουμε τις καμπύλες Hubbert για διάφορες περιοχές καθώς και παγκοσμίως.

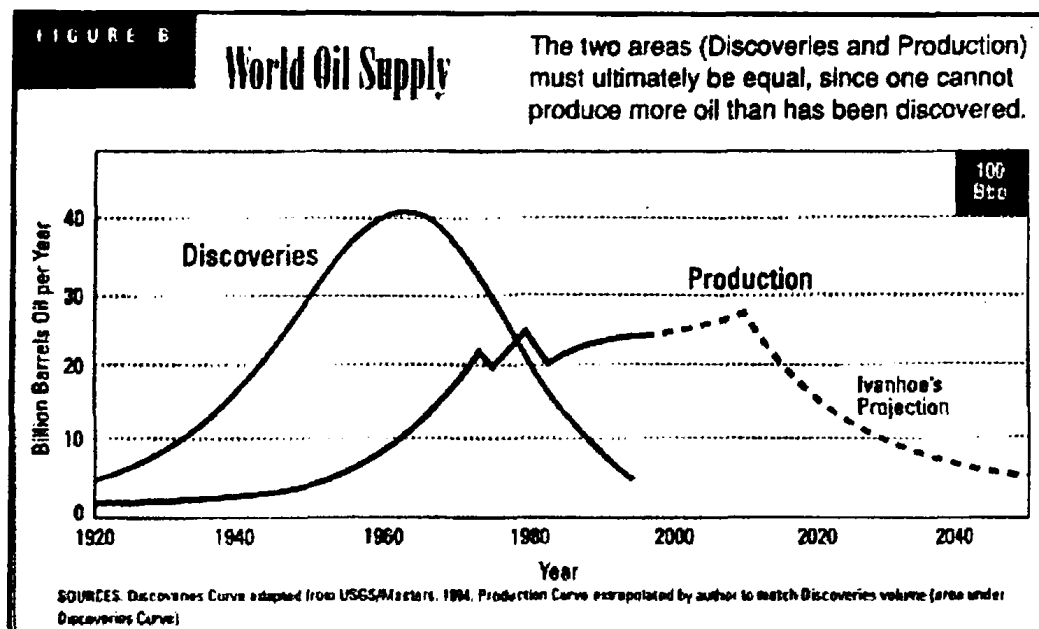


Διάγραμμα 9: Η καμπύλη του Hubbert για τη Βόρεια Θάλασσα (Πηγή: Peak Oil Action)



Διάγραμμα 10: Η καμπύλη του Hubbert για την παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου (Πηγή: Peak Oil)

Το μέγιστο σημείο των ανακαλύψεων κοιτασμάτων, σε παγκόσμιο επίπεδο, το έχουμε περάσει ήδη από τη δεκαετία του '60 (Campbell C.J. & Laherrere J.H. 1998). Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε τις καμπύλες του Hubbert, όπως εξελίσσονται στην πραγματικότητα. Αριστερά οι ανακαλύψεις, που πράγματι ακολούθησαν μορφή καμπάνας, δεξιά η παραγωγή.



Διάγραμμα 11: Ισότητα ανακαλύψεων και παραγωγής στις καμπύλες του Hubbert (Πηγή: Peak Oil Organization 2006)

Εάν η παραγωγή ακολουθούσε και αυτή μορφή καμπάνας, θα είχε ήδη φθάσει το μέγιστο σημείο της, ή θα το έφθανε τα επόμενα 2-3 χρόνια. Η παραγωγή είχε όμως δύο απότομες πτώσεις, που αντιστοιχούν στις πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του '70 και στον πρώτο πόλεμο του Κόλπου. Η διορθωμένη λοιπόν εκτίμηση, που βλέπουμε στο διάγραμμα, μεταθέτει το μέγιστο λίγο μετά το 2010. Όπως αναφέραμε, μικρή σημασία τελικά έχει πότε θα εξαντληθεί όλο το πετρέλαιο. Η κρίσιμη στιγμή θα έρθει, όταν η παραγωγή θα πάψει να αυξάνεται όσο γρήγορα απαιτεί η αγορά. Την ημέρα που η προσφορά δεν θα μπορεί πλέον να ανταποκριθεί στη ζήτηση, θα ξεσπάσει οικονομική κρίση (Οικολογική Επιθεώρηση 2004).

Αυτό αφορά κατά πρώτον τις ΗΠΑ, όπου η φορολογία στα καύσιμα θεωρείται αδιανόητη και όλη η οικονομία στηρίζεται στη φτηνή τιμή τους. Τελικά όμως, η κρίση δεν θα αφήσει κανέναν ανεπηρέαστο. Οι μεγάλες πετρελαϊκές εταιρείες, δεν συμφωνούν με την εκτίμηση ότι η κρίσιμη

στιγμή έρχεται στην επόμενη δεκαετία. Προτείνουν ένα πιο «αισιόδοξο» σημείο για τη παραγωγή, στη δεκαετία του 2030 (Shell).

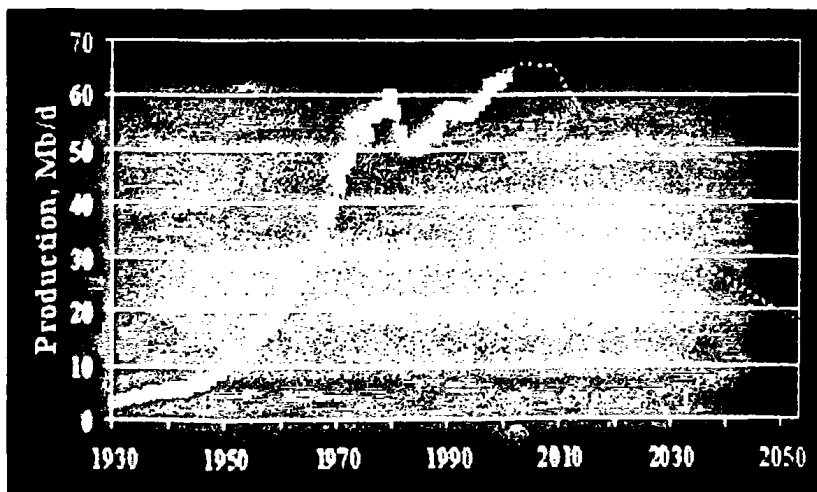
### **4.3 Γεωπολιτική προσέγγιση του προβλήματος**

Ακόμη όμως και οι πλέον αισιόδοξοι, συμφωνούν ότι μέσα στα αμέσως επόμενα φτάσουν σταδιακά στο μέγιστο της παραγωγής τους όλες οι χώρες, εκτός ορισμένων ΟΠΕΚ κυρίως (όπως το Ιράκ, το Κουβέιτ και η Σαουδική Αραβία), των οποίων η παραγωγή συνεχίσει να αυξάνεται για πολλές δεκαετίες ακόμη (Geller 2003, 78).

Ήδη, το σημείο αυτό το έχουν περάσει οι ΗΠΑ (1970), η Ρωσία (1987), η Βρετανία (1973), η Λιβύη (1969), η Ρουμανία (1976), η Αίγυπτος (1993) κλπ. Οι ΗΠΑ και η Λιβύη εξαγωγέας πετρελαίου μετατράπηκαν σε σημαντικό εισαγωγέα, με εξάρτηση από χώρες όπως το Μεξικό, η Βενεζουέλα, η Νιγηρία, και οι χώρες του Περσικού Κόλπου.

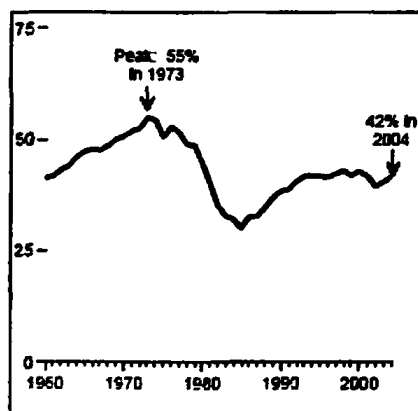
#### **4.3.1 Ο στρατηγικός ρόλος των χωρών του ΟΠΕΚ**

Αξίζει να επιμείνουμε σε αυτό, καθώς οι χώρες του ΟΠΕΚ διαθέτουν τα κοιτάσματα, σύντομα, κατά μερικούς μέσα στην επόμενη πενταετία, το ποσοστό συμμετοχής στην παγκόσμια παραγωγή θα ανέβει, ώστε πάνω από το μισό της παγκόσμιας παραγωγής να προέρχεται από αυτές.



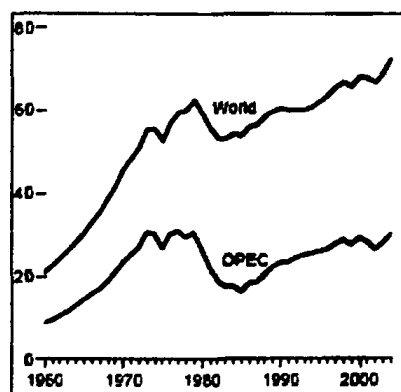
Διάγραμμα 12: Εκτιμήσεις της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου (Πηγή: Peak Oil Action 2006)

Επομένως, όχι μόνο τα αποθέματα λιγοστεύουν, αλλά συγκεντρώνονται όλο και περισσότερο σε τεχνολογικά καθυστερημένες και πολιτικά ασταθείς χώρες. Η λογική αυτή κρυβόταν πίσω από τους πολέμους του Περσικού Κόλπου. Σκοπός ήταν η εγκατάσταση φιλικών κυβερνήσεων και η μαζική επένδυση, όχι στην εξεύρεση νέων κοιτασμάτων, αλλά στην ταχύτερη εκμετάλλευση των υφιστάμενων. Έτσι, όσο προχωρά σταδιακά η μείωση της παραγωγής στις άλλες χώρες, ο Περσικός Κόλπος να μπορεί τεχνικά να καλύπτει την όλο και αυξανόμενη ζήτηση, χωρίς όμως να έχει άποψη για τους ρυθμούς άντλησης ή τις τιμές (Roberts P. 2005, 180).



Διάγραμμα 13: Η παραγωγή πετρελαίου στον ΟΠΕΚ ως ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής

(Πηγή: ASPO 2006)

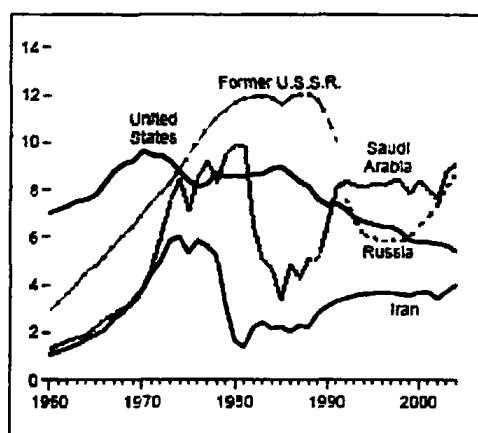


Διάγραμμα 14: Η παραγωγή πετρελαίου στον ΟΠΕΚ και παγκοσμίως σε εκατ. βαρέλια την ημέρα

(Πηγή: ASPO 2006)



Ακόμη και αν το σχέδιο πετύχαινε, η παράταση ζωής που θα έδινε στο σημερινό κατεστημένο οικονομικό σύστημα θα ήταν σύντομη (ίσως μια - δυο δεκαετίες), αλλά θα απέφερε εντωμεταξύ τεράστια στρατηγικά και οικονομικά οφέλη στις εμπλεκόμενες χώρες και εταιρείες (Abernathy V.D. 2001). Από την άλλη, η μέχρι στιγμής αποτυχία των πρόσφατων παρεμβάσεων σε Μέση Ανατολή, Αφρική, Βενεζουέλα και αλλού, σε συνδυασμό με τα προβλήματα της Ρωσίας, μπορούν να πυροδοτήσουν την κρίση νωρίτερα από το αναμενόμενο, αν δεν την έχουν ξεκινήσει ήδη.



Διάγραμμα 15: Η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου ανά περιοχή σε εκατ. βαρέλια την ημέρα

(Πηγή: ASPO 2006)

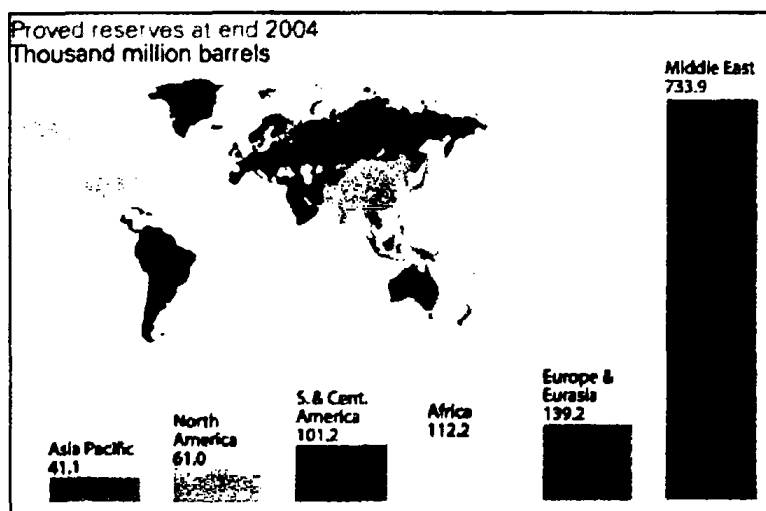
Είναι πιθανό, και αυτό φοβάται σήμερα η αγορά, να καταλήξουμε στο σημείο, ενώ ακόμη υπάρχουν αποθέματα που θα μπορούσαν να καλύψουν την αυξανόμενη ζήτηση, να μην μπορούν να αντληθούν με αρκετά γρήγορους ρυθμούς, όσο ζητά η οικονομία, λόγω τεχνικών αδυναμιών και πολιτικών προβλημάτων (Yergin 1991, 206).

### 4.3.2 Το ενεργειακό στοίχημα της Κίνας και της Ινδίας

Σημαντική πτυχή της γεωπολιτικής προσέγγισης του προβλήματος αποτελεί το ενεργειακό στοίχημα της Κίνας και της Ινδίας. Η ενέργεια αποτελεί το «κλειδί» για περαιτέρω ανάπτυξη της οικονομίας και βελτίωση του επιπέδου ζωής των δύο πολυπληθέστερων χωρών. Θα ασχοληθούμε αντιπροσωπευτικά με την περίπτωση της Κίνας. Παρά την οικονομία ελεύθερης αγοράς που έχει

εισαγάγει η κινεζική κυβέρνηση σε πολλές περιοχές της χώρας και το πνεύμα ανταγωνισμού που προωθεί γενικότερα και το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την τεράστια οικονομική ανάπτυξη των τελευταίων 15 - 20 ετών (Goodstein 2004, 176), οι βασικές παράμετροι και οι στόχοι της οικονομικής πολιτικής καθορίζονται ακόμη βάσει πενταετών κυλιόμενων προγραμμάτων οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης (Oil Crash 2006).

Αν και η πρακτική αυτή παραπέμπει σε μιαν άλλη εποχή (περίοδος Gospla Σοβιετικής Ενωσης), εν τούτοις το Πεκίνο, για λόγους τακτικής και παράδοσης, εξακολουθεί με θρησκευτική ευλάβεια να ετοιμάζει τα πλάνα ανάπτυξης, όπως τα αποκαλεί<sup>1</sup>. Το τρέχον πενταετές πλάνο οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης της Κίνας, το οποίο επίσημα θα παρουσιασθεί στο National People Congress, δηλαδή στην ολομέλεια του ΚΚΚ στα μέσα Μαρτίου, περιέχει μόνο δύο νούμερα. Το πρώτο αφορά τον ρυθμό αύξησης του κατά κεφαλήν εισοδήματος, το οποίο προτείνει να τετραπλασιασθεί μέχρι το 2010 (δηλ. από το σημερινό επίπεδο των 1.470 δολαρίων να φθάσει τα 5.880 δολάρια κατά κεφαλή), και το δεύτερο έχει σχέση με την ενέργεια.



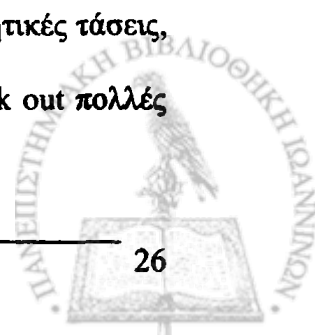
**Διάγραμμα 16: Τα αποθέματα πετρελαίου ανά περιοχή (Πηγή: Shell)**

<sup>1</sup> Πλέον έχουν χάσει την παλαιά τους αίγλη, το ογκωδέστατο μέγεθός τους και το πολυπληθές επιστημονικό προσωπικό που εργαζόταν σε μόνιμη βάση για την παραγωγή, παρακολούθηση και αναθεώρησή τους. Τα πενταετή σχέδια οικονομικής ανάπτυξης θεωρούνται μεν σημαντικά, από άποψη διατύπωσης και αποσαφήνισης της ακολουθούμενης οικονομικής και κοινωνικής πολιτικής, έχουν όμως μετεξελιχθεί σε ολιγοσέλιδες σχετικά εκθέσεις, οι οποίες περιέχουν τοποθετήσεις επί ουσιαστικών θεμάτων και αφορούν κυρίως την προτεινόμενη στρατηγική για την ανάπτυξη.

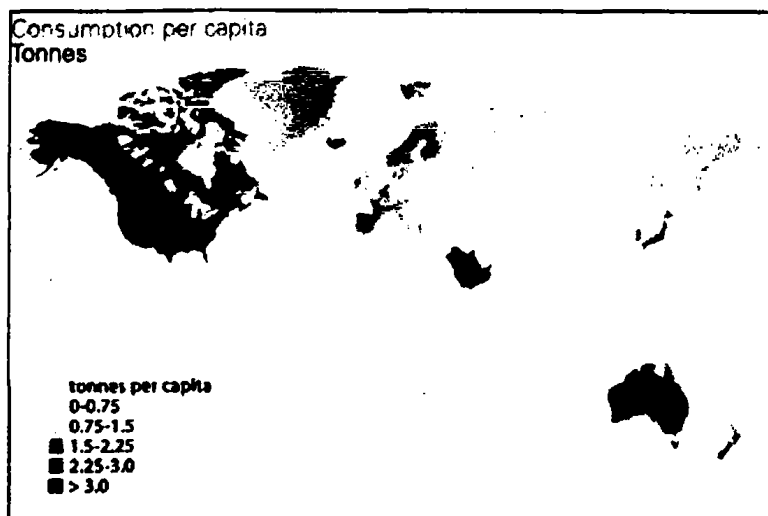
Στον ενεργειακό τομέα η κινεζική ηγεσία επιθυμεί να βελτιώσει την απόδοση στην εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων κατά 20%. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερη απόδοση των ήδη λειτουργούντων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (οι οποίοι κατά 2/3 καίνε κάρβουνο), τη βελτίωση των συστημάτων θέρμανσης, την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και ιδιαίτερα τη βελτίωση της απόδοσης του μεταφορικού έργου.

Για την πολυπληθέστερη χώρα του κόσμου, η οικονομία της οποίας αναπτύσσεται με αλματώδεις ρυθμούς (υπολογίζεται στο 9,8% η αύξηση του ΑΕΠ), το ενεργειακό αποτελεί τομέα-κλειδί για την περαιτέρω ανάπτυξη της οικονομίας και βελτίωση του επιπέδου της ζωής ιδιαίτερα στις υπανάπτυκτες ακόμη αγροτικές περιοχές πολλών επαρχιών. Με δεδομένο ότι η κινεζική ηγεσία επιθυμεί μια γρήγορη και ισομερή περιφερειακή ανάπτυξη στα αμέσως επόμενα χρόνια, ο παράγων ενέργεια παίζει καθοριστικό ρόλο. Η προσπάθεια της κινεζικής κυβέρνησης εστιάζεται αφ' ενός μεν στην εξασφάλιση ομαλής ροής πρώτων υλών (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ηλεκτρισμός) από έξω προς τα μέσα, αλλά και εντός της αχανούς αυτής χώρας, όσο και στον έλεγχο των τιμών, ώστε παρά τις πιέσεις από τις αυξήσεις των διεθνών τιμών να μην επηρεασθεί υπέρμετρα ο τιμάρημος και οδηγήσει στη μείωση του ρυθμού ανάπτυξης και τον περιορισμό των επενδύσεων (Campbell 2005, 252).

Για να κατανοήσουμε το πόσο σημαντικό ρόλο παίζει το ενεργειακό στην Κίνα θα πρέπει να αναφερθούμε σε μερικά βασικά μεγέθη όπως η πρωτογενής ενεργειακή ζήτηση, η οποία αντιστοιχεί στο 12% της παγκόσμιας (Beyond Peak 2006). Η κατανάλωση πετρελαίου στην Κίνα από 5,2 εκατ. βαρ./ημέρα το 2002 ξεπέρασε τα 7,0 εκατ. βαρέλια ημερησίως το 2009, η οποία αντιστοιχεί περίπου στο 20% της παγκόσμιας ετήσιας αύξησης στην κατανάλωση πετρελαίου, και εξηγεί γιατί η συνεχιζόμενη υψηλή ζήτηση από την Κίνα έχει τόσο σοβαρές επιπτώσεις στη διαμόρφωση των διεθνών τιμών. Στον τομέα του ηλεκτρισμού η ετήσια αύξηση στη ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος από 11% το 2009, ξεπέρασε το 15% το 2010 με περαιτέρω αυξητικές τάσεις, δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα στη διανομή και οδηγώντας σε εκτεταμένα black out πολλές νότιες επαρχίες το 2009 και το 2010.



Η Κίνα σήμερα είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός άνθρακα στον κόσμο, ελέγχοντας το 12% των παγκόσμιων αποθεμάτων. Η παραγωγή κάρβουνου, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως στην ηλεκτροπαραγωγή και στη βιομηχανία (χαλυβουργεία, τσιμεντοβιομηχανία) αντιμετωπίζει προβλήματα καθώς η παραγωγή δεν μπορεί να ανταποκριθεί εύκολα στη ζήτηση, αφού η ετήσια αύξηση μόλις που φθάνει το 11%, ενώ η χώρα αντιμετωπίζει παράλληλα σοβαρά προβλήματα μεταφοράς της πρώτης αυτής ύλης μέσω του ευπαθούς σιδηροδρομικού δικτύου (Campbell C.J. 2005, 306). Έτσι από πέρυσι η Κίνα υποχρεώθηκε σε δραστική μείωση των εξαγωγών κάρβουνου ώστε να εξυπηρετήσει την αυξανόμενη εγχώρια ενεργειακή ζήτηση.



Διάγραμμα 17: Η παγκόσμια κατά κεφαλή κατανάλωση πετρελαίου (Πηγή: Shell 2006)

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA) μέσα στα επόμενα 25 χρόνια, ή και νωρίτερα, η Κίνα θα αναδειχθεί ως παράγων-κλειδί στη διαμόρφωση του παγκόσμιου ενεργειακού ισοζυγίου, αφού τα μεγέθη της αλλάζουν τάχιστα αυξανόμενα πέρα από κάθε προσδοκία<sup>2</sup>. Τα οικονομικά υπουργεία της Κίνας αποβλέπουν στην ενέργεια για σημαντικές νέες επενδύσεις στους κλάδους του πετρελαίου, του φυσικού αερίου, των στερεών καυσίμων, της ηλεκτροπαραγωγής, όπου συμπεριλαμβάνεται η αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας, των

<sup>2</sup> Με εκτιμώμενη μέση ετήσια αύξηση της πρωτογενούς ενεργειακής ζήτησης κατά 2,3% για τα επόμενα 25 χρόνια, ο κινεζικός ενεργειακός τομέας θα ευθύνεται για το 21% της αύξησης στην παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση, ενώ το 2030 η συνολική ενεργειακή ζήτηση της Κίνας προβλέπεται να φθάσει στο 16% της παγκόσμιας ζήτησης από το 12% που είναι σήμερα.

υδροηλεκτρικών και άλλων ΑΠΕ (Geller H. 2003, 252). Ήδη, βρίσκονται σε εξέλιξη μεγάλες ενεργειακές επενδύσεις, κυρίως σε νέα διυλιστήρια και αγωγούς μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου, στην έρευνα και ανάπτυξη υδρογονανθράκων και στην ηλεκτροπαραγωγή. Εκτιμήσεις φέρουν τις τρέχουσες επενδύσεις στον ενεργειακό τομέα να ξεπερνούν τα 600 δισ. δολάρια μέχρι το 2010<sup>3</sup>. Σημαντικό τμήμα της νέας σχεδιαζόμενης ηλεκτροπαραγωγής θα προέλθει από πυρηνικούς σταθμούς, με 32 νέες μονάδες, οι οποίες θα προστεθούν στις ήδη 9 υπάρχουσες. Οι περισσότεροι από τους νέους αντιδραστήρες θα εφαρμόσουν μια εντελώς νέα και απόλυτα ασφαλή τεχνολογία, στη διεργασία πυρηνικής σχάσης, που έχουν αναπτύξει τελευταία Κινέζοι επιστήμονες (Turkenburg W.C. 2000, 83).

Ένα μεγάλο μέρος της προβλεπόμενης νέας εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος θα κατευθυνθεί για την αντιμετώπιση των αναγκών των αγροτικών περιοχών στις φτωχές επαρχίες της Δυτικής και ΒΑ. Κίνας, την ανάπτυξη των οποίων η κυβέρνηση επιθυμεί να στηρίξει μεταφέροντας οικονομικούς πόρους και τεχνολογία<sup>4</sup>. Ακόμα και εάν συνεχισθεί η μαζική μεταφορά προς τις πόλεις, το 2030, οι επαρχίες της Κίνας θα πρέπει να συντηρήσουν έναν πληθυσμό 600 εκατ. κατοίκων.

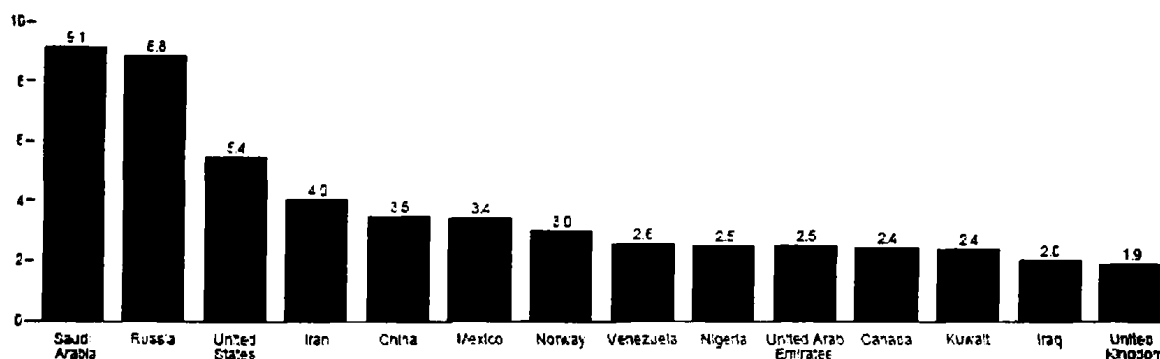
Σημαντικό επίσης μέρος των ενεργειακών επενδύσεων θα κατευθυνθεί στην ανάπτυξη της εγχώριας παραγωγής υδρογονανθράκων, στη δημιουργία νέων διυλιστικών μονάδων και αποθηκευτικών χώρων, στην κατασκευή αγωγών φυσικού αερίου και πετρελαίου και στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) με έμφαση στην ηλεκτροπαραγωγή από αιολικά πάρκα και φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου έχει τεθεί ο στόχος για κάλυψη του 10% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της Κίνας από ΑΠΕ μέχρι το 2020 (Goodstein 2004, 212). Επιπλέον ένα μικρό αλλά κρίσιμο ποσοστό των ενεργειακών επενδύσεων θα κατευθυνθεί στη δημιουργία

---

<sup>3</sup> Οι επενδύσεις αυτές θα κατευθυνθούν κυρίως στην ηλεκτροπαραγωγή, όπου από 420 GW εγκατεστημένης ισχύος το 2005 αυτή έχει φθάσει στα 600 GW σε πέντε χρόνια και πρέπει να έχει αυξηθεί συνολικά κατά 860 GW μέχρι το 2030.

<sup>4</sup> Σύμφωνα με το πενταετές πρόγραμμα, το Πεκίνο επιθυμεί να μειώσει το τεράστιο χάσμα, που δημιουργήθηκε τα τελευταία 20 χρόνια, μεταξύ οικονομικών απολαβών στην επαρχία και στα αστικά κέντρα. Τα 940 εκατ. κατοίκων, από το 1,3 δισ. του συνολικού πληθυσμού της Κίνας, είναι επίσημα εγγεγραμμένοι ως κάτοικοι αγροτικών περιοχών, αλλά εκτιμάται πως 200 εκατ. από αυτούς έχουν εγκαταλείψει τις πατρογονικές τους εστίες προς εξασφάλιση υψηλότερων αποδοχών στα αστικά κέντρα.

πληροφοριακών και εποπτικών υποδομών για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πόλεων και των κτιρίων, η ενεργειακή κατανάλωση των οποίων έχει αυξηθεί κατακόρυφα καθώς προχωράει ακάθεκτη η πολεοδομική ανάπτυξη, αποτέλεσμα έντονης αστυφιλίας, με κύτταρο ανάπτυξης πολυώροφα και ενεργοβόρα κτίρια γραφείων και κατοικιών.



Διάγραμμα 18: Η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου του 2010 ανά χώρα σε εκατ. βαρέλια την ημέρα

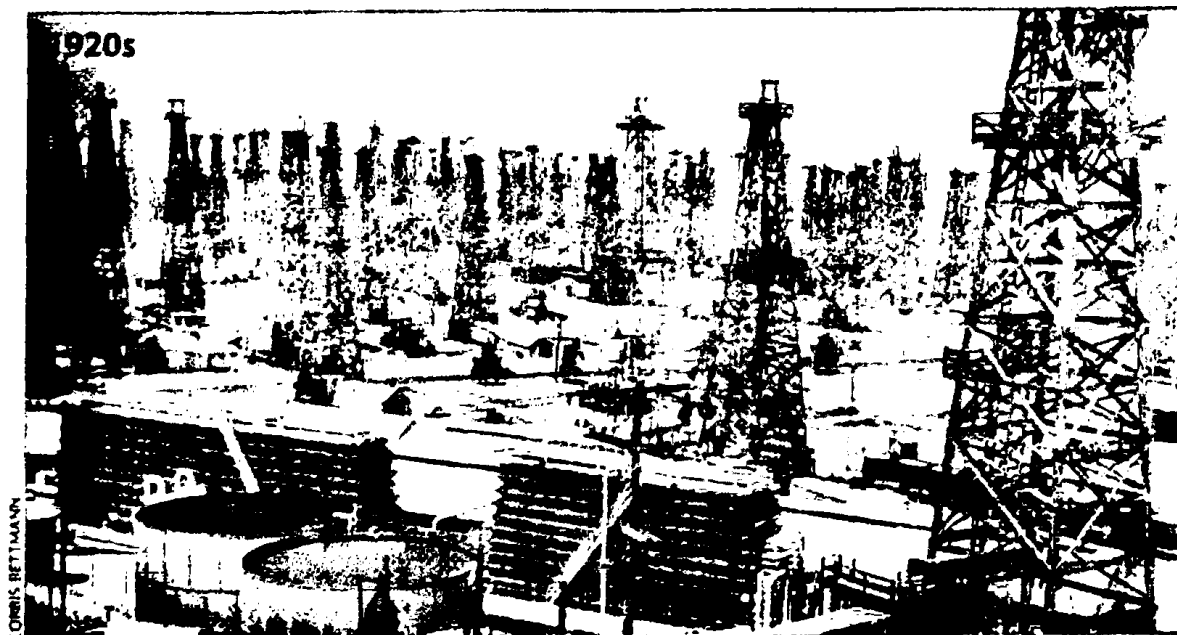
(Πηγή: ASPO 2010)

Πιο συγκεκριμένα, στον τομέα του πετρελαίου η σημερινή ζήτηση των 7,0 εκατ. Βαρελιών ανά ημέρα, που αντιστοιχεί στο 8,5% της παγκόσμιας ζήτησης πετρελαίου, αναμένεται να αυξηθεί στο 11% ή και περισσότερο, αφού εκτιμάται ραγδαία ανάπτυξη του τομέα των μεταφορών όπου η ετήσια κατανάλωση πετρελαιοειδών αυξάνεται με ρυθμούς 6,5%<sup>5</sup>. Αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '90 η Κίνα ήταν αυτάρκης σε πετρέλαιο, καλύπτοντας σχεδόν όλη της την κατανάλωση από την εγχώρια παραγωγή της (Turkenburg W.C. 2000, 89).

Σήμερα η Κίνα εισάγει περίπου το 50% των αναγκών της σε πετρέλαιο, με προοπτική το νούμερο αυτό να φθάσει το 65% ή και περισσότερο μέσα στα επόμενα 5 χρόνια. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η πληροφορία ότι το 65% των κινεζικών εισαγωγών αργού και προϊόντων στην Κίνα πραγματοποιείται από ελληνόκτητα πετρελαιοφόρα πλοία, τα οποία μετέφεραν 120 εκατ. τόνους

<sup>5</sup> Μόνο στην ευρύτερη περιοχή του Πεκίνου κάθε ημέρα κυκλοφορούν 1.500 νέα αυτοκίνητα, ενώ οι εκτιμήσεις για το 2030 είναι ότι η ιδιοκτησία αυτοκινήτων θα φθάσει τα 90 ανά 1.000 κατοίκους, δηλαδή 130 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Κατά την ίδια χρονική περίοδο η συνολική ζήτηση πετρελαίου πρόκειται να φθάσει στα 13,5 εκατ. βαρ./ημέρα, με την Κίνα να εισάγει 10 εκατ. βαρ./ημέρα, δηλαδή όσο εισάγουν οι ΗΠΑ σήμερα.

πετρέλαιο τον περασμένο χρόνο<sup>6</sup>. Για να αντιμετωπίσει την υψηλή από κάθε άποψη αυξανόμενη ζήτηση εισαγωγών αργού και στο πλαίσιο μιας ανεξάρτητης εξωτερικής, επέκταση ενεργειακής, πολιτικής τα τελευταία χρόνια, η κινεζική ηγεσία προσπαθεί με κάθε μέσο να εξασφαλίσει και να ελέγξει παραγωγικά κοιτάσματα σε διάφορα μέρη του κόσμου (D.K.S. 2005, 210).



Εικόνα 1: Πετρελαιοπηγές στο Λος Άντζελες των ΗΠΑ τη δεκαετία του 1920

Έτσι οι κρατικά ελεγχόμενες κινεζικές εταιρείες πετρελαίου (CNPC, CNOOC, SINOPEC) έχοντας πλήρη επίγνωση της μεγάλης στρατηγικής σημασίας που έχει ο έλεγχος κοιτασμάτων απανταχού της γης, επενδύουν τεράστια ποσά σε κοιτάσματα στη Βόρεια Αφρική (Αλγερία, Αίγυπτος, Σουδάν, Τσαντ), στην Αγκόλα και τη Νιγηρία, στις χώρες της Κασπίας, στη Ρωσία γενικά όπου μπορούν να εξασφαλίσουν ασφαλή πρόσβαση<sup>7</sup>. Αυτή προβλέπεται να ενισχυθεί περαιτέρω με τους στόχους που έχει θέσει στο τρέχον πενταετές πρόγραμμα για βελτίωση

<sup>6</sup> Ανταποδίδοντας την εμπιστοσύνη των Κινέζων στην ελληνική ναυτιλία, αρκετοί Έλληνες εφοπλιστές ναυπηγούν πλοία τους σε κινεζικά ναυπηγεία. Εκτιμάται πως αυτή τη στιγμή ναυπηγούνται 100 πλοία διαφόρων τύπων μεγεθών, συνολικής αξίας 4 δισ. δολαρίων.

<sup>7</sup> Πέρα από το να κατευθύνει το αίσθημα έντονης ενεργειακής ανασφάλειας που διακατέχει τους Κινέζους ιθύνοντες, η τακτική αυτή δημιουργεί παράλληλα σημαντικές υπεραξίες στις εμπλεκόμενες εταιρείες, συμβάλλοντας έτσι περαιτέρω ενδυνάμωση της ήδη ισχυρής οικονομικής θέσης της χώρας.

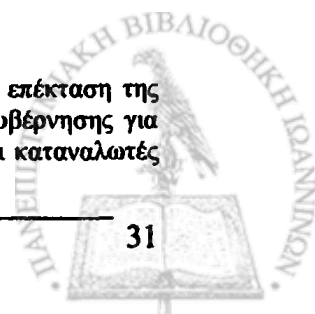
ενεργειακής απόδοσης, δίδοντας έμφαση στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην πλήρη αξιοποίηση των εγχώριων ενεργειακών υλών, με στόχο τη μείωση της ενεργειακής έντασης (Sinton J.E. & Levine M.D. & Qingyi W. 2008, 820).

Βελτίωση όμως της ενεργειακής απόδοσης μιας οικονομίας του μεγέθους της Κίνας με έναν υψηλό στόχο, που είναι το 20%, με παράλληλη επέκταση των ΑΕΠ κατά 10%, σημαίνει στην ουσία βελτίωση του ενεργειακού έργου σε ποσοστό πολύ υψηλότερο του 20%, ενδεχομένως αυτό να φθάσει το 30% ή και το 40%, καθώς παρατηρούνται έντονα ενισχυτικά φαινόμενα με σημαντικές τεχνολογικές συνέργιες και τεράστιες οικονομίες κλίμακας (Adelman M.A. 2002, 182).

Έτσι, εάν ο στόχος αυτός του Πεκίνου μπορέσει να υλοποιηθεί, θα είναι ουσιαστικά μια νέα τεχνολογική επανάσταση με αναπάντεχες επιπτώσεις σε κοινωνικό επίπεδο, αφού η επίτευξή του προϋποθέτει αλλαγές σε κοινωνικό επίπεδο, ιδιαίτερα στην υιοθέτηση πρωτόγωννων καταναλωτικών και εργασιακών προτύπων<sup>8</sup>. Η πρόκληση εδώ είναι πώς θα επιτευχθεί η αύξηση των τιμών σταδιακά, μέσα στα επόμενα 5 χρόνια, ώστε να μην υπάρξουν κραδασμοί και ανατροπές στην εισοδηματική πολιτική και επηρεασθεί η ανάπτυξη της οικονομίας. Εξ άλλου, η αύξηση των τιμών των καυσίμων (ηλεκτρισμός, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) αποτελεί μέρος του σχεδίου του Πεκίνου για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, αφού η μετάβαση στα δυτικά ενεργειακά καταναλωτικά πρότυπα θα πρέπει να επιτευχθεί χωρίς τις σπάταλες συνήθειες των Δυτικών καταναλωτών.

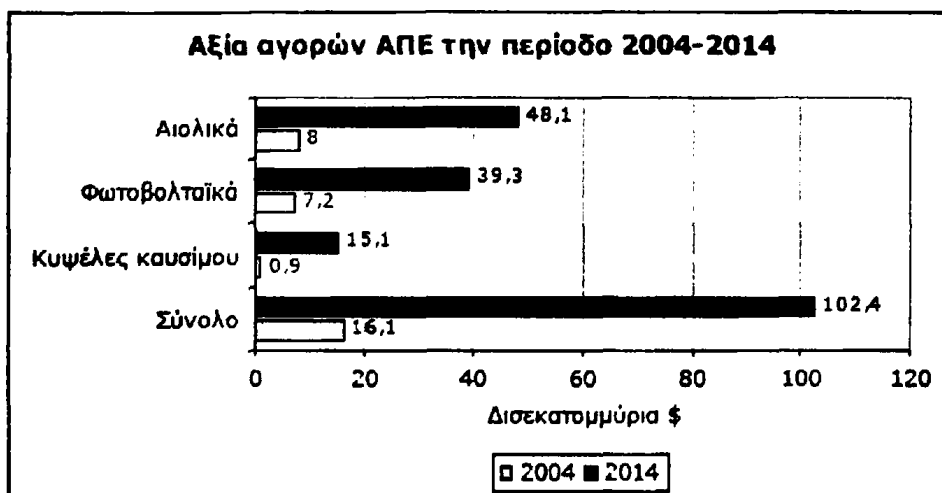
---

<sup>8</sup> Αύξηση της ενεργειακής απόδοσης σε τέτοια κλίμακα σημαίνει παράλληλα και εντατικοποίηση και επέκταση της κοινωνίας της γνώσης. Οι υποθέσεις αυτές ενισχύονται εξ άλλου από την απόφαση της κινεζικής κυβέρνησης για ταυτόχρονη μείωση των σημαντικών επιδοτήσεων στην εσωτερική αγορά πετρελαιοειδών, έτσι ώστε οι καταναλωτές να αρχίσουν να απορροφούν το υψηλό κόστος των υγρών καυσίμων.



#### 4.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας για τη θέρμανση χώρων, τα μέσα μεταφοράς, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για τη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων. Με την πρόοδο της οικονομίας και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου, η ενεργειακή ζήτηση αυξάνεται ολοένα. Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιούμε προέρχεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι το πετρέλαιο, η βενζίνη και ο άνθρακας. Πρόκειται για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αργά η γρήγορα θα εξαντληθούν. Η παραγωγή και χρήση της ενέργειας που προέρχεται από αυτές τις πηγές δημιουργούν μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα με αιχμή τους το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

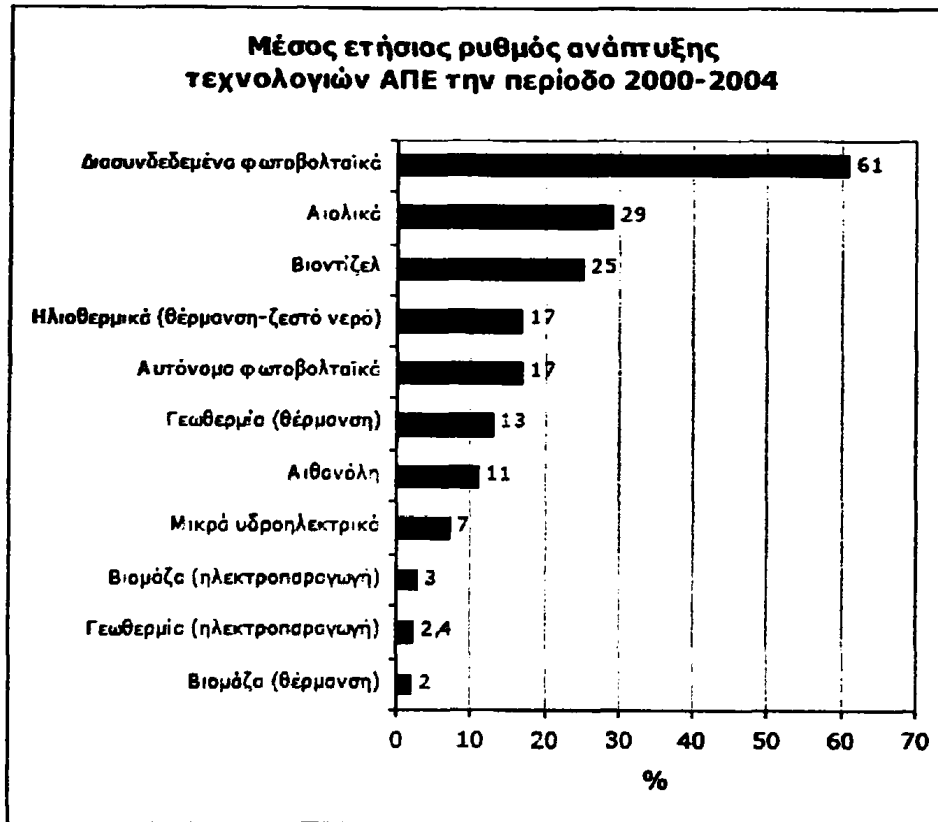


Πηγή: Clean Edge 2005

Διάγραμμα 19: Πρόβλεψη για τις ΑΠΕ την επόμενη δεκαετία

Από την άλλη πλευρά, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες (Walisiewicz M. 2003, 34). Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας που προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Υπάρχουν

σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.



Πηγή: Worldwatch Institute

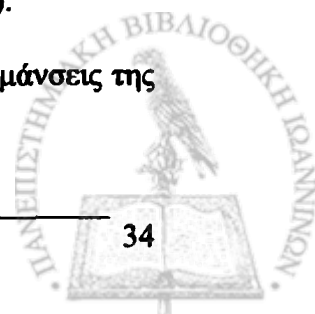
**Διάγραμμα 20: Οι ρυθμοί ανάπτυξης των ΑΠΕ**

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 και παγιώθηκε την επόμενη δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων (Aleklett K. & Campbell C.J. 2003, 41). Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού.

Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς η αξιοποίησή τους δεν το επιβαρύνει, αφού δεν συνοδεύεται από παραγωγή ρύπων ή αερίων που ενισχύουν τον κίνδυνο για κλιματικές αλλαγές. Έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων (Hanson J. 2001). Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό ΑΠΕ, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μια πραγματική εναλλακτική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών.

**Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα εξής (Goldberg J. 1996, 131):**

1. Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
2. Απαντούν στο ενεργειακό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές π.χ. οξείδια θείου και αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή.
3. Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
4. Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
5. Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
6. Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.



7. Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
8. Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).

**Τα κυριότερα μειονεκτήματα των ΑΠΕ είναι (Σύνδεσμος Φωτοβολταϊκών Εταιρειών 2009):**

1. Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Για αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
2. Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
3. Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
4. Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
5. Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.



## Μορφές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

- ❖ **Αιολική Ενέργεια:** η κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια ή / και σε ηλεκτρική ενέργεια.
- ❖ **Υδροηλεκτρική Ενέργεια:** Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (μέχρι 10 MW ισχύος) αξιοποιούν τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια.
- ❖ **Βιομάζα:** είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης.
- ❖ **Ηλιακή Ενέργεια,** η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα:
  - **Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα:** μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.
  - **Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα:** αφορούν αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της απ' ευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό.
  - **Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα:** μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια.
- ❖ **Γεωθερμική Ενέργεια:** η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα.
- ❖ **Υδρογόνο:** Το υδρογόνο αποτελεί το 90% του σύμπαντος και θα αποτελέσει ένα νέο καύσιμο που θα χρησιμοποιούμε στο μέλλον



#### **4.4.1 Αιολική ενέργεια**

Οι άνεμοι, δηλαδή οι μεγάλες μάζες αέρα που μετακινούνται με ταχύτητα από μία περιοχή σε κάποια άλλη, οφείλονται στην ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία (Shepherd W. & Shepherd D.W. 1998, 211). Η κινητική ενέργεια των ανέμων είναι τόση που, με βάση τη σημερινή τεχνολογία εκμετάλλευσής της, θα μπορούσε να καλύψει πάνω από δύο φορές τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας<sup>9</sup>. Για πολλές εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου, ενώ η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήριας μηχανής εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Είναι η εποχή που εξαπλώνονται ραγδαία τα συμβατικά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός, ο οποίος φτάνει ως τα πιο απομακρυσμένα σημεία. Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 70, φέρνει ξανά στο προσκήνιο τις ΑΠΕ και την αιολική ενέργεια (Adelman M.A. 1995, 214). Στο διάστημα μέχρι σήμερα, σημειώνεται μια αλματώδης ανάπτυξη, κάτι που ενισχύεται και από την επιτακτική ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος. Γίνεται πλέον συνείδηση σε όλο και περισσότερο κόσμο, πως ο άνεμος είναι μια καθαρή ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.

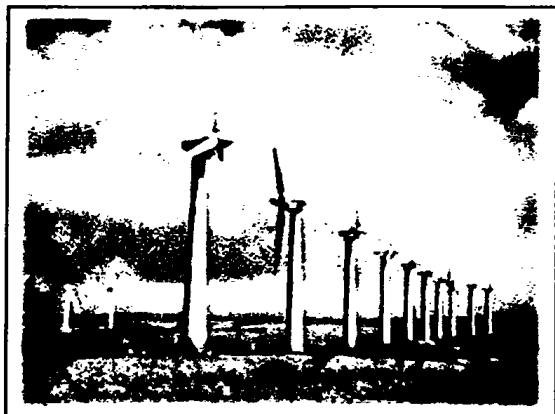
Τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας αφορούν κυρίως μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται ανεμογεννήτριες. Η σημαντικότερη οικονομικά εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας (Swenson B.R. & de Winter F. 2005). Στην περίπτωση αυτή, ένα αιολικό πάρκο, δηλαδή μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, ή μηχανικής ενέργειας για χρήση σε αντλιοστάσια, καθώς και θερμότητας. Όμως, η ισχύς που

---

<sup>9</sup> Ο εγκλωβισμός, κατά τον Όμηρο, των ανέμων στον ασκό του Αιόλου δείχνει ακριβώς την ανάγκη των ανθρώπων να διαθέτουν τους ανέμους στον τόπο και χρόνο που οι ίδιοι θα ήθελαν.



παράγεται σε εφαρμογές αυτού του είδους είναι περιορισμένη, το ίδιο και η οικονομική τους σημασία



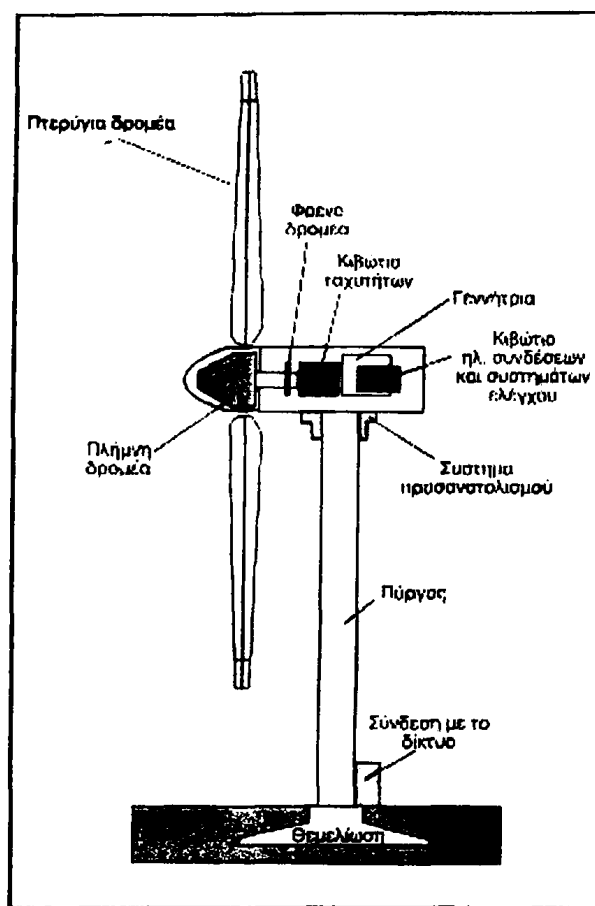
**Εικόνα 2: Ανεμογεννήτριες στο Μπιλμπάο της Ισπανίας**

Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- ❖ Οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους
- ❖ Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watt (Ελληνικός Σύνδεσμος Ηλεκτροπαραγωγών από ΑΠΕ 2009). Οι τυπικές διαστάσεις μιας ανεμογεννήτριας 500 kW είναι : Διάμετρος δρομέα, 40 μέτρα και ύψος 40-50 μέτρα , ενώ αυτής των τριών MW οι διαστάσεις είναι 80 και 80-100 μέτρα αντίστοιχα.

Παρόλο που δεν υφίσταται κανένας καθοριστικός λόγος, εκτός ίσως από την εμφάνιση, στην αγορά έχουν επικρατήσει αποκλειστικά οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, με δύο ή τρία πτερύγια. Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη:



**Διάγραμμα 21: Τα κυριότερα μέρη μιας τυπικής ανεμογεννήτριας (Πηγή: Walisiewicz M. 2003)**

- ❖ το δρομέα, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήμνη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα τους μεταβάλλοντας το βήμα
- ❖ το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής
- ❖ την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται συνήθως πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας. Υπάρχει και το σύστημα πέδης το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας

- ❖ το σύστημα προσανατολισμού, αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου
- ❖ τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα
- ❖ τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της.

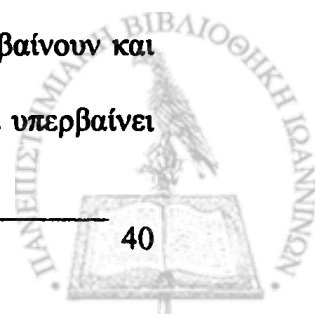
#### **4.4.2 Υδροηλεκτρική ενέργεια**

Η υδραυλική ενέργεια, η ενέργεια του νερού, είναι μια ανανεώσιμη, και αποκεντρωμένη πηγή ενέργειας. Πολυάριθμοι υδραυλικοί τροχοί, νερόμυλοι, δριστελλες, υδροτριβεία, πριονιστήρια, κλωστοϋφαντουργεία και άλλοι μηχανισμοί υδροκίνησης συνεχίζουν ακόμη και σήμερα να χρησιμοποιούν τη δύναμη του νερού, συμβάλλοντας σημαντικά στην πρόοδο της τοπικής οικονομίας πολλών περιοχών, με απόλυτα φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο.

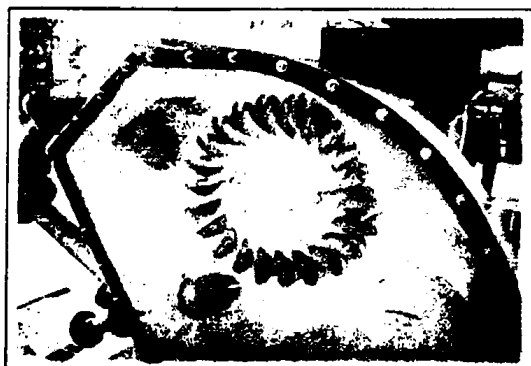
Σε πολλά σημεία του ελληνικού χώρου κάποιες παραδοσιακές, αλλά και σύγχρονες εγκαταστάσεις Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων εξακολουθούν να αξιοποιούν την ενέργεια του νερού για την παραγωγή μηχανικού έργου αλλά κυρίως πλέον για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Η αξιοποίηση του μικρού υδροδυναμικού των χιλιάδων μικρών ή μεγαλύτερων υδατορρευμάτων και πηγών της ορεινής Ελλάδος περνά από την υλοποίηση αποκεντρωμένων, αναπτυξιακών μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών πολλαπλής σκοπιμότητας, που μπορούν δηλαδή να λειτουργούν και για την ταυτόχρονη κάλυψη υδρευτικών, αρδευτικών και άλλων τοπικών αναγκών.

Οι πολύ υψηλοί βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων, που μερικές φορές υπερβαίνουν και το 90%, και η πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών έργων, που μπορεί να υπερβαίνει



και τα 100 έτη, αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα και την τεχνολογική ωριμότητα των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών (Kraushaar J.J. & Ristinen R.A. 1993, 87).



Εικόνα 3: Τυπικός υδροστρόβιλος

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι η δυνατότητα άμεσης σύνδεσης - απόζευξης στο δίκτυο ή η αυτόνομη λειτουργία τους, η αξιοπιστία τους, η παραγωγή ενέργειας αρίστης ποιότητας χωρίς διακυμάνσεις, η άριστη διαχρονική συμπεριφορά τους, η μεγάλη διάρκεια ζωής, ο προβλέψιμος χρόνος απόσβεσης των αναγκαίων επενδύσεων που οφείλεται στο πολύ χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας και στην ανυπαρξία κόστους πρώτης ύλης (CADDETT Renewable Energy 2006), η φιλικότητα προς το περιβάλλον με τις μηδενικές εκπομπές ρύπων και τις περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η ταυτόχρονη ικανοποίηση και άλλων αναγκών χρήσης νερού (ύδρευσης, άρδευσης, κλπ.), η δυνατότητα παρεμβολής τους σε υπάρχουσες υδραυλικές εγκαταστάσεις, κ.α.

Εξ ορισμού, ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός αποτελεί ένα έργο απόλυτα συμβατό με το περιβάλλον, που μπορεί να συμβάλει ακόμη και στη δημιουργία νέων υδροβιοτόπων μικρής κλίμακας. Το σύνολο των επί μέρους συνιστωσών του έργου μπορεί να ενταχθεί αισθητικά και λειτουργικά στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας τα τοπικά υλικά με παραδοσιακό τρόπο και αναβαθμίζοντας το γύρω χώρο.

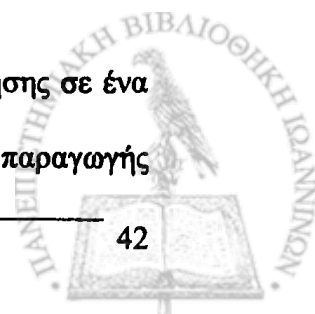


#### 4.4.3 Βιομάζα

Η βιομάζα με την ευρύτερη έννοια του όρου περιλαμβάνει οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς. Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και/ ή αέριων καυσίμων (Schipper L. & Meyers S. 1995, 385). Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας. Πρώτον, οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και δεύτερον η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες.

Οι κύριες εφαρμογές με καύσιμο βιομάζα είναι:

- ❖ **Θέρμανση θερμοκηπίων:** Σε περιοχές όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας, χρησιμοποιείται η βιομάζα σαν καύσιμο σε κατάλληλους λέβητες για τη θέρμανση θερμοκηπίων.
- ❖ **Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς/κεντρικούς λέβητες :** Σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση κτιρίων ατομικοί/κεντρικοί λέβητες πυρηνόξυλου.
- ❖ **Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες:** Βιομάζα για παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιείται από γεωργικές βιομηχανίες στις οποίες η βιομάζα προκύπτει σε σημαντικές ποσότητες σαν υπόλειμμα ή υποπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας και έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα. Εκκοκκιστήρια, πυρηνελαιουργεία, βιομηχανίες ρυζιού καθώς και βιοτεχνίες κονσερβοποίησης καίνε τα υπολείμματά τους (υπολείμματα εκκοκκισμού, πυρηνόξυλο, φλοιοί και κουκούτσια, αντίστοιχα) για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών ή/και μέρος των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια.
- ❖ **Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου:** Τα υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου (πριονίδι, πούδρα, ξακρίδια κλπ) χρησιμοποιούνται για τη κάλυψη των θερμικών αναγκών της διεργασίας καθώς και για την θέρμανση των κτιρίων.
- ❖ **Τηλεθέρμανση:** είναι η προμήθεια θέρμανσης χώρων καθώς και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μια πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής



θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται με προ-μονωμένο δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια .

❖ **Παραγωγή ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ):** Το βιοαέριο που παράγεται από την αναερόβια χώνευση των υγρών αποβλήτων σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού, και των απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ καίγεται σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα μπορεί να αξιοποιείται η θερμική ενέργεια των καυσαερίων και του ψυκτικού μέσου των μηχανών για να καλυφθούν ανάγκες τις διεργασίας ή/και άλλες ανάγκες θέρμανσης (πχ θέρμανση κτιρίων).

Σήμερα, ο όρος βιοκαύσιμα χρησιμοποιείται συνήθως για υγρά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα των μεταφορών<sup>10</sup>. Τα βιοκαύσιμα είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά καύσιμα γιατί έχουν λιγότερες εκπομπές και χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Συμβάλλουν στη μείωση των εισαγωγών και στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

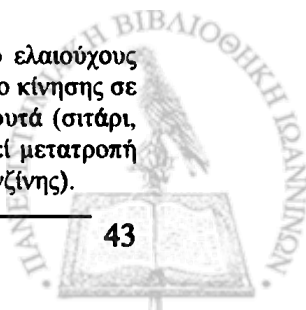
## **A. Υπολειμματικές μορφές βιομάζας**

### **1. Βιομάζα γεωργικής προέλευσης**

Η γεωργική βιομάζα που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας διακρίνεται στη βιομάζα των υπολειμμάτων των γεωργικών καλλιεργειών (στελέχη, κλαδιά, φύλλα, άχυρο, κλαδοδέματα κ.λπ.) και στη βιομάζα των υπολειμμάτων επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων (υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, πυρηνόξυλο, πυρήνες φρούτων κ.λ.π.).

---

<sup>10</sup> Τα πιο συνηθισμένα στο εμπόριο είναι το βιοντίζελ, μεθυλεστέρα ο οποίος παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους (ηλίανθος, ελαιοκράμβη, κ.ά) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του ή σε μίγμα με πετρέλαιο κίνησης σε πετρελαιοκινητήρες και η βιοαιθανόλη η οποία παράγεται από σακχαρούχα, κυταρινούχα κι αμυλούχα φυτά (σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, τεύτλα, κ.ά.) και χρησιμοποιείται είτε ως έχει σε βενζινοκινητήρες που έχουν υποστεί μετατροπή είτε σε μίγμα με βενζίνη σε κανονικούς βενζινοκινητήρες είτε τέλος να μετατραπεί σε ETBE (πρόσθετο βενζίνης).





**Εικόνα 4: Βιομάζα υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών**

## **2. Βιομάζα ζωικής προέλευσης**

Το διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας ζωικής προέλευσης, περιλαμβάνει κυρίως απόβλητα εντατικής κτηνοτροφίας από πτηνοτροφεία, χοιροστάσια, βουστάσια και σφαγεία. Η εκτροφή προβάτων, αιγών κι αρνιών είναι εκτατική (η οποία είναι επί το πλείστον ποιμενικής μορφής) και τα παραγόμενα απόβλητα διασκορπίζονται σε όλο το βοσκότοπο.

## **3. Βιομάζα δασικής προέλευσης**

Η βιομάζα δασικής προέλευσης που αξιοποιείται ή μπορεί να αξιοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς συνίσταται στα καυσόξυλα, στα υπολείμματα καλλιέργειας των δασών (αραιώσεων, υλοτομιών), στα προϊόντα καθαρισμών για την προστασία τους από πυρκαγιές καθώς και στα υπολείμματα επεξεργασίας του ξύλου.

## **4. Αστικά απόβλητα:** Το οργανικό τμήμα των αστικών αποβλήτων.

## **B. Ενεργειακές καλλιέργειες**

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων είτε φυτά που δεν καλλιεργούνται, προς το παρόν, εμπορικά όπως ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και το καλάμι που το τελικό προϊόν τους



προορίζεται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων (Goldberg J. 1996, 302). Οι ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι οι ετήσιες<sup>11</sup> και οι πολυετείς.



Εικόνα 5: Ενεργειακή καλλιέργεια

### **Γ. Βιοαέριο**

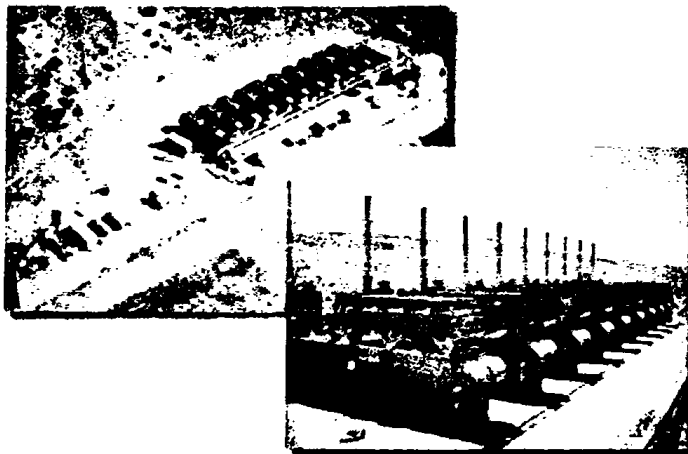
Το βιοαέριο, παράγεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων (λύματα από χοιροστάσια, βουστάσια), αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων και λυμάτων, καθώς και από αστικά οργανικά απορρίμματα (Goodstein D. 2004, 251). Αποτελείται από 65% μεθάνιο και 35% διοξείδιο του άνθρακα και μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά, μέσω της τροφοδοσίας του σε μηχανές εσωτερικής καύσης, σε καυστήρες αερίου ή σε αεροστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.

Το βιοαέριο, με την κατάλληλη επεξεργασία και αναβάθμιση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο μεταφορών, με ιδιαίτερα ανταγωνιστική τιμή. Στη Σουηδία ήδη αρκετά οχήματα κινούνται με μεθάνιο και λειτουργούν σταθμοί διανομής βιοαερίου.

Παράλληλα, το αναβαθμισμένο βιοαέριο μπορεί να διοχετευθεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου, όπως πλέον γίνεται στην Ολλανδία, τη Σουηδία και την Ελβετία και να χρησιμοποιηθεί για

<sup>11</sup> **Ετήσιες:** σακχαρούχο ή γλυκό σόργο (*Sorghum bicolor* L.Moench), ινώδες σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench), κενάφ (*Hibiscus cannabinus* L.), ελαιοκράμβη (*Brassica napus* L.), βρασσική η αιθίοπια (*Brassica carinata* L. Braun). **Πολυετείς:** Γεωργικές : Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus*), καλάμι (*Arundo donax* L.), μίσχανθος (*Miscanthus x giganteus*), switchgrass (*Panicum virgatum*) Δασικές : Ευκάλυπτος (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. & *E. globulus* Labill.), ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia*).

ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Πειραματικά χρησιμοποιείται και για παραγωγή υδρογόνου, τροφοδοτώντας κυψέλες καυσίμου (fuel cells).



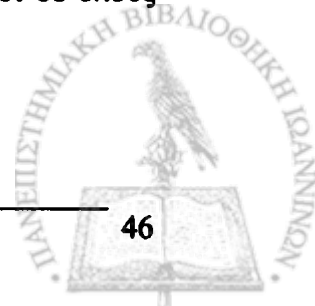
**Εικόνα 6: Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βιοαέριο**

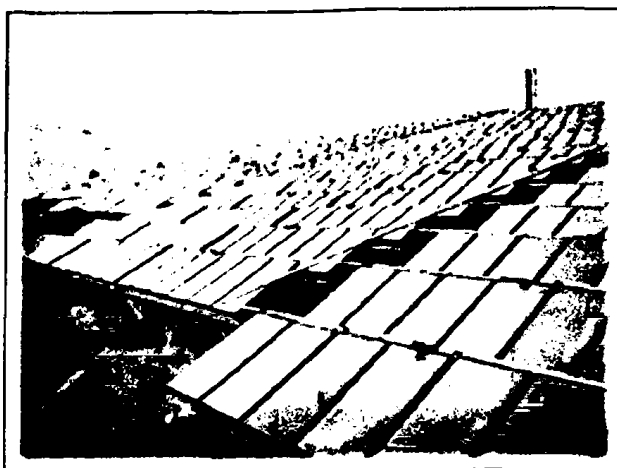
Η ανάπτυξη και εγκατάσταση τεχνολογιών βιοαερίου, αποτελεί μία εναλλακτική λύση με σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς προσφέρει περιβαλλοντικά φιλική ενέργεια και ταυτόχρονα επλύει το συνεχώς διογκούμενο πρόβλημα της διάθεσης των απορριμμάτων (Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας 2006).

#### **4.4.4 Ηλιακή Ενέργεια**

##### **Ενεργητικά ηλιακά**

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι όσα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία, και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, σε αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι αρκετά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών (Roberts P. 2005, 192). Η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, οι γνωστοί σε όλους ηλιακοί θερμοσίφωνες.





Εικόνα 7: Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Η επιφάνεια ηλιακών συστημάτων που βρίσκονται σε λειτουργία στη χώρα μας είναι περίπου 2.800.000 m<sup>2</sup> (στοιχεία 2010). Ήδη, περισσότερες από 1.000.000 ελληνικές οικογένειες καλύπτουν περίπου 80% των ετησίων αναγκών τους σε ζεστό νερό χρήσης με ηλιακό θερμοσίφωνα (ΚΑΠΕ 2006). Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών και η ποιότητα τους γενικά έχουν βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Η Ελλάδα είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας σε όλη την Ευρώπη και μάλιστα σε χώρες με ιδιαίτερη βιομηχανική παράδοση, όπως η Γερμανία.

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ένα δοχείο αποθήκευσης της θερμότητας και σωληνώσεις. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης (Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας 2006). Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου, με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30°-60° ως προς τον ορίζοντα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως.

Πέρα από την οικιακή χρήση, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη σήμερα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε απαιτείται θερμότητα χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης. Έτσι, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, για τον κλιματισμό χώρων και άλλες εφαρμογές, εμφανίζεται ως μία από τις πολλά υποσχόμενες

προοπτικές, λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας ακριβώς την εποχή που απαιτούνται τα ψυκτικά φορτία. Υπάρχουν ήδη μερικές επιτυχημένες εφαρμογές τέτοιων συστημάτων στη χώρα μας και αναμένεται να έχουν ταχεία ανάπτυξη.

Μια άλλη εφαρμογή που έχει εξαπλωθεί στην Ευρωπαϊκή αγορά είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων με ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες για τη θέρμανση χώρων, θεωρείται τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδοτική, αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη/κατασκευή του κτιρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών, κ.λπ.) και τη συνεργασία του χρήστη<sup>12</sup>.

#### **Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα**

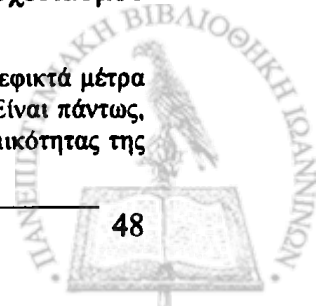
Ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε εθνικό επίπεδο (ΔΕΗ 2006). Η κατανάλωση αυτή, είτε σε μορφή θερμικής (κυρίως πετρέλαιο) είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα, εκτός της σημαντικής οικονομικής επιβάρυνσης λόγω του υψηλού κόστους της ενέργειας, και τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (Azar C. & Lindgren K. & Andersson B.A. 2003, 205), που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια επιτυγχάνεται με απλές μεθόδους και τεχνικές, με τον κατάλληλο σχεδιασμό των κτιρίων (βιοκλιματική αρχιτεκτονική) και με συστήματα και τεχνολογίες, όπως τα παθητικά ηλιακά συστήματα.

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά στο σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών - υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος (ΚΑΠΕ 2006). Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού

---

<sup>12</sup> Μπορεί να εξοικονομήσει συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτίρια, στα οποία έχουν ληφθεί όλα τα εφικτά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης. Είναι πάντως, πολύ σημαντικός ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος και η προσεκτική εξέταση της οικονομικότητας της εγκατάστασης για την αποφυγή λανθασμένων επιλογών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.



αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτίρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών (π.χ. ήλιο, αέρα - άνεμο, βλάστηση, νερό, έδαφος, ουρανό) για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων.



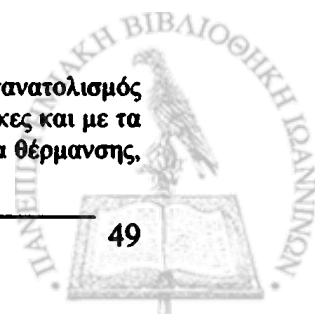
**Εικόνα 8: Παθητικά ηλιακά συστήματα**

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός εξαρτάται από το τοπικό κλίμα και βασίζεται στις παρακάτω αρχές:

- ❖ Θερμική προστασία των κτιρίων τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών που εφαρμόζονται στο εξωτερικό κέλυφος των κτιρίων, ιδιαίτερα με την κατάλληλη θερμομόνωση και αεροστεγάνωση του κτιρίου και των ανοιγμάτων του.
- ❖ Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων τη χειμερινή περίοδο και για φυσικό φωτισμό όλο το χρόνο<sup>13</sup>. Προστασία των κτιρίων από τον καλοκαιρινό ήλιο, κυρίως μέσω της σκίασης, αλλά και της κατάλληλης κατασκευής του κελύφους.
- ❖ Απομάκρυνση της θερμότητας που το καλοκαίρι συσσωρεύεται μέσα στο κτίριο με φυσικό τρόπο προς το εξωτερικό περιβάλλον με συστήματα και τεχνικές παθητικού δροσισμού, όπως ο φυσικός αερισμός, κυρίως με τον φυσικό αερισμό τις νυχτερινές ώρες.

---

<sup>13</sup> Αυτό επιτυγχάνεται με τον προσανατολισμό των χώρων και ιδιαίτερα των ανοιγμάτων (ο νότιος προσανατολισμός είναι ο καταλληλότερος) και την διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων ανάλογα με τις θερμικές τους ανάγκες και με τα παθητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και αποτελούν «φυσικά» συστήματα θέρμανσης, αλλά και φωτισμού.



- ❖ Εξασφάλιση επαρκούς ηλιασμού και ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας για φυσικό φωτισμό των κτιρίων, ο οποίος θα πρέπει να εξασφαλίζει επάρκεια και ομαλή κατανομή του φωτός μέσα στους χώρους.
- ❖ Βελτίωση του κλίματος έξω και γύρω από τα κτίρια, με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό των χώρων γύρω και έξω από τα κτίρια και εν γένει, του δομημένου περιβάλλοντος, ακολουθώντας όλες τις παραπάνω αρχές.

Τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα είναι αναπόσπαστα κομμάτια – δομικά στοιχεία ενός κτιρίου που λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν, αλλά και δροσίζουν τα κτίρια (Renewable Energy World 2006). Τα Παθητικά Συστήματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης
2. Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού
3. Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου συνεπάγεται τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των συστημάτων, ώστε να συνδυάζουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθ'όλη τη διάρκεια του έτους.

#### **A. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης**

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα στα κτίρια αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση των χώρων το χειμώνα, καθώς και για παροχή φυσικού φωτισμού. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο (ΚΑΠΕ 2006).





Εικόνα 9: Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί<sup>14</sup>. Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμική μάζα (βαριά υλικά, όπως πέτρα, πλάκες, μπετόν στους τοίχους και στα δάπεδα, χωρίς να είναι καλυμμένα, π.χ. από χαλιά), η οποία απορροφά μέρος της θερμότητας και την «προσφέρει» στο χώρο αργότερα και έτσι διατηρείται ο χώρος θερμός για πολλές ώρες<sup>15</sup>. Τα υπόλοιπα παθητικά συστήματα είναι συστήματα έμμεσου κέρδους και ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- ❖ **Ηλιακοί τοίχοι:** Έχουν στην εξωτερική τους πλευρά, σε μικρή απόσταση από την τοιχοποιία τζάμι (υαλοπίνακα) και λειτουργούν ως ηλιακοί συλλέκτες, μεταφέροντας τη θερμότητα είτε μέσω του υλικού του τοίχου (τοίχος θερμικής αποθήκευσης), είτε μέσω θυρίδων (θερμοσιφωνικό πανέλο) στον εσωτερικό χώρο<sup>16</sup>.
- ❖ **Θερμοκήπια (ηλιακοί χώροι):** Είναι κλειστοί χώροι που ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Η ηλιακή θερμότητα

<sup>14</sup> Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να έχουν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα.

<sup>15</sup> Ένα νότιο οριζόντιο σκίαστρο μπορεί να εμποδίσει τον καλοκαιρινό ήλιο που έρχεται από πιο ψηλά να μπει απ' ευθείας στο χώρο.

<sup>16</sup> Συνδυασμός των δύο λειτουργιών είναι ο τοίχος μάζας με θυρίδες τοίχος *Trombe – Michel*.

από το θερμοκήπιο μεταφέρεται στους κυρίως χώρους του κτιρίου μέσω ανοιγμάτων ή και διαπερνά τον τοίχο.

- ❖ **Ηλιακά αίθρια:** είναι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου οι οποίοι έχουν στην οροφή τους τζάμι και λειτουργούν όπως τα θερμοκήπια<sup>17</sup>.

## **B. Παθητικά συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού**

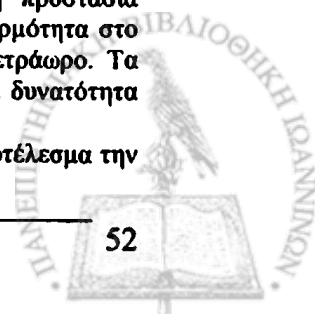
Οι πιο συνηθισμένες και απλές μέθοδοι φυσικού δροσισμού είναι:

- ❖ Η ηλιοπροστασία (σκίαση) του κτιρίου, η οποία επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους και μέσα, όπως η φυσική βλάστηση, τα γεωμετρικά στοιχεία (προεξοχές) του κτιρίου, σκίαστρα μόνιμα ή κινητά, εξωτερικά ή εσωτερικά των ανοιγμάτων, υαλοπίνακες με ειδικές επιστρώσεις ή ειδικής επεξεργασίας (ανακλαστικοί, επιλεκτικοί, ηλεκτροχρωμικοί, κ.λ.π.).
- ❖ Ο φυσικός εξαερισμός με κατάλληλο σχεδιασμό και λειτουργία των ανοιγμάτων στο κέλυφος και θυρίδες στο πάνω και κάτω τμήμα των διαχωριστικών εσωτερικών τοίχων που επιτρέπουν την κίνηση του αέρα στους εσωτερικούς χώρους.
- ❖ Ο νυχτερινός διαμπερής αερισμός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός, ιδιαίτερα τις θερμές ημέρες, κατά τις οποίες ο ημερήσιος αερισμός δεν είναι δυνατός<sup>18</sup>.
- ❖ Η χρήση ανεμιστήρων, ιδιαίτερα ανεμιστήρων οροφής, ενισχύει το φαινόμενο του φυσικού αερισμού, με ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Επί πλέον, συνεισφέρει στην επίτευξη θερμικής άνεσης σε θερμοκρασίες υψηλότερες από τις συνήθεις (περίπου 2-3°C), καθώς με την κίνηση του αέρα που δημιουργείται μεταφέρεται θερμότητα από το ανθρώπινο σώμα.

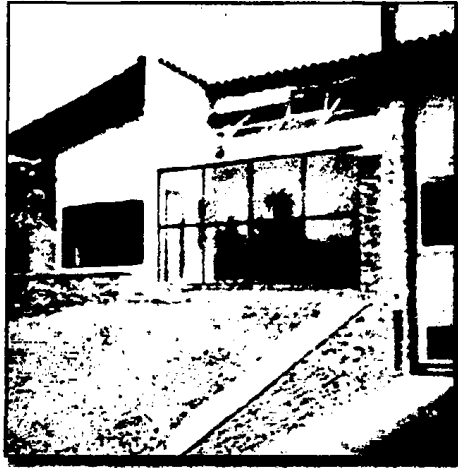
---

<sup>17</sup> Όλα τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα πρέπει να συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμομόνωση) και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και συχνά με δυνατότητα αερισμού.

<sup>18</sup> Ο νυχτερινός αερισμός συνεισφέρει στην αποθήκευση «δροσιάς» στη θερμική μάζα του κτιρίου, με αποτέλεσμα την μειωμένη επιβάρυνση του κτιρίου κατά την επόμενη μέρα.



- ❖ Η χρήση της θερμικής μάζας για τη μείωση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου.
- ❖ Μείωση των εσωτερικών κερδών του κτιρίου (θερμότητα που παράγεται από τις ηλεκτρικές, κυρίως συσκευές).



**Εικόνα 10: Παθητικά ηλιακά συστήματα**

Άλλες μέθοδοι παθητικού δροσισμού πιο σύνθετες και όχι τόσο ευρείας εφαρμογής, επιφέρουν επιπρόσθετα οφέλη ψύξης είναι (Renewable Energy Access 2006):

- ❖ Θερμική προστασία του κτιριακού περιβλήματος με τεχνικές όπως φυτεμένο δώμα, αεριζόμενο κέλυφος, ανακλαστικά επιχρίσματα εξωτερικών επιφανειών, φράγμα ακτινοβολίας.
- ❖ Ενίσχυση του φυσικού εξαερισμού με πύργους αερισμού ή ηλιακές καμινάδες
- ❖ Δροσισμός με εξάτμιση νερού με τεχνικές όπως: επιφάνειες νερού, πύργος δροσισμού, ψυκτικές μονάδες εξάτμισης (άμεσης, έμμεσης ή συνδυασμένης εξάτμισης), ή και βλάστηση (μέσω της εξατμισοδιαπνοής των φυτών)
- ❖ Δροσισμός με απόρριψη της θερμότητας στην ατμόσφαιρα με ακτινοβολία στο νυχτερινό ουρανό



- ❖ Δροσισμός με απόρριψη της θερμότητας από το κτίριο στη γη με αγωγή, (υπόσκαφα ή ημιυπόσκαφα κτίρια, ή υπεδάφιο σύστημα αγωγών και εναλλάκτες εδάφους-αέρα).

### **Γ. Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού**

Ο φυσικός φωτισμός στοχεύει στην επίτευξη οπτικής άνεσης μέσα στα κτίρια, αλλά και στη γενικότερη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης μέσα στους χώρους, συνδυάζοντας φως, θέα, δυνατότητα αερισμού, αξιοποίηση και ρύθμιση της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας. Ιδιαίτερη σημασία κατά το σχεδιασμό των συστημάτων φυσικού φωτισμού έχει η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των απαιτήσεων σε φωτισμό από το φυσικό φως, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου και την εργασία που επιτελείται μέσα στους χώρους (ΚΑΠΕ 2006).



**Εικόνα 11: Τεχνική φυσικού φωτισμού**

Μέσω των κατάλληλων συστημάτων και τεχνικών εξασφαλίζεται στους εσωτερικούς χώρους επαρκής ποσότητα (στάθμη φωτισμού), αλλά και ομαλή κατανομή, ώστε να αποφεύγονται έντονες διαφοροποιήσεις της στάθμης, οι οποίες προκαλούν φαινόμενο «θάμβωσης».

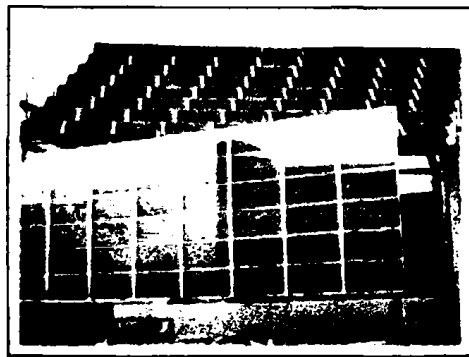
Τα συστήματα φυσικού φωτισμού διακρίνονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

- ❖ Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία
- ❖ Ανοίγματα οροφής
- ❖ Αίθρια

❖ Φωταγωγοί<sup>19</sup>

**Φωτοβολταϊκά Συστήματα**

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 και χρησιμοποιήθηκε για πρακτικούς σκοπούς στα τέλη της δεκαετίας του '50 σε διαστημικές εφαρμογές. Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική (Σύνδεσμος Φωτοβολταϊκών Εταιρειών 2006). Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες.



Εικόνα 12: Φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ενέργειας

Μία τυπική Φ/Β συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ποσοστό 14% περίπου της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

<sup>19</sup> Τα συστήματα αυτά συνδυάζονται με συγκεκριμένες τεχνικές που αφορούν στο σχεδιασμό των ανοιγμάτων, στις οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων, στα φωτομετρικά χαρακτηριστικά επιφανειών του χώρου και των ανοιγμάτων του (υφή, χρώμα, φωτοδιαπερατότητα υλικών) και στη χρήση ανακλαστήρων, για την εξασφάλιση επάρκειας και ομαλής κατανομής του φυσικού φωτός. Οι συνηθέστερες τεχνολογίες φυσικού φωτισμού αφορούν υαλοπίνακες με συγκεκριμένες ιδιότητες, πρισματικά φωτοδιαπερατά στοιχεία, διαφανή μονωτικά υλικά και ανακλαστήρες (ράφια φωτισμού ή ανακλαστικές περσίδες).

## Κατηγορίες Φ/Β Συστημάτων

Σαν κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών Φ/Β συστημάτων μπορούν να θεωρηθούν οι εξής (ΚΑΠΕ 2006):

### Καταναλωτικά προϊόντα (1mW–100 Wp )

Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας ισχύος όπως τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, εξωτερικός φωτισμός κήπων, ψύξη και προϊόντα όπως μικροί φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φανοί κ.ά.

### Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100 Wp –200k Wp )

Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο<sup>20</sup>.

### Μεγάλα Διασυνδεδεμένα στο Δίκτυο Φ/Β Συστήματα

Η κατηγορία αυτή αφορά Φ/Β σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγέθους 50kWp έως μερικά MWp, στους οποίους η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

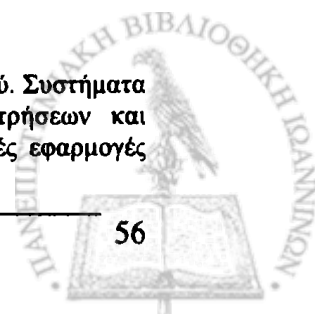
### Διασυνδεδεμένα Φ/Β Συστήματα – Οικιακός Τομέας

Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν Φ/Β συστήματα τυπικού μεγέθους 1,5kWp έως 20kW, τα οποία έχουν εγκατασταθεί σε στέγες ή προσόψεις κατοικιών και τροφοδοτούν άμεσα τις καταναλώσεις του κτιρίου, η δε πλεονάζουσα ενέργεια διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η κατηγορία αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς Φ/Β συστημάτων.

Τα οφέλη που προκύπτουν από την ενσωμάτωση Φ/Β σε κτίρια είναι (Σύνδεσμος Φωτοβολταϊκών Εταιρειών 2006):

- ❖ Συγχρονισμός ψυκτικών φορτίων κτιρίων κατά τη θερινή περίοδο με τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ από τα Φ/Β.
- ❖ Αποφυγή χρήσης γης για την εγκατάσταση.

<sup>20</sup> Ακόμη χρησιμοποιούνται για: Ηλεκτροδότηση Ιερών Μονών. Αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού. Συστήματα εξωτερικού φωτισμού δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων κλπ. Συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού. Συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας κλπ. Αγροτικές εφαρμογές όπως άντληση νερού, ιχθυοκαλλιέργειες, ψύξη αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κλπ.



- ❖ Αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και επιτόπου κατανάλωση της παραγόμενης ενέργειας.
- ❖ Επίσης, οι Φ/Β συστοιχίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά στοιχεία των κτιρίων, εφόσον γίνει σωστός σχεδιασμός. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η οικονομική απόδοση του συστήματος, λόγω αποφυγής κόστους συμβατικών οικοδομικών υλικών.

### **Χαρακτηριστικά Φ/Β Συστημάτων**

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων, που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές ΑΠΕ είναι (ΚΑΠΕ 2006):

- ❖ Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και mW.
- ❖ Είναι εύχρηστα. Τα μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
- ❖ Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις, ενσωματωμένα σε κτίρια και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
- ❖ Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- ❖ Είναι βαθμωτά συστήματα, δηλ. μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών, χωρίς μετατροπή του αρχικού συστήματος.
- ❖ Λειτουργούν αθόρυβα, εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- ❖ Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- ❖ Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία. Οι εγγυήσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές για τις Φ/Β γεννήτριες είναι περισσότερο από 25 χρόνια καλής λειτουργίας.



Η ενεργειακή ανεξαρτησία του χρήστη είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των Φ/Β συστημάτων<sup>21</sup>. Η διαφοροποίηση στην παραγωγή ενέργειας, που προσφέρεται από τα Φ/Β συστήματα, σε συνδυασμό με την κατά μεγάλο ποσοστό ανεξάρτηση από το πετρέλαιο και την αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης του περιβάλλοντος, μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες οικονομικής ανάπτυξης (Σύνδεσμος Φωτοβολταϊκών Εταιρειών 2006).



Εικόνα 13: Φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ενέργειας

### **Παράγοντες που συντελούν στην ανάπτυξη των Φ/Β στην Ελλάδα**

Η Ελλάδα παρουσιάζει αξιοσημείωτες προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων. Οι λόγοι για την προώθηση της Φ/Β τεχνολογίας, της έρευνας και των εφαρμογών στην Ελλάδα συνοψίζονται ως ακολούθως:

- ❖ Αξιοποίηση μιας εγχώριας και ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που είναι σε αφθονία, με συμβολή στην ασφάλεια παροχής ενέργειας.
- ❖ Υποστήριξη του τουριστικού τομέα για ανάπτυξη φιλική προς το περιβάλλον και οικολογικό τουρισμό, ιδιαίτερα στα νησιά<sup>22</sup>.

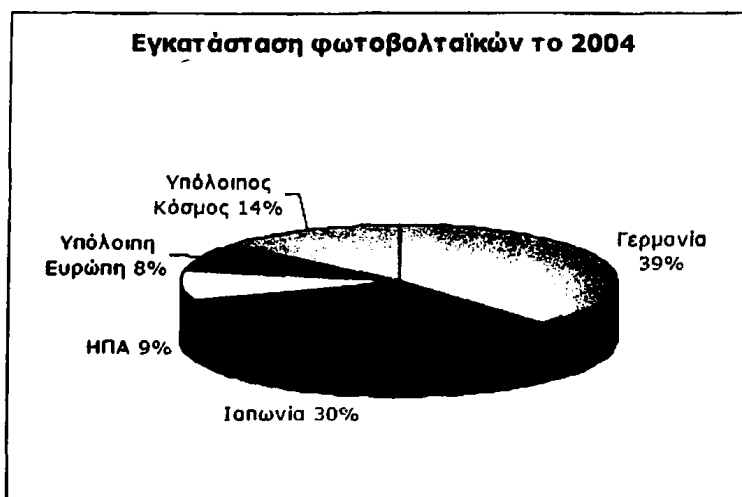
<sup>21</sup> Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα είναι σήμερα συγκρίσιμο με το κόστος αιχμής ισχύος, που χρεώνει η εταιρεία ηλεκτρισμού τους πελάτες της. Τα Φ/Β συστήματα μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη λεγόμενη «Διάσπαρτη Παραγωγή Ενέργειας» (Distributed Power Generation), η οποία αποτελεί το νέο μοντέλο ανάπτυξης σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

<sup>22</sup> Η ενεργειακή εξάρτηση των νησιωτικών σταθμών παραγωγής ενέργειας από το πετρέλαιο και το τεράστιο κόστος μεταφοράς της, έχουν άμεσο αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, στην τουριστική ανάπτυξη και στο κόστος παραγωγής ενέργειας, το οποίο τελικώς χρεώνεται η ΔΕΗ.

- ❖ Ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου τις ώρες των μεσημβρινών αιχμών, όπου τα Φ/Β παράγουν το μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο που παρατηρείται έλλειψη ή πολύ υψηλό κόστος ενέργειας.
- ❖ Μείωση των απωλειών του δικτύου, με την παραγωγή ενέργειας στον τόπο της κατανάλωσης, ελάφρυνση των γραμμών και χρονική μετάθεση των επενδύσεων στο δίκτυο.
- ❖ Περιορισμός του ρυθμού ανάπτυξης νέων κεντρικών σταθμών ισχύος συμβατικής τεχνολογίας. Συμβολή στη μείωση των διακοπών ηλεκτροδότησης λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου ΔΕΗ.
- ❖ Σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο και κάθε μορφής εισαγόμενη ενέργεια και εξασφάλιση της παροχής ενέργειας μέσω αποκεντρωμένης παραγωγής.
- ❖ Κοινωνική προσφορά του παραγωγού – καταναλωτή και συμβολή στην αειφόρο ανάπτυξη, την ποιότητα ζωής και προστασία του περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα και στην περιφέρεια.
- ❖ Ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων με σημαντική συμβολή σε αναπτυξιακούς και κοινωνικούς στόχους.
- ❖ Ανάπτυξη της Ελληνικής Βιομηχανίας Φ/Β Συστημάτων με άριστες προοπτικές για πλήρη κάλυψη της Ελληνικής αγοράς και εξαγωγικές δραστηριότητες. Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ανάπτυξη Ελληνικής τεχνογνωσίας.
- ❖ Προώθηση των στόχων της ΕΕ και του Kyoto σχετικά με τη μείωση των αερίων ρύπων και τη διεύθυνση των ΑΠΕ στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή, σε ποσοστό 20% έως το 2010.



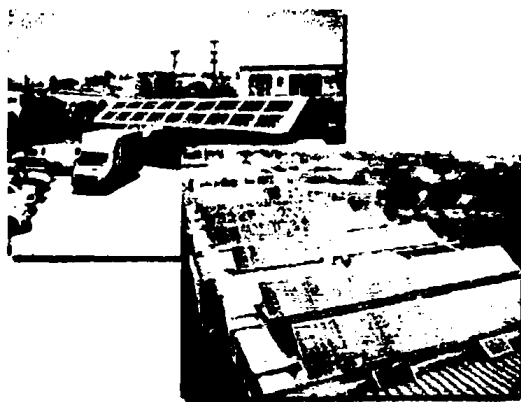
## Διεθνής Αγορά Φ/Β Συστημάτων



Πηγή: Marketbuzz 2005

Διάγραμμα 22: Εγκατάσταση νέων Φ/Β Συστημάτων το 2004 (% παγκόσμιας αγοράς)

Η αγορά των Φ/Β στην Ευρώπη είναι σημαντική κυρίως στις χώρες Γερμανία, Ολλανδία, Ισπανία και Ιταλία. Ιδιαίτερα στη Γερμανία, το αρχικό Εθνικό Πρόγραμμα των 1.000 Φ/Β Στεγών (1990) και μετέπειτα των 100.000 Φ/Β Στεγών (1999) σε συνδυασμό με επιδότηση της παραγόμενης ηλιακής kWh, δημιούργησαν ιδιαίτερη ανάπτυξη τόσο στις εφαρμογές όσο και στη βιομηχανία. Το συνολικό μέγεθος της Ευρωπαϊκής αγοράς στο τέλος του έτους 2003 ήταν περίπου 561MWp, από τα οποία το 71%, δηλαδή 398MWp, είχαν εγκατασταθεί στη Γερμανία.

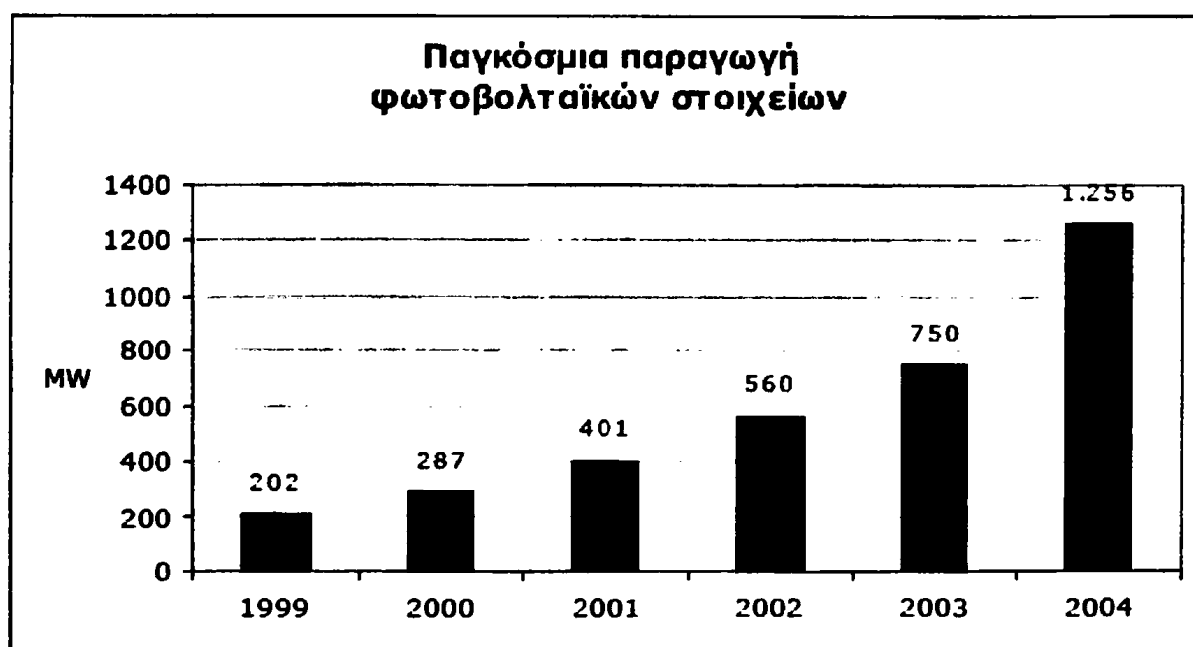


Εικόνα 14: Φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ενέργειας

Από την ανάλυση των παραπάνω μεγεθών της Ευρωπαϊκής αγοράς, προκύπτει ότι δημιουργήθηκαν 15.000 άμεσες θέσεις εργασίας (πολλές από τις οποίες είναι υψηλής τεχνολογίας

απασχόληση), ο ετήσιος κύκλος εργασιών ήταν €1 δις, τη διετία 2009–2010 καταγράφηκε αύξηση της αγοράς κατά 33% και έγιναν νέες επενδύσεις σε έρευνα και καινοτόμα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας. Σήμερα, η μεγαλύτερη αγορά Φ/Β στον κόσμο είναι αυτή της Ιαπωνίας<sup>23</sup> (Baker Institute Study 2000, 98).

Καθώς το κόστος των Φ/Β συστημάτων συνεχίζει να μειώνεται, όλο και περισσότερες Φ/Β εφαρμογές γίνονται οικονομικά ανταγωνιστικές, σε σύγκριση με παραγωγή ενέργειας από συμβατικές μορφές. Παράλληλα, η αυξανόμενη ευαισθησία της κοινής γνώμης, λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής και χρήσης ενέργειας, σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων, έχει σαν αποτέλεσμα αυτά να αποτελούν μια από τις περισσότερα υποσχόμενες ενεργειακές τεχνολογίες<sup>24</sup>.



Πηγή: Photon International

Διάγραμμα 23: Η διεθνής αγορά των Φ/Β Συστημάτων

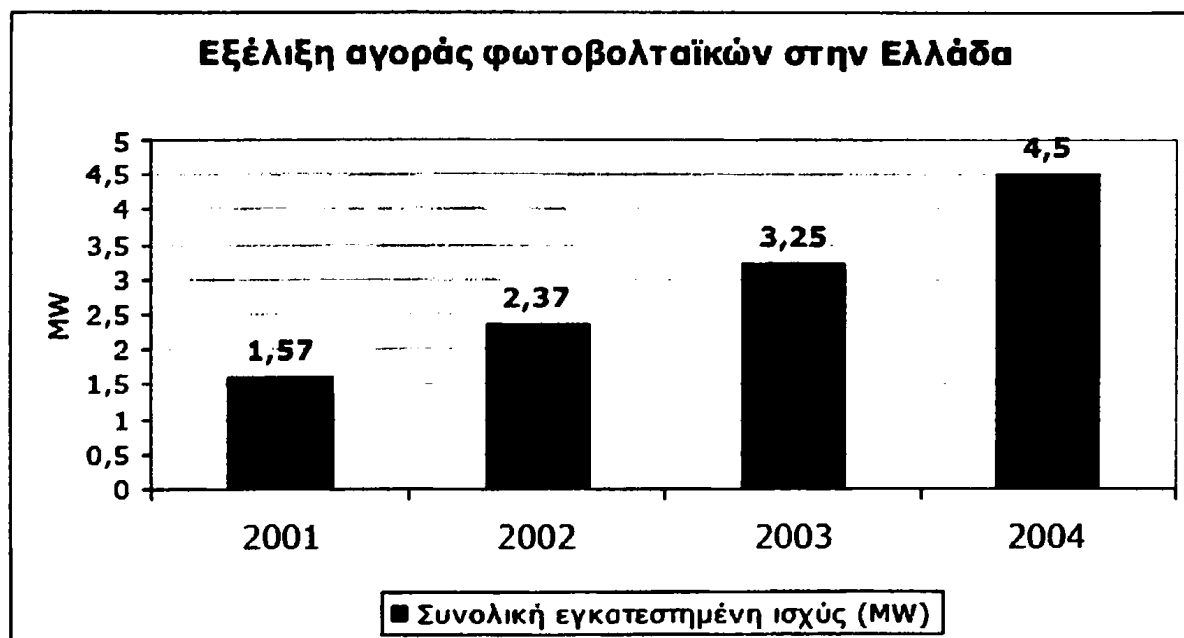
### **Εφαρμογές Φ/Β Συστημάτων στην Ελλάδα**

<sup>23</sup> Το έτος 2003, οι Ιαπωνικές εταιρείες Φ/Β γεννητριών παρήγαγαν περίπου 400MWp, από τα οποία τα 250MWp εγκαταστάθηκαν στη χώρα και τα υπόλοιπα εξήχθησαν, κυρίως στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ.

<sup>24</sup> Όπως έχει προκύψει από τη διεθνή εμπειρία, το μεγάλο μερίδιο της αγοράς των Φ/Β συστημάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες βρίσκεται σε αστικά κέντρα, σε εγκαταστάσεις όπως κτίρια, συμπλέγματα οικιών, δημόσια κτίρια, εξωτερικοί χώροι κλπ.

Οι κύριες εφαρμογές Φ/Β συστημάτων στον Ελλαδικό χώρο είναι οι εγκαταστάσεις της ΔΕΗ στα νησιά (Κύθνος, Αρκοί, Αντικύθηρα, Γαύδος, Σίφνος κλπ.), οι ηλεκτροδότηση του συνόλου του φαρικού δικτύου από την αντίστοιχη υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού, αναμεταδότες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, καθώς και διάφορες εγκαταστάσεις στα πλαίσια πιλοτικών εφαρμογών μέσω επιδοτούμενων έργων της ΕΕ, αλλά και του ΥΠΙΑΝ (Σύνδεσμος Φωτοβολταϊκών Εταιρειών 2006).

Η εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα εκτιμάται σε 2,8MWp στο τέλος του έτους 2010, το 50% των οποίων είναι Φ/Β εγκαταστάσεις διασυνδεδεμένες στο δίκτυο. Η ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β κατά το 2007 και 2008, ήταν 2,3GWh και 2,7 G Wh αντίστοιχα. Το εκτιμώμενο δυναμικό της βιομηχανίας Φ/Β στην Ελλάδα είναι 60–70 άτομα και ο ετήσιος κύκλος εργασιών είναι της τάξης των €3 εκατομμυρίων. Αντίστοιχα, ο ετήσιος εθνικός προϋπολογισμός για Ε&Α σε Φ/Β τεχνολογίες εκτιμάται σε €2,2 εκατομμύρια.



Διάγραμμα 24: Η αγορά των Φ/Β Συστημάτων στην Ελλάδα (Σύνδεσμος Φωτοβολταϊκών Εταιρειών 2006)

Η δυνητική αγορά των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα αλλά και η παραγωγική δραστηριότητα είναι αντίστοιχη της αγοράς των ηλιακών συλλεκτών ζεστού νερού. Η ανάπτυξη

της αγοράς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προώθηση βέλτιστων μέτρων και κινήτρων εκ μέρους της πολιτείας.

#### **4.4.5 Γεωθερμική Ενέργεια**

Όπως προκύπτει από τα ηφαίστεια, τις θερμές πηγές και από μετρήσεις σε γεωτρήσεις, το εσωτερικό της γης βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία, η οποία υπερβαίνει τους 5000 °C στον πυρήνα (AGORES 2006). Η θερμότητα αυτή που περιέχεται στο εσωτερικό της γης αποτελεί την γεωθερμική ενέργεια και είναι τόσο μεγάλη, ώστε μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανεξάντλητη μορφή ενέργειας για τα ανθρώπινα μέτρα.



**Εικόνα 15: Γεωθερμική ενέργεια**

Όσο προχωράμε βαθύτερα από την επιφάνεια της γης προς τον πυρήνα, παρατηρούμε αύξηση της θερμοκρασίας με το βάθος η οποία ονομάζεται γεωθερμική βαθμίδα. Κοντά στην επιφάνεια της γης η γεωθερμική βαθμίδα έχει μέση τιμή περίπου 30 °C/ k m. Σε μερικές περιοχές, είτε λόγω ηφαιστειότητας σε πρόσφατη γεωλογική περίοδο, είτε λόγω ανόδου ζεστού νερού από μεγάλα βάθη



μέσω ρηγμάτων, η γεωθερμική βαθμίδα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη μέση γήινη, με αποτέλεσμα σε μικρό σχετικά βάθος να απαντώνται υδροφόροι ορίζοντες που περιέχουν νερό ή ατμό υψηλής θερμοκρασίας. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται γεωθερμικά πεδία, και εκεί η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι εξαιρετικά συμφέρουσα (Renewable Energy World 2006).

Τέτοιες περιοχές στη χώρα μας είναι τα ηφαιστειακά νησιά του Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη, Λέσβος, Σαμοθράκη, κ.ά.), πολλές περιοχές στη Μακεδονία και τη Θράκη (Νιγρίτα, Σιδηρόκαστρο, Νέο Εράσμιο, Νέα Κεσσάνη, Τυχερό Έβρου κ.α.), καθώς και στη γειτονιά κάθε μιας από τις 56 θερμές πηγές που υπάρχουν στη χώρα μας.

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία και περιλαμβάνουν :

- ❖ ηλεκτροπαραγωγή ( $\theta > 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),
- ❖ θέρμανση χώρων (με καλοριφέρ για  $\theta > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , με αερόθερμα για  $\theta > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , με ενδοδαπέδιο σύστημα ( $\theta > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),
- ❖ ψύξη και κλιματισμό (με αντλίες θερμότητας απορρόφησης για  $\theta > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ή με υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας για  $\theta < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- ❖ θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών επειδή τα φυτά αναπτύσσονται γρηγορότερα και γίνονται μεγαλύτερα με τη θερμότητα ( $\theta > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ή και για αντιπαγετική προστασία
- ❖ Ιχθυοκαλλιέργειες ( $\theta > 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) επειδή τα ψάρια χρειάζονται ορισμένη θερμοκρασία για την ανάπτυξή τους
- ❖ βιομηχανικές εφαρμογές όπως αφαλάτωση θαλασσινού νερού ( $\theta > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ξήρανση αγροτικών προϊόντων, κλπ
- ❖ θερμά λουτρά για  $\theta = 25\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Εκτός από τα γεωθερμικά πεδία, η σημερινή τεχνολογία επιτρέπει την εκμετάλλευση της θερμότητας πετρωμάτων μικρού βάθους, καθώς και υπόγειων ή και επιφανειακών υδάτων χαμηλής θερμοκρασίας για θέρμανση και κλιματισμό (Renewable Energy Access 2006). Η τεχνολογία αυτή



περιλαμβάνει σωλήνα μεγάλου μήκους και μικρής διαμέτρου τοποθετημένης εντός του εδάφους, είτε εντός γεωτρήσεων και η οποία αποτελεί τον υπόγειο εναλλάκτη θερμότητας, σε συνδυασμό με υδρόψυκτη αντλία θερμότητας η οποία παρέχει θέρμανση ή ψύξη στο κτήριο<sup>25</sup>. Εάν υπολογιστεί το κόστος ενέργειας καθόλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας στοιχίζουν λιγότερο από ένα σύστημα που καταναλώνει πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.

Μελλοντικά, η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας θα γίνεται από θερμά ξηρά τετρώματα, τα οποία βρίσκονται παντού σε βάθη από 3-5 km, μέσω τεχνητής κυκλοφορίας νερού θερμοκρασίας έως 150 °C.

#### **1.4.6 Υδρογόνο**

Το υδρογόνο αποτελεί το 90% του σύμπαντος και είναι το ελαφρύτερο αέριο στην φύση. Στη Γη βρίσκεται κυρίως σε ενώσεις όπως το νερό, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο κ.α. Εκτιμάται ότι το υδρογόνο θα αποτελέσει ένα νέο καύσιμο που θα χρησιμοποιούμε στο μέλλον, τόσο στα σπίτια όσο και στα αυτοκίνητα μας (ΚΑΠΕ 2006). Έχει το πλεονέκτημα όταν «καίγεται» να μην ρυπαίνει την ατμόσφαιρα, αφού παράγει μόνο θερμότητα και νερό.

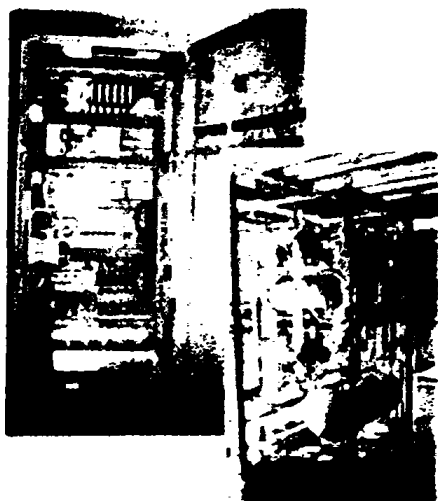
Το υδρογόνο στο μέλλον θα παράγεται σε μεγάλο ποσοστό από την ηλεκτρόλυση του νερού, δηλ. μια διαδικασία κατά την οποία το νερό διασπάται με χρήση ηλεκτρικού ρεύματος σε υδρογόνο και οξυγόνο. Επομένως, αφού θα παράγεται από το νερό και η χρήση του θα εκλύει νερό, το υδρογόνο θεωρείται πρακτικά ανεξάντλητο (Youngquist W. & Duncan R.C. 2003, 298).

Ο ηλεκτρισμός που απαιτείται για την παραγωγή υδρογόνου από νερό ιδανικά μπορεί να προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (κυρίως άνεμο και ήλιο), ώστε να είναι απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον.

---

<sup>25</sup> Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας καταναλώνουν το 1/4 του ηλεκτρικού ρεύματος από μια ηλεκτρική αντίσταση και το 1/2 από ένα κλιματιστικό.





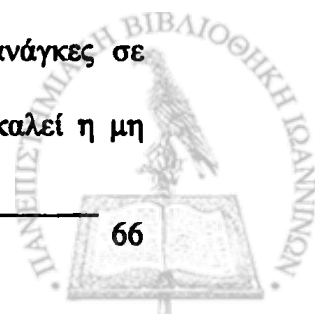
**Εικόνα 16: Μονάδες παραγωγής υδρογόνου από την ηλεκτρόλυση του νερού**

Συγκεκριμένα, το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγει μια ανεμογεννήτρια ή ένα φωτοβολταϊκό θα τροφοδοτεί μία συσκευή ηλεκτρόλυσης που διασπά το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο. Στη συνέχεια το υδρογόνο θα αποθηκεύεται σε κατάλληλες δεξαμενές για να χρησιμοποιηθεί όποτε προκύψει ανάγκη (Beyond Peak 2009).

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατάλληλα τροποποιημένους καυστήρες, λέβητες και κινητήρες εσωτερικής καύσης. Ιδανική ενεργειακή του εφαρμογή είναι όμως οι κυψέλες καυσίμου που αποτελούν μια νέα τεχνολογία που επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρισμού από την ένωση υδρογόνου και οξυγόνου που υπάρχει στον αέρα (Post – Carbon Institute 2006). Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα σπίτια για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, αλλά και στην κίνηση των αυτοκινήτων. Θα χρειαστεί όμως να περάσουν κάποια χρόνια για να βελτιωθεί η απόδοσή τους και να πέσει το κόστος τους.

## **4.5 Πυρηνική Ενέργεια**

Οι πρόσφατες κρίσεις στα φυσικά καύσιμα στρέφουν την Ε.Ε. και τις ΗΠΑ στην κατασκευή ατομικών εργοστασίων παραγωγής ρεύματος. Με άξονα τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες σε καύσιμα, ειδικά στον αναπτυσσόμενο κόσμο, και την παγκόσμια ανησυχία που προκαλεί η μη

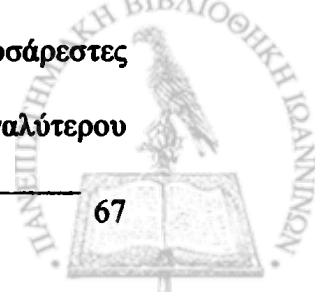


αναστροφή του φαινομένου του θερμοκηπίου, η ερώτηση για το εάν ο πλανήτης χρειάζεται την πυρηνική ενέργεια επανέρχεται με νέα ορμή σε Ευρώπη και Ηνωμένες Πολιτείες, μετά και τις τελευταίες ενεργειακές κρίσεις (Oil Crash 2009).

Το αίτημα, όπως όλα δείχνουν, είναι σαφές: χρειάζεται να γίνουν μεγάλες επενδύσεις για την κατασκευή νέων πυρηνικών εργοστασίων. Υπό το πρίσμα αυτών των εξελίξεων, αρκετές ευρωπαϊκές χώρες όπως η Φινλανδία, η Βρετανία, η Βουλγαρία, η Τσεχία, η Ελβετία, η Ουγγαρία και η Σλοβακία, εκδηλώνουν ανανεωμένο ενδιαφέρον για την κατασκευή πυρηνικών εργοστασίων, ενώ πριν από λίγες ημέρες η Τουρκία ανακοίνωσε και επισήμως την κατασκευή πυρηνικού εργοστασίου στη Σινώπη. Ελληνικό ενδιαφέρον επί του παρόντος δεν προκύπτει, ωστόσο ουδείς μπορεί να προβλέψει μετά βεβαιότητας τι πρόκειται να συμβεί στο μέλλον και στην περίπτωση που γενικότερα στον ευρωπαϊκό χώρο σημειωθεί θεαματική μεταστροφή υπέρ της χρήσης πυρηνικής ενέργειας (ΥΠ.ΑΝ 2006).

Αυστρία, Ουγγαρία, Ιταλία, Πολωνία και Γαλλία είδαν πρόσφατα την παροχή φυσικού αερίου να διαταράσσεται στη διάρκεια της ρωσο-ουκρανικής κρίσης. Η τάση για μια πυρηνική επιστροφή ολοκληρώνεται με τους περισσότερους υπουργούς Ενέργειας της Ε.Ε να σιγοψιθυρίζουν την ανάγκη διαφοροποίησης των προμηθευτών καθώς και των πηγών ενέργειας. Σήμερα, παγκοσμίως, λειτουργούν 441 πυρηνικοί σταθμοί που καλύπτουν το 16% της συνολικής ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια, σύμφωνα με στοιχεία της Διεθνούς Υπηρεσίας Ατομικής Ενέργειας (IAEA 2006). Η Γαλλία βρίσκεται στην κορυφή του καταλόγου των πλέον εξαρτημένων, από τη συγκεκριμένη ενέργεια, χωρών, με ποσοστό 78%, και ακολουθούν η Λιθουανία (72%), το Βέλγιο (55%), η Σλοβακία (55%), η Σουηδία (52%), η Ουκρανία (51%), η Βουλγαρία (42%), η Ελβετία (40%) και η Ουγγαρία (34%).

Η ατομική ενέργεια κατά συνέπεια είναι δυναμικά παρούσα στην παγκόσμια αγορά, και στην Ευρώπη ειδικότερα, όπου αριθμεί ήδη 135 πυρηνικούς αντιδραστήρες σε λειτουργία. Αναμένεται να ισχυροποιηθεί περαιτέρω μετά την απόφαση της Φινλανδίας -χώρα με πολύ δυσάρεστες αναμνήσεις από τον εφιάλτη του Τσερνομπίλ- να προχωρήσει στην κατασκευή του μεγαλύτερου



πυρηνικού αντιδραστήρα στον πλανήτη, γεγονός που από πολλούς χαρακτηρίζεται ως «θρίαμβος της πυρηνικής βιομηχανίας» (Beyond Peak 2006). Ο αντιδραστήρας είναι ο πρώτος που κατασκευάζεται στη Δυτική Ευρώπη έπειτα από 15 χρόνια, θα έχει ισχύ 1.600 μεγαβάτ, βρίσκεται στο Ολκιλούτο, ένα μικρό νησί της φινλανδικής νοτιοδυτικής ακτής και αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία το 2009.

Η απόφαση της Φινλανδίας να εναγκαλιστεί την πυρηνική ενέργεια φαίνεται πως ανοίγει τον δρόμο σε ανάλογες επιλογές, καθώς έρχεται σε μια χρονική στιγμή κατά την οποία οι τιμές του φυσικού αερίου και των καυσίμων συνεχίζουν την ανοδική τους πορεία προκαλώντας πονοκεφάλους στις διεθνείς οικονομίες (Peak Oil Organization 2006).

Σήμερα, πέραν των όποιων πολιτικών επιλογών, οι οποίες γίνονται πρωτίστως με οικονομικά κριτήρια, αρκετοί επιστήμονες και περιβαλλοντολόγοι τάσσονται ανοιχτά υπέρ της χρήσης ατομικής ενέργειας, θεωρώντας ότι θα μπορούσε να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο στην καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Από την άλλη πλευρά, η εισαγωγή της συγκεκριμένης μορφής ενέργειας εξακολουθεί να συναντά τις επιφυλάξεις του μεγαλύτερου μέρους της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας καθώς και σθεναρές κοινωνικές αντιδράσεις, ενώ τα ερωτήματα παραμένουν. Μπορεί η πυρηνική ενέργεια να αποτελέσει τη λύση των ενεργειακών και περιβαλλοντικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο σύγχρονος κόσμος; Ή συνιστά μια τεχνολογία ολέθρου;



**Πλεονεκτήματα της πυρηνικής ενέργειας:**

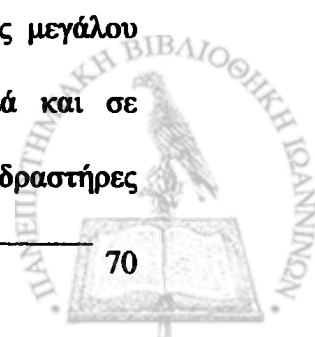
1. **Αμελητέα ρύπανση:** Κατά τη λειτουργία μιας μονάδας πυρηνικής ενέργειας δεν εκλύονται αέριοι ρύποι στην ατμόσφαιρα, όπως συμβαίνει κατά την παραγωγή συμβατικών μορφών ενέργειας και γενικότερα, η ρύπανση του περιβάλλοντος σε περίπτωση ομαλής λειτουργίας είναι αμελητέα έως μη μετρήσιμη.
2. **Ενεργειακή ανεξαρτησία:** Το κόστος παραγωγής, ανεξάρτητα εάν είναι υψηλότερο ή χαμηλότερο από άλλες μορφές ενέργειας, είναι προβλέψιμο για μεγάλο χρονικό ορίζοντα, κάτι το οποίο θεωρείται πολύ σημαντικό για κάθε χώρα που επιλέγει να κάνει μια τέτοιου είδους επένδυση. Σε βάθος χρόνου, η χώρα που θα επιλέξει την πυρηνική ενέργεια θα καταστεί ανεξάρτητη από τις ενεργειακές κρίσεις που κατά καιρούς παρουσιάζονται διεθνώς.
3. **Επάρκεια:** Η κατασκευή πυρηνικών μονάδων αφ' ενός μειώνει την εξάρτηση από συμβατικές μορφές ενέργειας αφ' ετέρου αποδεσμεύει από προβλήματα σχετικά με τα φυσικά αποθέματα, όπως συμβαίνει με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.
4. **Καθαρή μεταβατική λύση:** Η χρήση πυρηνικής ενέργειας μπορεί να συνδεθεί με την τεχνολογία της σύντηξης, η εφαρμογή της οποίας βέβαια είναι ακόμη πολύ μακρινή, ίσως χρειαστεί να περάσουν έως και πενήντα χρόνια μέχρι να γίνει πραγματικότητα. Στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί, η πυρηνική ενέργεια θα μπορούσε να αποτελέσει μια καθαρή μεταβατική λύση.

**Μειονεκτήματα της πυρηνικής ενέργειας :**

1. **Παλιά τεχνολογία:** Οι σημερινοί αντιδραστήρες θεωρούνται γερασμένοι και σε περίπου δέκα χρόνια ένας μεγάλος αριθμός εξ αυτών θα πρέπει να διαλυθεί και να αποθηκευτεί μαζί με τα ήδη συγκεντρωμένα απόβλητα. Τα πυρηνικά εργοστάσια ό,τι είχαν να προσφέρουν, το πρόσφεραν. Κατά συνέπεια, θα ήταν επικίνδυνο για το περιβάλλον και τον άνθρωπο, και εξαιρετικά δαπανηρό για τις οικονομίες η κατασκευή νέων μονάδων.



2. **Πυρηνικά απόβλητα:** Θεωρείται το μείζον πρόβλημα καθώς σειρά κινδύνων απειλούν κάθε στιγμή κοινωνίες και περιβάλλον. Μπορούν να προκληθούν διαρροές όπως αυτή του Κοσλοντούι έως πυρηνικές εκρήξεις μεγάλης ισχύος με ανυπολόγιστες καταστροφές, υπό ορισμένες συνθήκες. Επίσης, μεγάλοι κίνδυνοι προκύπτουν και κατά τη μεταφορά προς τους σταθμούς αποθήκευσης.
3. **Στρατιωτική χρήση:** Δεν πρέπει να διαφεύγει ότι η πυρηνική ενέργεια συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη όπλων, που σημαίνει ότι οι χώρες που διαθέτουν αντιδραστήρες μπορούν κάλλιστα να αποκτήσουν πυρηνικό οπλοστάσιο με ό,τι αυτό συνεπάγεται για τη διεθνή ειρήνη.
4. **Ατυχήματα:** Δεν πρέπει να συγκρίνουμε τα συμβατικά ατυχήματα με τα πυρηνικά. Οι συνέπειες ενός συμβατικού ατυχήματος μπορούν εύκολα να εκτιμηθούν, ενός πυρηνικού όμως... Στο Τσερνομπίλ, για παράδειγμα, η γη ερήμωσε και οι άνθρωποι ασθενούσαν και έχαναν τη ζωή τους πολλά χρόνια μετά το συμβάν. Οι πυρηνικές εγκαταστάσεις έχουν να επιδείξουν ένα σημαντικό ιστορικό ατυχημάτων.
5. **Στόχοι τρομοκρατών:** Τι θα γινόταν σε περίπτωση τρομοκρατικής επίθεσης σε πυρηνικό εργοστάσιο; Ενδεχόμενο εξαιρετικά πιθανό, με τις διαστάσεις που έχει λάβει η διεθνής τρομοκρατία μετά και τα χτυπήματα σε Νέα Υόρκη, Μαδρίτη και Λονδίνο. Μονάδες επεξεργασίας που συγκεντρώνουν από διάφορους σταθμούς τα πυρηνικά απόβλητα σε Αγγλία και Γαλλία, αποτελούν στόχους επίθεσης. Επίσης, στις ΗΠΑ, φοβούνται ιδιαίτερα το ενδεχόμενο τρομοκρατικές ομάδες να αποκτήσουν ραδιενεργά στοιχεία σε υγρή μορφή, για να τα χρησιμοποιήσουν στη συνέχεια σε επιθέσεις κατά πολυσύχναστων δημόσιων χώρων.
6. **Ασφάλεια:** Το βασικό μειονέκτημα της χρήσης σχετίζεται με την ασφάλεια καθώς τεχνικά δεν υπάρχει ακόμη η δυνατότητα να αποκλειστεί πλήρως το ενδεχόμενο ενός μεγάλου ατυχήματος, που μπορεί να οφείλεται στη λειτουργία μιας μονάδος αλλά και σε τρομοκρατική επίθεση. Η ασφάλεια αποτελεί το ζητούμενο για τους αντιδραστήρες



τέταρτης γενιάς. Τέτοιοι αντιδραστήρες, όμως, βρίσκονται ακόμη στο στάδιο του σχεδιασμού.

7. **Διαχείριση αποβλήτων:** Η διαχείριση των αποβλήτων αποτελεί μειονέκτημα, όμως έχει διογκωθεί και δεν ανταποκρίνεται στις πραγματικές του διαστάσεις. Ήδη, οι ποσότητες πυρηνικών αποβλήτων φυλάσσονται επαρκώς και επιπλέον, η εξέλιξη των τεχνολογιών ενδέχεται στο μέλλον να μας οδηγήσει σε οριστική λύση του προβλήματος. Το σενάριο π.χ. που εξετάζεται, για την αποστολή τους στον ήλιο (Peak Oil Action 2006). Αν μειωθεί η πιθανότητα αστοχίας αυτών των διαστημικών αποστολών τότε ίσως βρεθεί η οριστική λύση στο πρόβλημα.

#### **4.6 Συγκριτική οικονομική ανάλυση των πηγών ενέργειας**

Η μελέτη EXTERNE (2001), η οποία εκπονήθηκε επί μία 10ετία από ερευνητές από όλα τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και από τις ΗΠΑ, υπολόγισε ποσοτικά το εξωτερικό κόστος των διαφόρων χρησιμοποιούμενων μορφών ενέργειας, για κάθε κράτος-μέλος χωριστά. Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, το εξωτερικό κόστος των διαφόρων μορφών ενέργειας που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα, ως συνολικό αποτέλεσμα των ποσοτικοποιημένων μόνο εξωτερικών τους επιπτώσεων έχει ως εξής:

- ❖ Λιγνίτης 50-80 ευρώ/1.000 KWh.
- ❖ Πετρέλαιο 30-50 ευρώ/1.000 KWh.
- ❖ Φυσικό αέριο 10 ευρώ/1.000 KWh.
- ❖ ΑΠΕ 2,5 ευρώ/1.000 KWh.

Είναι φανερό, καταλήγει η σχετική μελέτη, ότι εάν οι παραπάνω τιμές ενσωματωθούν, όπως είναι εύλογο, στο κόστος των διαφόρων ενεργειακών μορφών που χρησιμοποιούνται σήμερα στη χώρα μας, τότε η ανταγωνιστική τους θέση ανατρέπεται πλήρως υπέρ των ΑΠΕ.



Υπέρ της ανταγωνιστικότητας των ΑΠΕ έναντι των υπολοίπων συμβατικών μορφών ενέργειας συνηγορεί μελέτη του Ελληνικού Συνδέσμου Ηλεκτροπαραγωγών από ΑΠΕ (Ελληνικός Σύνδεσμος Ηλεκτροπαραγωγών από ΑΠΕ 2006). Η μελέτη αξιολογεί και ποσοτικοποιεί και το εξωτερικό κόστος των διαφόρων μορφών ενέργειας που χρησιμοποιούνται στη χώρα μας και σύμφωνα με τα συμπεράσματά της, για κάθε 1.000 πρόσθετες KWh που παράγονται από ΑΠΕ, αντί από συμβατικά καύσιμα, υπάρχει όφελος ένα ευρώ μόνον από τη μείωση των εθνικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

**Πίνακας 2: Εργατοέτη ανά τεχνολογία**

| Εργατοέτη                                     | ανά<br>MWp          | ανά<br>GWh           | ανά<br>εκατ. €     |
|-----------------------------------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| Φωτοβολταϊκά                                  | 50                  | 1,5                  | 6,5<br>(5,5-10,8)  |
| Αιολικά                                       | 17,7<br>(6,3-24,5)  | 0,3<br>(0,08-1,07)   | 17,7               |
| Βιομάζα                                       | 47,7<br>(16,5-60,5) | 0,2<br>(0,1-0,3)     | 29,8               |
| Γεωθερμία                                     | 56,2                | 0,2                  | 27<br>(17,5-48,9)  |
| Ηλιοθερμικά                                   | 28<br>(15,7-40,7)   | 0,5<br>(0,3-0,7)     | 11,2<br>(5,2-20,3) |
| Υδροηλεκτρικά                                 | 24<br>(9-38,6)      | 0,55<br>(0,2-0,9)    | 11<br>(4,1-17,5)   |
| Άνθρακας (παραγωγή)                           | 10<br>(7,7-25,6)    | 0,04                 | 6,7<br>(3,9-25,6)  |
| Άνθρακας (παραγωγή & ορυχεία)                 | 20<br>(18,5-32)     | 0,08<br>(0,07-0,11)  | -                  |
| Πετρέλαιο (παραγωγή)                          | 8<br>(7,8-26)       | 0,06<br>(0,025-0,18) | 6,5<br>(5,8-23,6)  |
| Φυσικό αέριο (παραγωγή)                       | 4<br>(3-12,5)       | 0,025<br>(0,01-0,04) | 8<br>(6-25)        |
| Φυσικό αέριο (παραγωγή & τροφοδοσία καυσίμου) | 20                  | 0,11                 | -                  |

Πηγή: Σύνδεσμος Φωτοβολταϊκών Εταιρειών

Ενδιαφέρον όμως παρουσιάζει η συμβολή των ΑΠΕ στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Όπως φαίνεται από τους Πίνακες 2 – 3, η γεωθερμία, τα φωτοβολταϊκά και η βιομάζα δημιουργούν τα περισσότερα εργατοέτη ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, ενώ όταν το κριτήριο είναι η παραγόμενη ενέργεια, τα φωτοβολταϊκά είναι μακράν η καλύτερη επιλογή, με τα υδροηλεκτρικά και τα ηλιοθερμικά να ακολουθούν. Σε ότι αφορά τα εργατοέτη ανά επενδυμένο κεφάλαιο, η γεωθερμία, η βιομάζα και τα αιολικά αποδεικνύονται οι καλύτερες επιλογές, αν και η κατάσταση

θα βελτιωθεί περαιτέρω υπέρ όλων των μορφών ΑΠΕ, καθώς το κόστος των τεχνολογιών αυτών πέφτει διαρκώς.

**Πίνακας 3: Εργατοέτη ανά τεχνολογία συγκριτικά με το φυσικό αέριο**

| Εργατοέτη σε σχέση με φυσικό αέριο (αέριο = 1) | ανά μονάδα ισχύος | ανά μονάδα ενέργειας |
|------------------------------------------------|-------------------|----------------------|
| Φωτοβολταϊκά                                   | 2,5               | 13,6                 |
| Αιολικά                                        | 0,9               | 2,7                  |
| Βιομάζα                                        | 2,4               | 1,8                  |
| Γεωθερμία                                      | 2,8               | 1,8                  |
| Ηλιοθερμικά                                    | 1,4               | 4,5                  |
| Υδροηλεκτρικά                                  | 1,2               | 5                    |
| Άνθρακας (παραγωγή)                            | 0,5               | 0,4                  |
| Άνθρακας (παραγωγή & ορυχεία)                  | 1                 | 0,7                  |
| Πετρέλαιο (παραγωγή)                           | 0,4               | 0,55                 |
| Φυσικό αέριο (παραγωγή)                        | 0,2               | 0,2                  |
| Φυσικό αέριο (παραγωγή & τροφοδοσία καυσίμου)  | 1                 | 1                    |

Πηγή: Σύνδεσμος Φωτοβολταϊκών Εταιρειών

## **4.7 Η στρατηγική των πετρελαϊκών εταιριών στη μετα-πετρελαϊκή εποχή.**

Τα εναλλακτικά καύσιμα είναι πλέον ο στόχος για τις μεγάλες πετρελαϊκές εταιρείες, μάλιστα σε περίοδο ταχύρρυθμης ανάπτυξης βρίσκονται τα βιοκαύσιμα. Τα δύο αρχικά γράμματα από τα οποία πήρε το όνομά της η εταιρεία BP, μέχρι σήμερα γνωστή ως British Petroleum, αποδίδονται πλέον ως Beyond Petroleum, δηλαδή πέρα από το πετρέλαιο.

### **4.7.1 Case study: Shell**

Στο site της Shell υπάρχει η στρατηγική της εταιρίας: «Τα παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου και αερίου που διαθέτουμε και επιπλέον αυτά που είναι ανεκμετάλλευτα αλλά επιβεβαιωμένα, αρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες μας, με τους σημερινούς αλλά και τους προβλεπόμενους ρυθμούς κατανάλωσης για τα επόμενα 30 με 40 χρόνια. Σήμερα καταναλώνουμε περίπου 82,0 εκατ. βαρέλια την ημέρα, αλλά το 2030 εκτιμούμε ότι θα καταναλώνουμε 60% περισσότερη

ενέργεια. Η αδυναμία όμως, σε παγκόσμιο επίπεδο, να αναπτύξουμε σε μεγάλη κλίμακα εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως λ.χ. μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα, πυρηνική ενέργεια, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους και των αντιδράσεων της κοινής γνώμης αλλά και των περιβαλλοντικών περιορισμών που ισχύουν πλέον στην περίπτωση καύσης άνθρακα, σημαίνει ότι για αρκετά χρόνια ακόμη θα εξακολουθούμε να εξαρτώμεθα από τους υδρογονάνθρακες. Ένα καλό παράδειγμα είναι η χρήση φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρισμού από οικονομικά ανταγωνιστικούς σταθμούς συνδυασμένου κύκλου» (Shell 2006).

Η Shell, όπως και άλλες μεγάλες διεθνείς εταιρείες πετρελαίου, επενδύουν σε συνεχή βάση στην έρευνα και στην ανάπτυξη νέων κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου σε διάφορα μέρη του πλανήτη καθώς και σε νέες τεχνολογίες και εναλλακτικά καύσιμα (π.χ. υδρογόνο, βιοκαύσιμα). Με ένα κύκλο εργασιών που είναι διπλάσιος του ελληνικού ΑΕΠ και με 23 δισ. δολάρια καθαρά κέρδη το 2009 η εταιρεία επένδυσε σε ερευνητικές δραστηριότητες 17,4 εκατ. δολάρια, ενώ το 2010 επενδύθηκαν επιπλέον 19,0 εκατ. δολάρια. Η συνολική παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου της Shell το 2010 έφθασε τα 4 εκατ. βαρέλια (που αντιστοιχεί στο 3,5% της παγκόσμιας παραγωγής)

Με δεδομένο ότι οι περιοχές στον πλανήτη όπου υπάρχουν οικονομικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα είναι περιορισμένες (π.χ. ΝΑ Ασία, Κασπία, Δυτική Αφρική) και γίνονται όλο και λιγότερες, αφού μεγάλα τμήματά τους, κυρίως στη Μέση Ανατολή, δεν είναι ελεύθερα προσβάσιμα λόγω της αποκλειστικής εκμετάλλευσής τους από τις εθνικές εταιρείες, η εξεύρεση νέων μεγάλων αποδοτικών κοιτασμάτων γίνεται ολοένα και πιο δύσκολη. Γι' αυτό η Shell, ως εταιρία της οποίας πρωταρχικός στόχος είναι η χωρίς προβλήματα ή διακοπές στην τροφοδοσία, εξυπηρέτηση των πελατών της, έχει επεξεργασθεί μια μακροχρόνια στρατηγική ενεργειακής ασφάλειας, η οποία βασίζεται στη συνεχή βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και στη μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων (Shell 2006).

Πράγματι η στρατηγική αυτή της Shell βασίζεται στους εξής πέντε πυλώνες:



1. Στην εξοικονόμηση ενέργειας με ευρύτερη χρήση ντιζελοκίνητων ή υβριδικών αυτοκινήτων (δηλ. βενζίνη - ηλεκτρικό) που είναι κατά 30% πιο οικονομικά.
2. Στην αύξηση της παραγωγής υδρογονανθράκων όχι μόνο από κοιτάσματα που ελέγχει η ίδια η Shell, αλλά μέσω συνεργασιών με άλλες εταιρείες κυρίως από χώρες του ΟΠΕΚ και τη Ρωσία με την προσφορά τεχνολογίας και επενδύσεων.
3. Στην ανάπτυξη και συντήρηση μεγάλης γκάμας πηγών πετρελαίου και φυσικού αερίου που περιλαμβάνουν την εκμετάλλευση νέων πεδίων «μη συμβατικών» καυσίμων (π.χ. Oil Sands στον Καναδά), την παράταση της ζωής παλαιών κοιτασμάτων (π.χ. Βόρεια Θάλασσα), την παραγωγή πετρελαίου από πολύ βαθιά κοιτάσματα καθώς και την αύξηση της παραγωγής Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG).
4. Στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων με την εισαγωγή πλέον καθαρών καυσίμων όπως λ.χ. του LNG ή του GTL (Gas to Liquids), η παραγωγή των οποίων εκτιμάται ότι μέχρι το 2010 θα αντιστοιχεί στη μισή συνολική παραγωγή της Shell. Όπως επίσης με τη χρησιμοποίηση μεθόδων «αεριοποίησης άνθρακα» που έχει αναπτύξει η Shell, για την παραγωγή ηλεκτρισμού με 20% μείωση του CO<sub>2</sub> και 85% μείωση λοιπών αερίων.
5. Στην εμπορευματοποίηση εναλλακτικών καυσίμων με την ανάπτυξη σε πραγματικά μεγάλη κλίμακα των ΑΠΕ (ηλιακή και αιολική ενέργεια, βιομάζα) αλλά και του υδρογόνου.

Όσον αφορά το τελευταίο, η Shell δίνει ιδιαίτερη προσοχή λόγω των διαφορετικών τεχνολογιών που απαιτούνται και οι οποίες χρειάζονται χρόνο για να ωριμάσουν. Αυτό έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην περίπτωση των βιοκαυσίμων, τα οποία έχουν ήδη εισέλθει σε περίοδο ταχύρυθμης ανάπτυξης, αφού αρκετές χώρες, έχουν υιοθετήσει πολιτικές ενίσχυσης τόσο στον τομέα μεταποίησης και διάθεσης αλλά και παραγωγής, στο πλαίσιο διαφοροποίησης της αγροτικής παραγωγής με την εισαγωγή ενεργειακών καλλιεργειών. Με ένα χρονικό ορίζοντα 10 - 15 ετών η Shell φιλοδοξεί να παράγει γύρω στο 15% των υγρών καυσίμων της από βιοκαύσιμα.



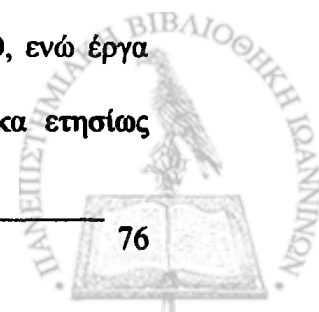
Αυτά αφορούν κυρίως βιοαιθανόλη που παράγεται από καλαμπόκι και ζαχαροκάλαμο, οικολογικό ντίζελ, δηλ. βιοντίζελ με βάση τα βίο - λύματα, πολύ καθαρό συμβατικό ντίζελ (από GTL) που παράγει ήδη η Shell στη Μαλαισία, και πολύ σύντομα στο Qatar. Ταυτόχρονα εξετάζονται οι δυνατότητες παραγωγής πετρελαίου από κάρβουνο και η παραγωγή υδρογόνου με τεχνολογία fuel cells. «Επειδή πολλές από τις τεχνολογίες στις οποίες επενδύουμε ευρίσκονται ακόμη σε εξέλιξη και δεν γνωρίζουμε ποια τελικά θα επικρατήσει, η Shell επενδύει σε διαφορετικές μεθόδους και προωθεί ποικιλία προϊόντων, έτσι ώστε να μπορέσουμε με την πάροδο του χρόνου να υιοθετήσουμε τις πιο κατάλληλες και οικονομικά αποδοτικές τεχνολογίες», επισημαίνει ο μάνατζερ της εταιρίας κ. Routs (Shell 2006).

Στον τομέα του υδρογόνου η Shell δραστηριοποιείται από το 1997 και ήδη λειτουργεί σειρά πρατηρίων, κυρίως στην περιοχή της WashingtonDC, στις ΗΠΑ. Στα άμεσα σχέδιά της είναι η ανάπτυξη περιφερειακών δικτύων αποθήκευσης, διακίνησης και εμπορίας υδρογόνου σε συνεργασία με άλλες εταιρείες. Το θέμα της ασφάλειας αποθήκευσης και μεταφοράς είναι ιδιαίτερα σημαντικό, γι' αυτό και προβλέπουν μια μάλλον αργή διείσδυση στις αγορές, η οποία προβλέπεται για την περίοδο 2010 – 2015

#### **4.7.2 Case study: Statoil**

Ένα βήμα πιο κοντά στην αύξηση της πετρελαϊκής παραγωγής τους, το οποίο όμως φιλοδοξούν ότι θα συμβάλει και στον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου, σχεδιάζουν οι ενεργειακοί κολοσσοί Statoil και Royal Dutch Shell. Πρόκειται για το παγκοσμίως μεγαλύτερο έργο ταφής βιομηχανικών αερίων κάτω από τον βυθό της θάλασσας, έξω από τη Νορβηγία.

Πρόκειται για παγκόσμια πρωτοτυπία, αφού το έργο αυτό -το ύψος του οποίου θα φθάσει το 1,2-1,5 δισ. δολάρια- θα είναι το πρώτο στο οποίο θα γίνει χρήση διοξειδίου του άνθρακα για την «προώθηση» πετρελαίου σε στρώματα πιο κοντά στην επιφάνεια. Αντίστοιχη διαδικασία εφαρμόζεται στο Τέξας, σε πετρελαιοπηγές στη στεριά, ήδη από τη δεκαετία του '70, ενώ έργα συγκέντρωσης και αποθήκευσης τουλάχιστον 1 εκατ. τόνων διοξειδίου του άνθρακα ετησίως



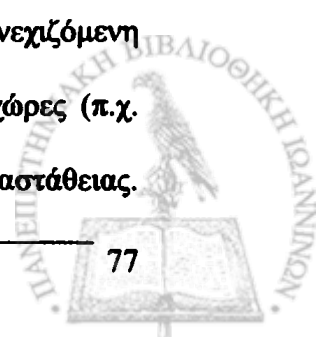
πραγματοποιούνται ήδη στον Καναδά, στην Αλγερία και στην πετρελαιοπηγή της Statoil, Sleipner, έξω από τη Νορβηγία.

Όπως επισήμανε σε συνέντευξη Τύπου ο διευθύνων σύμβουλος της Statoil, Χέλγκε Λουντ, «αν επιτύχουμε, η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες πετρελαιοπηγές στη Νορβηγία και διεθνώς». Βάσει των σχεδίων που ανακοινώθηκαν (Statoil 2006), η Statoil θα συγκεντρώσει διοξείδιο του άνθρακα από τεράστιο εργοστάσιο ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο θα έχει δυνατότητα παραγωγής 860 μεγαβάτ, θα λειτουργεί με φυσικό αέριο και θα κατασκευαστεί στο συγκρότημα Tjeldbergodden της νορβηγικής εταιρείας. Το διοξείδιο του άνθρακα θα διοχετεύεται, στη συνέχεια, μέσω αγωγού στην πετρελαιοπηγή Draugen της Shell έξω από τη Νορβηγία -και αργότερα και στην πετρελαιοπηγή Heidrun της Statoil- όπου και θα εγχέεται σε υποθαλάσσια κοιτάσματα, ωθώντας το πετρέλαιο προς τα πάνω.

Σύμφωνα με το ανακοινωθέν, το έργο -που σχεδιάζεται να ξεκινήσει το 2010-12- από κοινού με την κατασκευή του εργοστασίου στη δυτική Νορβηγία θα χρειαστεί «σημαντική κρατική χρηματοδότηση και ανάμειξη». Το έργο, χάρις στο οποίο θα επιτραπεί η ταφή 2-2,5 τόνων διοξειδίου του άνθρακα ετησίως, θα κοστίσει 1,19-1,49 δισ. δολάρια. Δεν διευκρινίστηκε το ύψος της κρατικής συμμετοχής. Είναι, όμως, χαρακτηριστικό ότι πολλές άλλες εταιρείες έχουν αναβάλει αντίστοιχα σχέδια λόγω του υψηλού κόστους.

#### **4.8 Εθνική και ευρωπαϊκή ενεργειακή στρατηγική**

Η απόφαση της Μόσχας να κλείσει, έστω και για μερικές ημέρες, τις στρόφιγγες των αγωγών φυσικού αερίου στα σύνορα με την Ουκρανία, -μέσω των οποίων διέρχεται το 80% των ρωσικών εξαγωγών προς την Ευρώπη- οι απειλές των ΗΠΑ για στρατιωτική επέμβαση στο Ιράν και οι αντίστοιχες απειλές από πλευράς του για μείωση της παραγωγής πετρελαίου, η συνεχιζόμενη πολιτική αστάθεια και οι τρομοκρατικές ενέργειες σε βασικές πετρελαιοπαραγωγές χώρες (π.χ. Νιγηρία, Βενεζουέλα, Ιράκ) είναι οι κύριες συνιστώσες της σημερινής γεωπολιτικής αστάθειας.



Αυτή, μαζί με τη συνεχιζόμενη σημαντική αύξηση της ενεργειακής ζήτησης από χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία, οι κάτοικοι των οποίων έχουν αρχίσει να αποκτούν δυτικές καταναλωτικές συνήθειες, είναι οι κύριες αιτίες για τις υψηλές τιμές πετρελαίου και των άλλων ενεργειακών πρώτων υλών.

Είναι εμφανές ότι διανύουμε την τρίτη μεταπολεμική πετρελαϊκή κρίση, αφού οι διεθνείς τιμές πετρελαίου έχουν σταθεροποιηθεί πλέον πάνω από τα 70 δολ. το βαρέλι με τους περισσότερους αναλυτές ήδη να ομιλούν για περαιτέρω σοβαρές αυξήσεις μέχρι τα τέλη της δεκαετίας (Beyond Peak 2006).

Τόσο το θέμα των υψηλών τιμών πετρελαίου όσο και του φυσικού αερίου, που συνδέεται άμεσα με το πετρέλαιο, η ασφάλεια των ενεργειακών προμηθειών (Post – Carbon Institute 2006), αλλά και η επιταχυνόμενη διαδικασία για την απελευθέρωση των αγορών ενέργειας, όπου ο ηλεκτρισμός και το φυσικό αέριο παίζουν εξέχοντα ρόλο, θέτουν επιτακτικά για μία ακόμη φορά την ανάγκη διαμόρφωσης μιας ενιαίας ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής<sup>26</sup>. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προσπαθεί τώρα να επανατοποθετηθεί με νέα πρόταση για κοινή ενεργειακή πολιτική, εν όψει της αυξανόμενης εξάρτησης της Ε.Ε. των «25» από εισαγωγές καυσίμων, που υπολογίζεται να φθάσει στο 70% το 2030 από το σημερινό επίπεδο του 50%. Σε αυτήν εξετάζεται η διαφοροποίηση των προμηθειών ενέργειας ανά καύσιμο και διαδρομή, ενώ προτείνεται η δημιουργία μηχανισμών για την επίλυση κρίσεων που θα αντιμετώπιζε ενδεχομένως ένα κράτος. Κυρίως όμως αποβλέπει στον συντονισμό των μελών της Ε.Ε. σε διεθνές επίπεδο.

Αυτή είναι η δεύτερη φορά σε λιγότερο από πέντε χρόνια όπου η Ε.Ε. αποπειράται να διατυπώσει μία κοινή πολιτική στον τομέα της ενέργειας. Οι λόγοι δεν είναι άλλοι από τις σοβαρές επιπτώσεις που έχει η ενεργειακή πολιτική στην εξωτερική πολιτική μιας χώρας αλλά και στα εμπορικά συμφέροντα των εθνικών εταιρειών. Δεν είναι τυχαίο εξάλλου ότι στην τωρινή προσπάθεια το τελικό κείμενο της πρότασης επεξεργάζεται υπό την άμεση εποπτεία του αρμόδιου

---

<sup>26</sup> Αυτή καθίσταται αναγκαία όσο ποτέ άλλοτε εάν κρίνουμε από τις πρόσφατες εξελίξεις, όπου η μεν Ευρωπαϊκή Επιτροπή διαπιστώνει σοβαρά προβλήματα στη διαδικασία απελευθέρωσης των αγορών με την πεισματική άρνηση των μεγάλων εθνικών εταιρειών να παραχωρήσουν μερίδια αγοράς, ενώ τεράστιες ενεργειακές εταιρείες (βλέπε γερμανική E.ON, ισπανική Endesa) προσπαθούν να διαμορφώσουν μονοπωλιακές καταστάσεις.



επιτρόπου για την εξωτερική πολιτική. Αυτό και μόνο δείχνει ότι η Επιτροπή θα επιδιώξει να έχει αποτέλεσμα στους στόχους της για την ενέργεια, κυρίως μέσω της εξωτερικής πολιτικής.

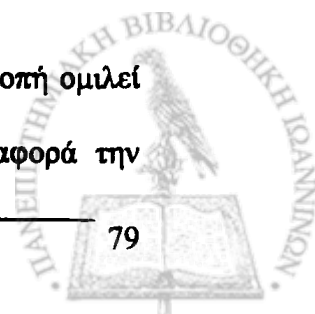
Λύση στα χρόνια ενεργειακά προβλήματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία εξαρτάται από το πετρέλαιο της Μέσης Ανατολής, φιλοδοξεί να δώσει η λεγόμενη «Πράσινη Βίβλος» της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Κύρια προϋπόθεση για να καταφέρει η Ευρωπαϊκή Ένωση να εξέλθει από το ενεργειακό αδιέξοδο, σύμφωνα με την Κομισιόν, είναι να δράσει ως πραγματική Ένωση και όχι κάθε κράτος-μέλος να ενεργεί μεμονωμένα.

Στην Πράσινη Βίβλο προτείνονται βασικές κατευθύνσεις προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι σημερινές ενεργειακές ανάγκες της Ένωσης, αλλά και να καλυφθούν αποτελεσματικότερα οι μελλοντικές:

1. ενότητα κατά τη διαπραγμάτευση με τους προμηθευτές
2. ολοκλήρωση της ευρωπαϊκής αγοράς ενέργειας
3. αλληλεγγύη των κρατών-μελών
4. αειφορία μέσω της ανάπτυξης εναλλακτικών πηγών ενέργειας
5. αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας
6. ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών που δεν θα επιβαρύνουν το περιβάλλον με εκπομπές άνθρακα

Στις προκλήσεις αυτές, υπενθυμίζει η Επιτροπή, πειστική απάντηση μπορεί να προέλθει μόνο από την ενιαία Ευρώπη, όχι το κάθε μέλος της χωριστά. Στο πλαίσιο αυτό εντάσσονται οι έξι βασικές κατευθύνσεις της «Πράσινης Βίβλου», «ενότητα, ολοκλήρωση, αλληλεγγύη, αειφορία, απόδοση και καινοτομία», που έχουν ως διπλό γνώμονα τη διαχείριση του σήμερα παράλληλα και ταυτόχρονα με την προετοιμασία του αύριο. Καμία από τις εισηγήσεις των Βρυξελλών δεν είναι παράδοξη. Η ανάγκη για μια «Πράσινη Βίβλο» δείχνει πόσο δύσκολο είναι, συχνά, να εφαρμοσθούν τα αυτονόητα.

Έτσι, για ένα παρόν που παραμένει δέσμιο του εισαγόμενου πετρελαίου, η Επιτροπή ομιλεί με έμφαση για την ανάγκη να αυξήσει η Ένωση τις επιλογές της, τόσο σε ό,τι αφορά την



προέλευση του πετρελαίου όσο και σε ό,τι αφορά τη διαδρομή του από την πετρελαιοπηγή, στα σπίτια τα αυτοκίνητα και τα εργοστάσια της Ευρώπης<sup>27</sup>.

Η Ευρώπη μπαίνει σε μια νέα εποχή για την ενέργεια. Οι έξι προτεραιότητες της Ε.Ε. έχουν ως εξής:

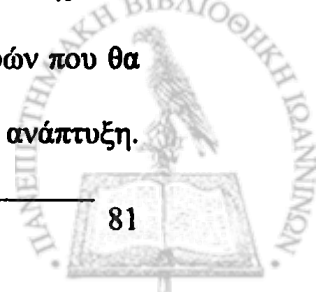
1. **Ενότητα.** Η Ε.Ε. καλείται να εκφράζεται προς τα έξω με μια κοινή φωνή, ιδιαίτερα δε προς τους κύριους παραγωγούς και καταναλωτές ενέργειας. Πρέπει να αξιοποιήσουμε το μέγεθος της αγοράς μας και όλο το φάσμα των μέσων που διαθέτουμε, ώστε να διαχειριστούμε κατάλληλα την ενεργειακή εξάρτησή μας, να διαφοροποιήσουμε τις πηγές των ενεργειακών προμηθειών μας και να εξασφαλίσουμε παγκόσμια στήριξη για την αντιμετώπιση των ενεργειακών προβλημάτων. Μια νέα σύμπραξη με τους γειτονικούς προμηθευτές μας, συμπεριλαμβανομένης της Ρωσίας, είναι απαραίτητη. Πρέπει να επενδύσουμε στο αμοιβαίο συμφέρον της Ευρώπης και των κύριων γειτονικών ενεργειακών προμηθευτών της, ώστε να εξασφαλίσουμε ασφαλείς, ανοιχτές και αναπτυσσόμενες ενεργειακές αγορές. Επίσης, πρέπει να εντείνουμε τη συνεργασία μας με τους υπόλοιπους κύριους εταίρους μας στη Μέση Ανατολή, στην Ασία και στην Αμερική.
2. **Ολοκλήρωση.** Πρέπει να δημιουργήσουμε μια αληθινά ενιαία ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου. Το γεγονός αυτό θα συμβάλει στην επίτευξη ασφάλειας, ανταγωνιστικότητας και αειφορίας. Οι ανοικτές αγορές λειτουργούν προς όφελος των καταναλωτών. Διαμορφώνουν το μακροπρόθεσμο πλαίσιο που είναι αναγκαίο για την πραγματοποίηση επενδύσεων. Προσφέρουν το κατάλληλο πανευρωπαϊκό πεδίο, όπου πραγματοποιούνται οι τρέχουσες δραστηριότητες

---

<sup>27</sup> Οι εναλλακτικές ενεργειακές πηγές παραμένουν επί δεκαετίες «εναλλακτικές», γιατί ουδέποτε υπήρξε επείγουσα ανάγκη ανάπτυξής τους. Τα γεγονότα των τελευταίων ετών και οι προοπτικές που διαγράφονται για το μέλλον καταδεικνύουν, πέραν πάσης αμφιβολίας, την ανάγκη. Το ζητούμενο, είναι το «επείγον», η κατανόηση του μεγέθους της πρόκλησης και η ανάληψη δράσης, φυσικά σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, για την ανάπτυξη των μορφών ενέργειας εκείνων που θα επιτρέψουν την ενεργειακή αποδέσμευση της Ένωσης, είτε αυτό αφορά τον περιορισμό της κατανάλωσης είτε τον εκσυγχρονισμό υφιστάμενων τεχνολογιών είτε τη διάδοση εξωτικών ακόμη σήμερα ενεργειακών πηγών όπως ο ήλιος, ο αέρας και το υδρογόνο.

συγχώνευσης. Η Ευρώπη ευημερεί ενεργειακά, όπως εξάλλου και σε άλλους τομείς, όταν ελαχιστοποιεί και όχι όταν δημιουργεί εμπόδια.

3. **Αλληλεγγύη.** Την ολοκλήρωση πρέπει να συνοδεύει η αλληλεγγύη. Η Ευρώπη καλείται να ανταποκριθεί πληρέστερα στις διακυμάνσεις των ενεργειακών αγορών και των προμηθειών, και να επανεξετάσει την προσέγγισή της για τα στρατηγικά αποθέματα πετρελαίου και αερίου.
4. **Αειφορία.** Πρέπει να επιταχύνουμε τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα, χρησιμοποιώντας τόσο τις νέες ενεργειακές μορφές όσο και τις υφιστάμενες. Η Ευρώπη οφείλει να διαμορφώσει το κατάλληλο πλαίσιο για να διευκολυνθεί η «άνθηση» των διαφόρων ενεργειακών μορφών που συνεπάγονται χαμηλές εκπομπές άνθρακα. Για ορισμένους αυτό θα σήμαινε αιολική ενέργεια, γι' άλλους ηλιακή ενέργεια και γι' άλλους, καθαρό άνθρακα. Ορισμένα κράτη - μέλη εξετάζουν μάλιστα το ενδεχόμενο της περαιτέρω ανάπτυξης της πυρηνικής ενέργειας. Δεν έχουμε πάντως την πολυτέλεια προώθησης μιας και μόνης μορφής ενέργειας, αποκλείοντας τις άλλες. Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας πρέπει να εξακολουθήσουν να αναπτύσσονται στο πλαίσιο του ενεργειακού μας «μείγματος», λαμβάνοντας πολύ σοβαρά υπόψη μας τη δέσμευσή μας για ενέργειες χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Βέβαια, αυτές δεν μπορούν να υποκαταστήσουν πλήρως τους υδρογονάνθρακες. Στην περίπτωση των βιοκαυσίμων, όμως, μπορούν στην ουσία να αναμειχθούν με αυτές.
5. **Απόδοση.** Πρέπει να αλλάξουμε όχι μόνο τον ενεργειακό μας εφοδιασμό, αλλά και την ενεργειακή ζήτηση. Υπάρχουν ευρύτατα περιθώρια για να χρησιμοποιηθεί αποδοτικότερα η ενέργεια, προς όφελος του κλίματος, των καταναλωτών και της ασφάλειάς μας. Και σ' αυτό το σημείο δεν εννοούμε απλώς το γύρισμα του διακόπτη, μολονότι όλοι μας ίσως έχουμε αφήσει κάποτε τη θέρμανση αναμμένη, με ανοιχτό το παράθυρο. Εννοούμε στην ουσία την ανάπτυξη τεχνολογιών και συμπεριφορών που θα αλλάξουν το ενεργειακό μοντέλο της Ευρώπης και θα στηρίξουν την αειφόρο ανάπτυξη.



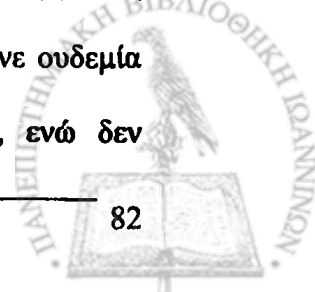
Πρέπει να εξακολουθήσουμε να αναπτύσσουμε πρότυπα ενεργειακής απόδοσης για τους μεγάλους καταναλωτές ενέργειας, όπως για παράδειγμα τις μεταφορές και τις οικοδομικές δραστηριότητες.

6. **Καινοτομία.** Η Ευρώπη είναι πρωτοπόρα στην ανάπτυξη τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Πρέπει οπωσδήποτε να διατηρήσουμε αυτήν τη θέση, καθώς τα οφέλη για το περιβάλλον είναι τεράστια. Το ίδιο ισχύει και για τις επιχειρηματικές ευκαιρίες, σε μια αναπτυσσόμενη διεθνή αγορά τεχνολογιών υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η ίδρυση Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τεχνολογίας θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στη διατήρηση της Ευρώπης στην κορυφή της ομάδας των καινοτόμων χωρών.

Οι παραπάνω έξι προτεραιότητες διέπονται από δύο σημαντικές έννοιες, κρίσιμες για την αειφόρο, ανταγωνιστική και ασφαλή ενέργεια. Η πρώτη είναι η διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών, των χωρών προέλευσης και των χωρών διαμετακόμισης. Η δεύτερη έννοια είναι η επείγουσα ανάγκη. Θα χρειαστούν ακόμη πολλά χρόνια για να χρησιμοποιούνται ευρέως ορισμένες από τις νέες ενεργειακές μορφές. Αυτό όμως ακριβώς, αποτελεί το βασικό επιχείρημα για την ανάληψη άμεσης δράσης και όχι για κωλυσιεργία. Η Ευρώπη δεν έχει την πολυτέλεια να παραμείνει αδρανής.

Η Ελλάδα το 2009 πλήρωσε περίπου 9,0 δισ. ευρώ για εισαγωγές πετρελαίου (5,0% του ΑΕΠ) από τις οποίες κάλυψε το 70% των πρωτογενών της ενεργειακών αναγκών (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας 2006). Σε σύγκριση με άλλες χώρες της Ε.Ε. η Ελλάδα εμφανίζεται από τις πλέον εξαρτώμενες από εισαγωγές πετρελαίου αφού ο μέσος ευρωπαϊκός όρος εξάρτησης κυμαίνεται μεταξύ 40%-50%. Οδηγείται με μαθηματική ακρίβεια σε πλήρη ομηρεία από εισαγωγές καυσίμων.

Τα τελευταία 20 χρόνια ακολούθησε μια μονοδιάστατη πορεία υπέρμετρης αύξησης της κατανάλωσης πετρελαίου εις βάρος άλλων καυσίμων. Αυτή απεδείχθη μία ατυχέστατη ενεργειακή επιλογή που βασίστηκε σε λάθος εκτιμήσεις και σωρεία λαθών. Εν τω μεταξύ δεν έγινε ουδεμία ουσιαστική προσπάθεια για την αξιοποίηση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας, ενώ δεν



περιορίστηκαν η σπατάλη καυσίμων και η αλόγιστη αύξηση του αριθμού των οχημάτων πάσης φύσεως, τη στιγμή που η χώρα αδυνατεί ν' αναπτύξει κατάλληλες υποδομές, ιδίως στα αστικά κέντρα (Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος & Αειφόρου Ανάπτυξης 2006). Επίσης δεν επιδιώχθηκε η σταδιακή εξυγίανση του ενεργειακού ισοζυγίου αν και ήταν ξεκάθαρες οι διαπιστώσεις και οι συμβουλές του ΙΕΑ.

Είναι προφανές ότι εάν δεν ληφθούν μέτρα, πολύ σύντομα η εξάρτηση της χώρας από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο θα εκτιναχθεί στο 80% ή και υψηλότερα<sup>28</sup>. Και ενώ ο ενεργειακός τομέας εμφανίζεται ως ένας από τους βασικούς τομείς της ελληνικής οικονομίας, με συμμετοχή πάνω από 12% του ΑΕΠ, μέχρι στιγμής δεν υπάρχει μία συγκροτημένη πολιτική για την ισομερή ανάπτυξή του<sup>29</sup>.

Η ύπαρξη άφθονης και ανταγωνιστικής σε τιμές ενέργειας, αποτελεί προϋπόθεση για την οικονομική ανάπτυξη. Εάν εξαιρέσουμε την εισαγωγή του φυσικού αερίου, που ως πολιτική απόφαση ελήφθη το 1987, από τότε ουδεμία άλλη σοβαρή πρωτοβουλία ελήφθη. Εκτός βέβαια της ασθμαίνουσας διαδικασίας απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, στην οποία εκούσα-άκουσα οδηγείται η χώρα λόγω της ανάγκης συμμόρφωσής της με την ευρωπαϊκή οδηγία ΕΚ/2003/54. Οι ΑΠΕ και η αυτοπαραγωγή καρκινοβατούν μέσα σ' ένα αδιανόητο γραφειοκρατικό τοπίο παρά το γεγονός ότι τη δεκαετία του '80 ιδρύθηκε το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και αργότερα βάσει του ν. 2294/94 δόθηκε ώθηση στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας.

Ομως ο τομέας της ενέργειας παρουσιάζει ταυτόχρονα και σοβαρές επενδυτικές ευκαιρίες, οι οποίες εάν αξιοποιηθούν κατάλληλα θα συμβάλλουν ώστε να εξέλθει η χώρα από τον μονόδρομο της πετρελαϊκής εξάρτησης<sup>30</sup>. Εξ ίσου σοβαρός, από επενδυτικής πλευράς είναι ο τομέας των ΑΠΕ που μπορεί να αποφέρει δισεκατομμύρια ευρώ σε νέες επενδύσεις και ταυτόχρονα να δημιουργήσει

---

<sup>28</sup> Μία εφιαλτική οικονομική προοπτική, αφού οι υψηλές τιμές πετρελαίου αργά ή γρήγορα μεταφέρονται στην εσωτερική αγορά με ολέθριες επιπτώσεις για το ισοζύγιο εξωτερικών πληρωμών, τον πληθωρισμό και κατά συνέπεια την οικονομική ανάπτυξη.

<sup>29</sup> Π.χ. ενώ υπάρχει πολιτική για την ανάπτυξη φυσικού αερίου κάτι που έχει αρχίσει να αποδίδει, δεν υπάρχει πολιτική για τον έλεγχο της κατανάλωσης πετρελαίου, όπου η φορολογία στη χώρα μας είναι από τις χαμηλότερες στην Ευρώπη, με αποτέλεσμα να ενθαρρύνεται συνεχώς η διεύρυνση του μεταφορικού έργου μέσω του αυτοκινήτου εις βάρος εναλλακτικών μέσων.

<sup>30</sup> Αναφερόμεθα κυρίως στη δημιουργία νέων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με καύση φυσικού αερίου όπου ο ιδιωτικός τομέας, δηλαδή οι ανεξάρτητοι παραγωγοί εκτός ΔΕΗ, μπορεί να παίζει ένα σημαντικό ρόλο αρκεί η κυβέρνηση να

χιλιάδες νέες θέσεις εργασίας. Εξ ίσου σημαντικό ρόλο από επενδυτικής πλευράς παίζουν και οι διεθνείς ενεργειακές διασυνδέσεις (δηλαδή αγωγοί φυσικού αερίου Ελλάδος - Τουρκίας - Ιταλίας, πετρελαιοαγωγοί Μπουργκάς – Αλεξανδρούπολη).

Βασικός άξονας μιας νέας ενεργειακής πολιτικής θα πρέπει να είναι η μείωση των εισαγωγών πετρελαίου, σε επίπεδα που θα πλησιάζουν τουλάχιστον τον μέσο όρο της Ευρ. Ένωσης, με την παράλληλη ανάπτυξη των εγχώριων πηγών ενέργειας, συμβατικών και μη. Αντίθετα με την ευρέως διαδεδομένη αντίληψη ότι η Ελλάδα είναι φτωχή σε πρώτες ύλες, η χώρα είναι ιδιαίτερα προικισμένη με αξιόλογους ενεργειακούς πόρους ακόμα και αναξιοποίητα κοιτάσματα υδρογονανθράκων.

Τους τελευταίους μήνες, πέρασαν από τη Βουλή μία σειρά από σημαντικά ενεργειακά νομοσχέδια (απελευθέρωση αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου και βιοκαυσίμων, ΑΠΕ) τα οποία εγγυώνται την ομαλή λειτουργία της αγοράς. Όμως, παρά τους προς το αντίθετο ισχυρισμούς, η ψήφιση αυτών και άλλων παρεμφερών νομοσχεδίων δεν συνιστούν ενεργειακή πολιτική.

Αντίθετα, η χάραξη μιας αποτελεσματικής ενεργειακής στρατηγικής θα πρέπει να βασιστεί στο γνωστό τρίπτυχο του μακροχρόνιου ενεργειακού σχεδιασμού ώστε να εξυπηρετούνται οι εξής βασικοί στόχοι: (α) η διασφάλιση της προσφοράς ενέργειας, (β) η προστασία του περιβάλλοντος και (γ) η ενίσχυση του οικονομικού ανταγωνισμού. Ως γνωστό κανένα καύσιμο, από μόνο του, δεν πληροί τις τρεις αυτές προϋποθέσεις για την Ελλάδα. Ο λιγνίτης είναι σχετικά φθηνός και διαθέσιμος, αλλά πολύ ρυπογόνος. Το φυσικό αέριο είναι σχετικά καθαρό και (μέχρι πρόσφατα) φθηνό, αλλά προϋποθέτει αυξημένες εισαγωγές. Το πετρέλαιο είναι πολύ ακριβό, θα γίνεται ακριβότερο και εισάγεται καθ' ολοκληρίαν. Οι ΑΠΕ είναι άφθονες, δεν μολύνουν το περιβάλλον και μπορούν να καλύψουν πληθώρα αναγκών (θέρμανση, ηλεκτρισμό, μεταφορικό έργο) αλλά δεν έχουν αναπτυχθεί όλες σε εμπορικό επίπεδο. Η πυρηνική ενέργεια χρησιμοποιεί σχετικά λίγα καύσιμα και δεν εκπέμπει αέρια που ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου αλλά οικονομικά δεν είναι πολύ ελκυστική και απαιτεί υψηλή τεχνολογία για να είναι ασφαλής.



Ετσι, ο καλύτερος τρόπος να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι είναι η μικτή χρήση όλων των καυσίμων. Μία τέτοια ποικιλία σε καύσιμα και πηγές διασφαλίζει επαρκή προσφορά ενέργειας και ανταγωνιστικό κόστος. Σε κάθε περίπτωση, οι τιμές ενέργειας στην Ελλάδα θα πρέπει να αυξηθούν σημαντικά μέσα στα αμέσως επόμενα χρόνια για ν' αντανakλούν το υψηλό περιβαλλοντικό κόστος (που ενώ υπάρχει, συνήθως αγνοείται στη χώρα μας) και τις αυξανόμενες διεθνείς τιμές.

#### **4.9 Case Study: Η πλήρης απεξάρτηση της Σουηδίας από το πετρέλαιο**

Η Σουηδία ετοιμάζεται να προχωρήσει στο μεγαλύτερο βήμα που έχει κάνει ποτέ βιομηχανική οικονομία της Δύσης σε ό,τι αφορά την ενέργεια, καθώς θα επιχειρήσει να απεξαρτηθεί πλήρως από το πετρέλαιο σε 15 χρόνια χωρίς να κατασκευάσει νέα γενιά σταθμών πυρηνικής ενέργειας. Το σχέδιο μελετά επιτροπή παραγόντων της βιομηχανίας, ακαδημαϊκών, αγροτών, στελεχών της αυτοκινητοβιομηχανίας και δημοσίων υπαλλήλων που θα παρουσιάσει σχετική έκθεση στο Κοινοβούλιο σε μερικούς μήνες. Στόχος της είναι να αντικατασταθούν όλα τα ορυκτά καύσιμα με ανανεώσιμα.

«Η εξάρτησή μας από το πετρέλαιο πρέπει να αρθεί μέχρι το 2020», τονίζει η υπουργός Βιώσιμης Ανάπτυξης, Μόνα Σαλίν, σύμφωνα με την οποία «κανένα σπίτι δεν θα χρειάζεται πετρέλαιο θέρμανσης και κανένας οδηγός δεν θα πρέπει να καταφεύγει αποκλειστικά και μόνον στη βενζίνη». Άλλα κυβερνητικά στελέχη χαρακτήρισαν το σχέδιο «αντίδραση στην αλλαγή του κλίματος, τις αυξανόμενες τιμές του πετρελαίου, αλλά και τις προειδοποιήσεις ορισμένων επιστημόνων για επικείμενη εξάντληση των αποθεμάτων πετρελαίου». Η Σουηδία, που επλήγη σημαντικά από την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 1970, αντλεί σήμερα σχεδόν όλη την ηλεκτρική ενέργειά της από πυρηνική και υδροηλεκτρική ενέργεια και χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα κυρίως για τις μεταφορές. Την περασμένη δεκαετία μετέτρεψε σχεδόν όλο το σύστημα θέρμανσης σε έναν μηχανισμό που διανέμει ατμό ή καυτό νερό από γεωθερμική ενέργεια ή από καύση αποβλήτων.



Το εν λόγω σχέδιο η της Σουηδίας την τοποθετηθεί πρώτη μεταξύ των πράσινων χωρών. Η Ισλανδία ευελπιστεί ότι μέχρι το 2050 θα κινεί όλα τα αυτοκίνητα και τα πλοία της με υδρογόνο που θα παράγεται από ηλεκτρική ενέργεια αντλούμενη από ανανεώσιμες πηγές ενώ η Βραζιλία σκοπεύει να τροφοδοτεί μέσα σε πέντε χρόνια το 80% των μεταφορών της με αιθανόλη από ζαχαροκάλαμα.

Σύμφωνα με στελέχη του σουηδικού υπουργείου Ενέργειας, η επιτροπή θα ταχθεί υπέρ της περαιτέρω ανάπτυξης των βιοκαυσίμων που παράγονται από τα εκτεταμένα δάση της χώρας, αλλά και της επέκτασης άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως της αιολικής και της ενέργειας που παράγεται από θαλάσσια κύματα. Η Σουηδία προηγείται των περισσότερων χωρών καθώς το 2003 το 26% του συνόλου της ενέργειας που κατανάλωσε προήλθε από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ενώ ο μέσος όρος της Ε.Ε. ήταν 6%. Από πετρέλαιο προήλθε το 32% της ενέργειας που κατανάλωσε ενώ το 1970 το αντίστοιχο ποσοστό ήταν 77%. Παράλληλα οι αυτοκινητοβιομηχανίες Saab και Volvo σχεδιάζουν αυτοκίνητα και φορτηγά που θα κινούνται με αιθανόλη και άλλα βιοκαύσιμα.

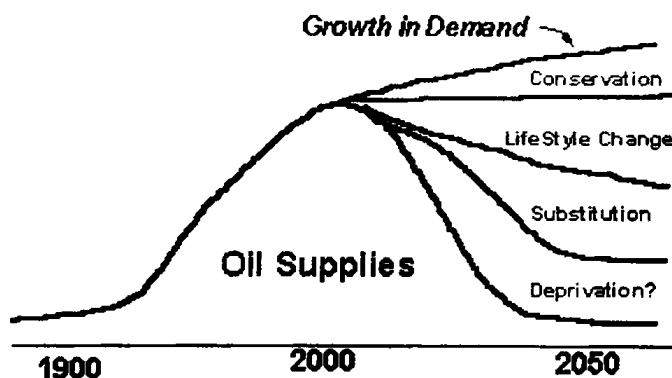
Οι ΗΠΑ σχεδιάζουν να αυξήσουν σημαντικά την πυρηνική τους ενέργεια. Η βρετανική κυβέρνηση, που έχει δεσμευθεί να παράγει το 2012 το 10% της ενέργειάς της από ανανεώσιμες πηγές, παρουσίασε τον περασμένο μήνα έκθεση που υποστηρίζει την αύξηση της πυρηνικής ενέργειας. Σύμφωνα, όμως, με έκθεση της συμβουλευτικής εταιρείας Ernst & Young, η Βρετανία έχει μείνει πίσω στον στόχο της για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

#### **4.10 Ανάλυση Σεναρίων**

Σε αυτό το μέρος της εργασίας θα αναπτύξουμε σενάρια σχετικά με το πρόβλημα της κορύφωσης της πετρελαϊκής ζήτησης. Αρχικά θα εξετάσουμε διαφορετικές περιπτώσεις εξέλιξης της ζήτησης και μετά της παραγωγής πετρελαίου.



Στο διάγραμμα που ακολουθεί βλέπουμε διαφορετικά σενάρια εξέλιξης της ζήτησης πετρελαίου από τους καταναλωτές. Μπορούμε να διακρίνουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:



Διάγραμμα 25: Σενάρια εξέλιξης ζήτησης πετρελαίου (Πηγή: Oil Crash)

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ζήτηση θα συνεχίζει να αυξάνεται ενώ η παραγωγή θα μειώνεται, οι καταναλωτές θα προσαρμοστούν σε κάποιο συνδυασμό των ακόλουθων συμπεριφορών:

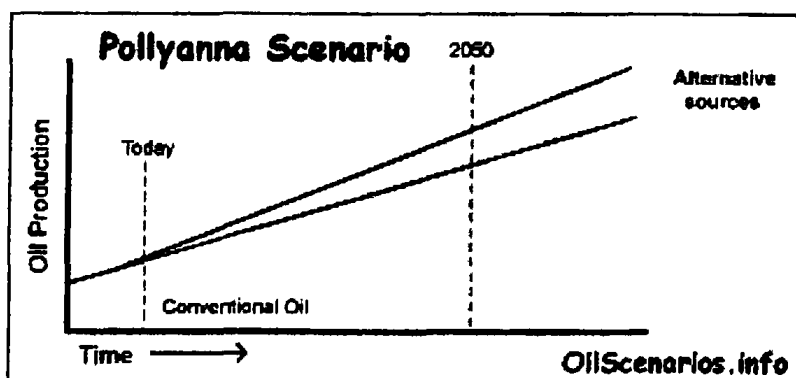
1. **Διατήρηση τρόπου ζωής (Conservation):** στην περίπτωση αυτή έχουμε διατήρηση του τρόπου ζωής και των συνηθειών των καταναλωτών και συνεπώς αύξηση της ζήτησης πετρελαίου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσω τεχνολογίας που θα εξοικονομεί τεράστιες ποσότητες πετρελαϊκής ενέργειας.
2. **Αλλαγή τρόπου ζωής (Life – Style Change):** οι καταναλωτές αλλάζουν τον τρόπο ζωής τους, προτιμώντας λόγω χάρη να κατοικούν κοντά στον τόπο εργασίας τους και συνολικά να μειώσουν τη ζήτηση πετρελαίου.
3. **Υποκατάσταση – Αποστέρηση πετρελαϊκής ενέργειας (Substitution – Deprivation):** σύμφωνα με τα σενάρια αυτά το πετρέλαιο σταδιακά υποκαταστάται από εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Οι καταναλωτές δεν αλλάζουν συνήθειες αλλά πλέον χρησιμοποιούν τεχνολογία συναφή με τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

Μεγαλύτερο όμως ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάλυση των σεναρίων για την παραγωγή πετρελαίου.



#### 4.10.1 Υπέρ – αισιόδοξο (Pollyanna Scenario)

Σύμφωνα με το υπέρ – αισιόδοξο σενάριο, η παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη μπορεί να συνεχίσει χωρίς ενεργειακές δεσμεύσεις. Αν και η παραγωγή πετρελαίου τελικά θα μειωθεί, το χρονικό σημείο της μείωσης μετατίθεται στο μακρινό μέλλον, σημείο στο οποίο οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας θα έχουν πλήρως αναπτυχθεί.



Διάγραμμα 26: Στο υπέρ – αισιόδοξο σενάριο η παραγωγή πετρελαίου μπορεί να καλύψει τη ζήτηση έως το 2050

(Πηγή: Oil Scenarios)

Υπάρχουν δύο εναλλακτικές εξελίξεις στο υπέρ – αισιόδοξο σενάριο. Σύμφωνα με την πρώτη, η τεχνολογική πρόοδος και η ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων πετρελαίου θα επιτρέψουν την αύξηση της παραγωγής συμβατικού πετρελαίου έως το 2050, περίοδος κατά την οποία θα κορυφωθεί η παραγωγή. Σύμφωνα με τη δεύτερη εναλλακτική, το πετρέλαιο έχει αβιοτική προέλευση και συνεπώς θα συνεχίζει να αντικαθιστά τα εξαντλημένα αποθέματα. Η άποψη αυτή όμως δε βρίσκει κανένα επιστημονικό αντίκρισμα και βασίζεται στην εσφαλμένη θεωρία ότι το πετρέλαιο δημιουργείται φυσιολογικά από το υπέδαφος της γης.

Βασικές υποθέσεις του σεναρίου είναι οι ακόλουθες:

1. Πρέπει να ανακαλυφθεί τουλάχιστον ένα ακόμη υπερμέγεθες πετρελαϊκό κοίτασμα (100 δις βαρελιών) ή δυνητικά το πετρέλαιο να αντικαθίσταται από νέο πετρέλαιο.



2. Οι δυνάμεις της αγοράς θα δαπανήσουν πολλά κεφάλαια στην ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων.
3. Οι νέες τεχνολογίες θα επιτρέψουν την οικονομική εξόρυξη πετρελαίου από τα ήδη υπάρχοντα κοιτάσματα.
4. Τα ήδη υπάρχοντα αποθέματα πετρελαίου είναι υπό – εκτιμημένα, ιδίως στη Μέση Ανατολή.
5. Ο βαθμός αναπλήρωσης του πετρελαίου επαρκεί για να ικανοποιήσει την αύξηση στη ζήτηση.

Σύμφωνα με το υπέρ – αισιόδοξο σενάριο τα αποθέματα πετρελαίου δεν πρόκειται να εξαντληθούν και συνεπώς δεν υπάρχει κανένας λόγος ενίσχυσης των εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Η βασική όμως παραδοχή του σεναρίου αυτού είναι επιστημονικά εσφαλμένη.

#### **4.10.1.1 Δημιουργείται πετρέλαιο ακόμα και σήμερα;**

Το πετρέλαιο δημιουργείται ακόμα και σήμερα, γιατί οι γεωχημικές διαδικασίες που το γεννούν εδώ και εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια εξακολουθούν να συντελούνται εκεί όπου υπάρχει το κατάλληλο περιβάλλον: στις λιμνοθάλασσες, στους κόλπους των ποταμών, σε θαλάσσιες λεκάνες φτωχές σε οξυγόνο και στα ηπειρωτικά υφαλοπρανή.

Εκεί οι οργανικές ουσίες (κουφάρια ζώων και υπολείμματα φυτών) που περιέχουν άνθρακα συσσωρεύονται σε διαδοχικά στρώματα χωρίς να διασκορπίζονται από τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες. Αν η λεκάνη βαθύνει ή καλυφθεί από άλλα στρώματα για γεωλογικούς λόγους, μετατρέπεται σε μητρικό πέτρωμα και μέσα της, ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, σχηματίζονται ο άνθρακας, το μεθάνιο ή το πετρέλαιο.

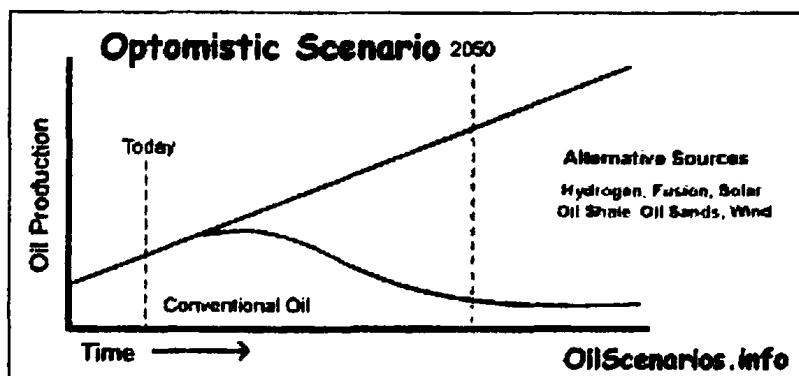
Για να δημιουργηθεί πετρέλαιο, αν και εφόσον η θερμοκρασία είναι υψηλή, χρειάζονται μερικές χιλιάδες χρόνια. Αν η θερμοκρασία είναι χαμηλή χρειάζονται τουλάχιστον εκατό εκατομμύρια χρόνια. Ανάλογα με τα γεωλογικά συμβάντα, το μητρικό πέτρωμα μπορεί να παραμείνει εκεί όπου δημιουργήθηκε ή να μετατοπιστεί αλλού και να γίνει "αναδύομενη" γη.



Υπολογίζεται ότι μόνο το 1% του άνθρακα που περιέχεται στις οργανικές ουσίες συμμετέχει στη δημιουργία υδρογονανθράκων. Το πετρέλαιο που εξορύσσεται σήμερα δημιουργήθηκε πριν από ένα έως δώδεκα εκατομμύρια χρόνια, ενώ το πιο παλιό πριν από διακόσια έως πεντακόσια εκατομμύρια χρόνια. Συνεπώς, ο βαθμός αντικατάστασης δε μπορεί να καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση πετρελαίου.

### 4.10.2 Αισιόδοξο (Optimistic Scenario)

Σύμφωνα με το αισιόδοξο σενάριο, η παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη θα συνεχίσει μέσω μεγάλων επενδύσεων στην παραγωγή μη – συμβατικού πετρελαίου και στην ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Αν και θα υπάρχουν περίοδοι περιορισμένης προμήθειας πετρελαίου, οι δυνάμεις της αγοράς θα μπορέσουν συνολικά να αντεπεξέλθουν στην ανάγκη αυξημένης παραγωγής.



Διάγραμμα 27: Σύμφωνα με το αισιόδοξο σενάριο η παραγωγή πετρελαίου μπορεί σε συνδυασμό με τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας να καλύψουν τη ζήτηση ενέργειας έως το 2050 (Πηγή: Oil Scenarios)

Βασικές υποθέσεις του σεναρίου είναι οι ακόλουθες:

1. Τα δηλωμένα πετρελαϊκά αποθέματα είναι συνήθως υπό – εκτιμημένα.



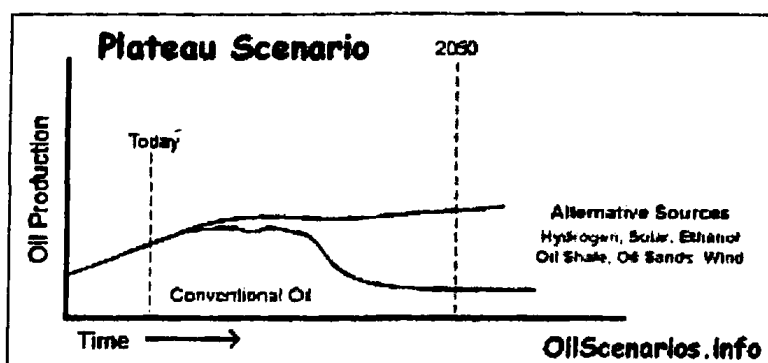
2. Οι δυνάμεις της αγοράς θα συνεχίσουν να αυξάνουν την παραγωγή πετρελαίου και να ενθαρρύνουν το μη – συμβατικό πετρέλαιο και τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας.
3. Οι νέες τεχνολογίες θα επιτρέψουν την οικονομική εξόρυξη περισσότερων πετρελαϊκών ποσοτήτων από τα ήδη υπάρχοντα κοιτάσματα.
4. Υπάρχουν ακόμη πολλά πετρελαϊκά κοιτάσματα που δεν έχουν ακόμη ανακαλυφθεί.

Το αισιόδοξο σενάριο δεν αντιμετωπίζει το πετρέλαιο ως το μοναδικό παράγοντα οικονομικής ανάπτυξης. Αντιθέτως, οι οικονομολόγοι – υποστηρικτές του αισιόδοξου σεναρίου, επιθυμούν επαρκή πετρελαϊκά αποθέματα μόνο βραχυχρόνια, μιας και οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας θα τα αντικαταστήσουν, επιτυχώς, μακροπρόθεσμα. Θεωρούν ότι οι πραγματικές δυνατότητες των εναλλακτικών πηγών ενέργειας, παρουσιάζονται από τους πεσιμιστές υπερβολικά υπό – εκτιμημένες.

#### **4.10.3 Μετριοπαθές (Plateau Scenario)**

Σύμφωνα με το μετριοπαθές σενάριο, αν και η παραγωγή πετρελαίου θα κορυφωθεί τα επόμενα 3 – 4 χρόνια, οι δυνάμεις της αγοράς θα διατηρήσουν το επίπεδο κορύφωσης για πολλά χρόνια ακόμη, επιτρέποντας στο μη – συμβατικό πετρέλαιο και στις εναλλακτικές πηγές ενέργειας να καλύπτουν το κενό που θα δημιουργεί οποιαδήποτε ενδεχόμενη μείωση της πετρελαϊκής παραγωγής. Παρόλα αυτά η αύξηση της διαθέσιμης ενέργειας γίνεται μακροπρόθεσμα ανέφικτη, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται επιβραδυνόμενοι ρυθμοί οικονομικής ανάπτυξης και ισχυρές πιέσεις από το δυτικό κόσμο σε υπανάπτυκτες κοινωνίες που επιδιώκουν να αυξήσουν το βιοτικό τους επίπεδο. Η κατάσταση αυτή θα δημιουργήσει ασταθείς αγορές για πολλά χρόνια και θα αυξήσει τις πιθανότητες παγκόσμιων κρίσεων εξαιτίας των περιορισμένων αποθεμάτων ενέργειας.





**Διάγραμμα 28:** Σύμφωνα με το μετριοπαθές σενάριο η παραγωγή πετρελαίου θα μειωθεί και οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας δε θα κατορθώσουν επαρκώς να το αντικαταστήσουν (Πηγή: Oil Scenarios)

Βασικές υποθέσεις του σεναρίου είναι οι ακόλουθες:

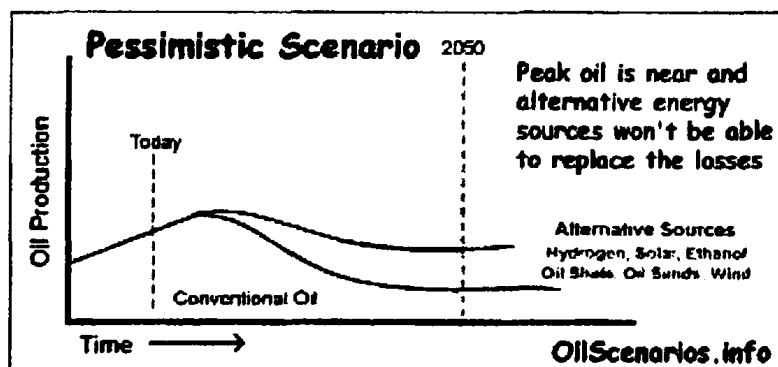
1. Δεν πρόκειται να ανακαλυφθεί σημαντικό κοίτασμα πετρελαίου στο μέλλον.
2. Η παραγωγή πετρελαίου από νέα κοιτάσματα δε μπορεί να αντικαταστήσει την εξάντληση των παλαιότερων κοιτασμάτων.
3. Οι νέες τεχνολογίες επιτρέπουν τη γρηγορότερη εξόρυξη πετρελαίου χωρίς όμως να αυξάνουν έτσι τη συνολικά παραγόμενη ποσότητα.
4. Τα δηλωμένα αποθέματα πετρελαίου είναι υπέρ – εκτιμημένα, ιδίως στη Μέση Ανατολή.
5. Το μη – συμβατικό πετρέλαιο και οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας, αν και δε θα μπορέσουν να αντικαταστήσουν πλήρως το κενό μετά την κορύφωση της παραγωγής συμβατικού πετρελαίου, θα μπορέσουν τουλάχιστον να προσφέρουν ένα σταθερό ρυθμό παροχής ενέργειας.

Πολλοί οικονομολόγοι υποστηρίζουν ότι σήμερα βρισκόμαστε στην κατάσταση που περιγράφει το μετριοπαθές σενάριο. Άλλωστε, η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου έμεινε συγκριτικά σταθερή από το 2009 στο 2010 ενώ η ζήτηση παρουσίασε μείωση. Τι θα γίνει όμως όταν η ζήτηση αυξηθεί πάλι, όπως λογικά θα συμβεί; Θα μπορέσει να ανταποκριθεί ή μήπως η παραγωγή πετρελαίου έχει ήδη κορυφωθεί;



#### 4.10.4 Απαισιόδοξο (Pessimistic Scenario)

Σύμφωνα με το απαισιόδοξο σενάριο, η κορύφωση της πετρελαϊκής παραγωγής θα συμβεί στο άμεσο μέλλον, με αποτέλεσμα ακόμη και γιγαντιαίες προσπάθειες εξόρυξης νέου πετρελαίου να μη μπορέσουν να ικανοποιήσουν την αυξανόμενη ζήτηση. Οι υψηλότερες πετρελαϊκές τιμές δε θα στρέψουν τη ζήτηση στις εναλλακτικές πηγές ενέργειας αφού οι νέες τεχνολογίες δε θα έχουν καταφέρει να τις καταστήσουν προσιτές στο ευρύ κοινό. Η βασική θέση στο απαισιόδοξο σενάριο είναι ότι θα υπάρξει ενεργειακό χάσμα ζήτησης και προσφοράς, που θα ξεκινήσει μέσα στην επόμενη πενταετία και θα διαρκέσει για τα επόμενα 10 με 20 χρόνια, έως ότου οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας αποτελέσουν οικονομικά βιώσιμες λύσεις.



Διάγραμμα 29: Σύμφωνα με το απαισιόδοξο σενάριο η παραγωγή πετρελαίου και οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας δε θα κατορθώσουν επαρκώς να ικανοποιήσουν τις ενεργειακές ανάγκες της παγκόσμιας οικονομίας (Πηγή: Oil Scenarios)

Βασικές υποθέσεις του σεναρίου είναι οι ακόλουθες:

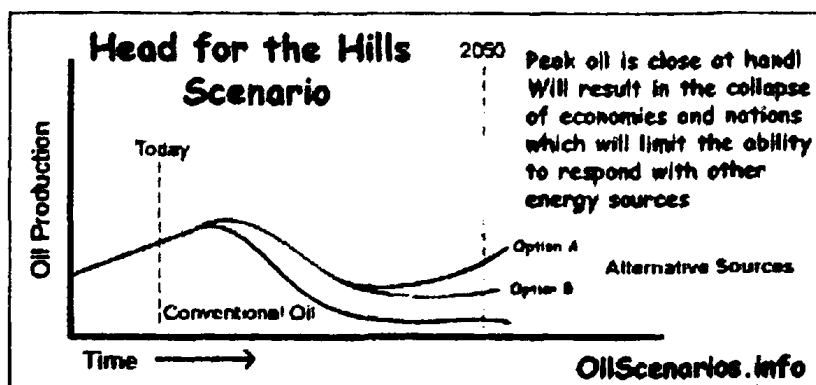
1. Δεν πρόκειται να ανακαλυφθούν σημαντικά κοιτάσματα πετρελαίου.
2. Η παραγωγή νέου πετρελαίου δε θα καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση.
3. Οι νέες τεχνολογίες θα αυξήσουν το ρυθμό παραγωγής πετρελαίου αλλά όχι τη συνολική παραγόμενη ποσότητα.
4. Τα δηλωμένα αποθέματα πετρελαίου είναι υπέρ - εκτιμημένα, ιδίως στη Μέση Ανατολή.

5. Οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας θα χρειαστούν πολύ χρόνο μέχρι να αντικαταστήσουν έστω και μερικώς την πετρελαϊκή προσφορά, με αποτέλεσμα η παγκόσμια οικονομία να εισέλθει σε διαρκή κρίση.

Το μεγαλύτερο τμήμα της βιβλιογραφίας για την κορύφωση της πετρελαϊκής ζήτησης ακολουθεί το απαισιόδοξο σενάριο. Το ενεργειακό πρόβλημα θα δημιουργήσει σημαντικές πολιτικές προστριβές μεταξύ των πετρελαιοπαραγωγών χωρών από τη μια και των εξαρτημένων – πετρελαϊκά χωρών από την άλλη. Όσες χώρες ακολουθήσουν επιτυχημένα το δρόμο των εναλλακτικών πηγών ενέργειας θα γνωρίσουν πρωτόγνωρη οικονομική ανάπτυξη. Κεντρικό ζήτημα στο απαισιόδοξο σενάριο είναι ότι η Κίνα και η Ινδία θα υποστούν τις μεγαλύτερες οικονομικές κρίσεις λόγω της μεγάλης εξάρτησής τους από το πετρέλαιο.

#### **4.10.5 Υπέρ – απαισιόδοξο (Head for the Hills Scenario)**

Σύμφωνα με το υπέρ – απαισιόδοξο σενάριο οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας δε θα κατορθώσουν να αντικαταστήσουν το ενεργειακό έλλειμμα από την αυξανόμενη μείωση της πετρελαϊκής παραγωγής. Η παγκόσμια οικονομία όχι μόνο θα αποσταθεροποιηθεί, αλλά θα αυξηθούν σημαντικά οι πιθανότητες παγκόσμιων πολεμικών συρράξεων για τον έλεγχο των εναπομεινάντων αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου.



Διάγραμμα 30: Σύμφωνα με το υπέρ – απαισιόδοξο σενάριο η σύγχρονη κοινωνία θα αλλάξει δραματικά λόγω της μη έγκαιρης προετοιμασίας απέναντι στο ενεργειακό πρόβλημα (Πηγή: Oil Scenarios)

Βασικές υποθέσεις του σεναρίου είναι οι ακόλουθες:

1. Δεν πρόκειται να ανακαλυφθούν σημαντικά κοιτάσματα πετρελαίου.
2. Η παραγωγή νέου πετρελαίου δε θα καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση.
3. Οι νέες τεχνολογίες θα αυξήσουν το ρυθμό παραγωγής πετρελαίου αλλά όχι τη συνολική παραγόμενη ποσότητα.
4. Τα δηλωμένα αποθέματα πετρελαίου είναι υπέρ – εκτιμημένα, ιδίως στη Μέση Ανατολή.
5. Οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας δε θα αντικαταστήσουν την πετρελαϊκή προσφορά, με αποτέλεσμα η παγκόσμια οικονομία να εισέλθει σε διαρκή κρίση.
6. Κάθε χώρα θα προσπαθεί να αυτο – συντηρείται εξασφαλίζοντας όση περισσότερη ενέργεια μπορεί για τους πολίτες της.

Στο σενάριο αυτό, οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας δε χρειάζεται να διορθώσουν το ενεργειακό έλλειμμα, μιας και κοινωνικές αλλαγές θα είναι τόσο δυσμενείς που δε θα χρειάζονται πλέον μεγάλες ποσότητες ενέργειας προκειμένου να συντηρείται μια αισθητά αποδυναμωμένη παγκόσμια οικονομία. Σύμφωνα με μια πιο αισιόδοξη εκδοχή του σεναρίου, οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας θα βοηθήσουν την παγκόσμια οικονομία να συνέλθει ελαφρώς μετά το 2050, ύστερα από μια μεγάλη περίοδο κρίσης.

## **Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και προτάσεις**

Καιρός είναι πια να καταλάβουμε ότι η εποχή των τζετ, των ιδιωτικών αυτοκινήτων, των κλιματιστικών, φτάνει σε ένα τέλος, με τη μορφή τουλάχιστον που την ξέρουμε. Κανένα καύσιμο (πχ κάρβουνο, φυσικό αέριο) δεν μπορεί να αντικαταστήσει το πετρέλαιο σε όλες του τις χρήσεις, ακόμη και αν υποθέσουμε ότι θα προλάβαιναν να γίνουν οι απαραίτητες μετατροπές και να χτιστούν νέες εγκαταστάσεις.

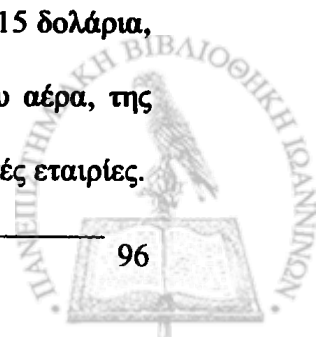


Αν σκεφτούμε την επερχόμενη πετρελαϊκή κρίση σε συνδυασμό με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, τις συνέπειες του οποίου ήδη βιώνουμε, θα καταλάβουμε ότι ο δυτικός πολιτισμός κατασπατάλησε, μέσα σε 100 μόλις χρόνια, πηγές ενέργειας που χρειάστηκαν πεντακόσια εκατομμύρια χρόνια να σχηματιστούν, χωρίς να λογαριάσει τις παρενέργειες για το περιβάλλον, ούτε τα μελλοντικά αδιέξοδα. Σήμερα, μόνη πραγματική λύση είναι η αυστηρή περιογή κάθε ενεργειακής σπατάλης, η ταχεία εξάπλωση των ήπιων μορφών ενέργειας και η στροφή προς κοινωνικά μοντέλα αργής οικονομικής μεγέθυνσης και λελογισμένης κατανάλωσης.

Πρόκειται για μια επείγουσα αναγκαιότητα, που όλο και περισσότερες χώρες την λαμβάνουν υπόψη. Γι' αυτό φροντίζουν τις μαζικές συγκοινωνίες τους, επεκτείνουν τους ποδηλατοδρόμους, κατασκευάζουν βιοκλιματικά σπίτια, στήνουν αιολικά πάρκα, ανακυκλώνουν, αυξάνουν την ενεργειακή απόδοση, κατευθύνουν τις οικονομίες τους προς την ποιοτική ανάπτυξη μάλλον παρά προς την ποσοτική μεγέθυνση.

Οι διορατικοί επενδυτές γνωρίζουν ότι η οικολογική ενέργεια αναμένεται να εξελιχθεί σε μια από τις πλέον επικερδείς επιχειρήσεις του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η αιολική ενέργεια μόνο, αποδίδει σήμερα πάνω από 2,3 δις δολάρια και οι κορυφαίες εταιρίες της ενεργειακής αγοράς έχουν ήδη αρχίσει να επενδύουν σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η Shell εκτιμά ότι το 50% των ενεργειακών αναγκών του κόσμου μπορεί έως το 2050 να καλύπτεται από τέτοιες μορφές ενέργειας.

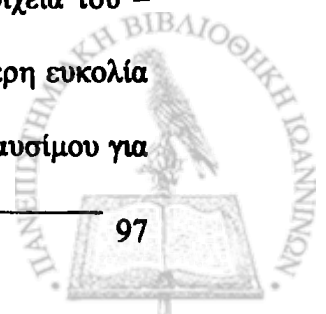
Στο παρελθόν, η μοναδική διαφωνία σχετικά με την ανανεώσιμη ενέργεια ήταν το κόστος: γιατί να ξοδεύουμε στην έρευνα και την εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όταν τα ορυκτά καύσιμα είναι φθηνότερα και σε αφθονία; Οι αντιρρήσεις αυτές όμως εκλείπουν όταν αντιληφθούμε το πραγματικό κόστος της χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Σύμφωνα με το αμερικανικό ινστιτούτο μελετών «Διεθνές Κέντρο για την Αποτίμηση της Τεχνολογίας», το πετρέλαιο που κοστίζει 1 δολάριο στο βενζινάδικο, στην πραγματικότητα κοστίζει 5 – 15 δολάρια, αν λάβουμε υπόψη μας και το μη ορατό κόστος, όπως το κόστος της μόλυνσης του αέρα, της θάλασσας και της ξηράς, και την πολύ μικρή φορολογία που επιβάλλεται στις πετρελαϊκές εταιρίες.



Είναι απαραίτητο να θεμελιωθούν περισσότερο δίκαιες φορολογικές επιβαρύνσεις, που θα ανταμείψουν τις καθαρότερες τεχνολογίες και θα ωθήσουν επενδυτικά κεφάλαια προς τις ανανεώσιμες τεχνολογίες και τις ηπότερες μορφές ενέργειας. Για παράδειγμα, στη Μεγάλη Βρετανία έως το 2012, το 10% της ηλεκτρικής ενέργειας που θα παράγουν οι εταιρίες ενέργειας θα πρέπει να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Αλλά και οι καταναλωτές ωθούνται προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας έδωσε το δικαίωμα στους καταναλωτές της Ε.Ε. να επιλέγουν την εταιρία που θα παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα στην οικία τους. Πολλοί ήταν αυτοί που στράφηκαν στις εταιρίες με τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές ανησυχίες και σήμερα υπάρχουν πολλές εταιρίες που παρέχουν πράσινο ηλεκτρικό ρεύμα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Μέσα στα επόμενα χρόνια, οι πηγές αυτές θα αυξάνονται εις βάρος των ορυκτών καυσίμων και της πυρηνικής ενέργειας, ενώ σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα, θα μπορέσουν να αντικαταστήσουν τις συμβατικές πηγές παροχής ισχύος. Αν συμβεί αυτό, ένα είναι το πρόβλημα που θα πρέπει να ξεπεραστεί: η δυνατότητα πρόβλεψης της ζήτησης. Η ενέργεια είναι χρήσιμη μόνο εάν είναι στην κατάλληλη θέση, με την κατάλληλη μορφή και στον κατάλληλο χρόνο. Οι ενεργειακοί σταθμοί φυσικού αερίου μπορούν να τίθενται εντός ή εκτός λειτουργίας ανάλογα με τις απαιτήσεις, αλλά αυτό δεν είναι δυνατό να γίνει με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μιας και δε μπορούμε να ελέγξουμε την ισχύ του ανέμου, των κυμάτων και της παλίρροιας.

Η απάντηση βρίσκεται στην αποθήκευση της πλεονάζουσας ανανεώσιμης μορφής ενέργειας και στην ελεγχόμενη απελευθέρωσή της, ανάλογα με τις απαιτήσεις κατανάλωσης. Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα με την ανύψωση της ενεργειακής στάθμης όταν η ενέργεια είναι άφθονη, και την απελευθέρωσή της σε στιγμές έντονη ζήτησης. Περισσότερο προηγμένες τεχνολογίες προτείνουν μια καλύτερη λύση: η πλεονάζουσα ανανεώσιμη ενέργεια, με τη μορφή ηλεκτρικού ρεύματος ή θερμότητας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαχωρίσει το νερό στα θεμελιώδη στοιχεία του – υδρογόνο και οξυγόνο. Τα αέρια αυτά μπορούν να υγροποιηθούν, για ακόμη μεγαλύτερη ευκολία αποθήκευσης και μεταφοράς, και στη συνέχεια να ενωθούν πάλι μέσω μιας κυψέλης καυσίμου για



την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κυψέλες καυσίμου έχουν αποδόσεις που ξεπερνούν το 70% και το μόνο τους κατάλοιπο είναι το νερό. Ήδη χρησιμοποιούνται για την παροχή κίνησης σε λεωφορεία και αυτοκίνητα και από πολλούς θεωρούνται ως η απόλυτη πηγή ισχύος του μέλλοντος.

Ως κατευθύνσεις μελλοντικής έρευνας μπορούν να προταθούν η συγκριτική οικονομική ανάλυση των πηγών ενέργειας, η εξέταση της μεθόδου πρόβλεψης του Hubbert, η διεύρυνση των εναλλακτικών σεναρίων εξέλιξης του προβλήματος, η μελέτη περιπτώσεων χωρών και εταιριών στη μετά – πετρελαϊκή εποχή.

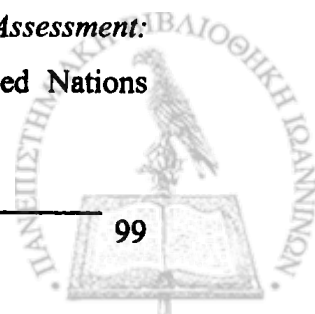
Μέσα από τα εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης και αντιμετώπισης του προβλήματος γίνεται αντιληπτή η άμεση ανάγκη σταδιακής αντικατάστασης του πετρελαίου από εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Για τη χώρα μας η ανάγκη πετρελαϊκής ανεξάρτησης είναι ακόμη μεγαλύτερη, καθώς ο βαθμός εξάρτησης από το πετρέλαιο είναι πολύ μεγαλύτερος έναντι του μέσου ευρωπαϊκού όρου (65% έναντι 50%). Πρόταση της μελέτης είναι το ετήσιο ποσοστό αντικατάστασης του πετρελαίου από εναλλακτικές πηγές ενέργειας να είναι μεγαλύτερο στην ελληνική περίπτωση και να φτάνει το 2% έναντι 1.5% του ευρωπαϊκού. Ειδικότερα οι ΑΠΕ μπορούν να αποτελέσουν για τη χώρα μας συγκριτικό πλεονέκτημα και αιτία όχι μόνο συγκράτησης των ελληνικών κεφαλαίων στη χώρα αλλά πολύ περισσότερο προσέλκυσης άμεσων ξένων επενδύσεων.



## Κεφάλαιο 6: Πηγές

### Βιβλιογραφία

1. **Adelman M.A. (1995)**, *The genie is out of the bottle: world oil since 1970*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
2. **Azar C. & Lindgren K. & Andersson B.A. (2003)**, *Global Energy Scenarios Meeting Stingent CO2 Constraints – Cost Effective Fuel Choices in the Transportation Sector*. Elsevier: Energypolicy.
3. **Barry R.A. (1993)**, *The Management of International Oil Operations*. Tulsa: PennWell Books.
4. **Campbell C.J. (2005)**, *Oil Crisis*. Essex: Multi – Science Publishing Copany Ltd.
5. **Deffeyes K.S. (2005)**, *Beyond Oil: The View from Hubbert's Peak*. New York: Hill & Wang.
6. **Eastop T.D. & Croft D.R. (1996)**, *Energy Efficiency*. London: Longman.
7. **Geller H. (2003)**, *Energy Revolution: Policies for a Sustainable Future*. Washington: Island Press.
8. **Goldberg J. (1996)**, *Energy, Environment & Development*. U.K.: Earthscan.
9. **Goodstein D. (2004)**, *Out of Gas: The End of the Age of Oil*. New York: W.W. Norton & Company.
10. **Heinberg R. (2005)**, *Power Down: Options and Actions for a Post – Carbon World (4<sup>th</sup> printing)*. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers.
11. **Kleinpeter M. (1995)**, *Energy Planning and Policy*. Chichester: J. Wiley.
12. **Kraushaar J.J. & Ristinen R.A. (1993)**, *Energy and Problems of a Technical Society (2<sup>nd</sup> ed.)*. Chichester: J. Wiley.
13. **Roberts P. (2005)**, *The End of Oil: On the Edge of a Perilous New World*. New York: Houghton Mifflin Company – Mariner Books.
14. **Schipper L. & Meyers S. (1995)**, *Energy Efficiency and Human Activity*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
15. **Shepherd W. & Shepherd D.W. (1998)**, *Energy Studies*. London: Imperial College Press.
16. **Turkenburg W.C. (2000)**, Renewable Energy Technologies. In: *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability*, pp. 76 – 92, New York: United Nations Development Programme.



17. **Yergin D. (1991)**, *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money and Power*. New York: Simon and Schuster.
18. **Walisiewicz M. (2003)**, *Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας: Ένας Οδηγός για αρχάριους για το μέλλον της ενεργειακής τεχνολογίας*, Αθήνα: Η Καθημερινή.

## **Αρθρογραφία**

1. **Adelman M.A. (2002)**, World Oil Production & Prices 1947 – 2000. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, vol. 42, pp.169 – 191.
2. **Aleklett K. & Campbell C.J. (2003)**, The Peak and Decline of World Oil and Gas Production. *Minerals & Energy*, vol. 18, no. 1, pp.34 – 51.
3. **Baker Institute Study (2000)**, Japanese Energy Security and Changing Global Energy Markets: An Analysis of Northeast Asian Energy Co – operation and Japan's Evolving Leadership Role in the Region. *James Baker III Institute for Public Policy of Rice University*, no.13, pp. 89 – 121.
4. **Bauquis P.R. (2003)**, A Reappraisal of Energy Supply and Demand in 2050. *Oil & Gas Science and Technology*, vol. 56, no. 4, pp.389 – 402.
5. **Hirsch R.L. (2005)**, The Inevitable Peaking of World Oil Production. *The Atlantic Council of the United States*, vol. 16, no. 3, pp.1 – 9.
6. **Hubbert, M.K. (1956)**, Nuclear Energy and the Fossil Fuels. *Presented before the Spring Meeting of the Southern District, American Petroleum Institute, Plaza Hotel, San Antonio, Texas, March 7-8-9.*
7. **Sinton J.E., Levine M.D. & Qingyi W. (1998)**, Energy Efficiency in China: Accomplishments and Challenger. *Energy Policy*, vol. 26, pp.813 – 830.
8. **Youngquist W. & Duncan R.C. (2003)**, North American Natural Gas: Data Show Supply Problems. *Natural Resources Research*, vol. 12, no. 4, pp.286 – 304.



## Διαθέσιμες Πηγές στο Διαδίκτυο

1. Οικολογική Επιθεώρηση (2004), *Η Πετρελαϊκή κρίση άρχισε!*: <http://www.oikologos.gr/News2004/0141.html>
  2. Abernathy V.D. (2001), *Carrying Capacity: The Tradition and Policy Implications of Oil Limits*. Science & Environmental Politics <http://www.esep.de/articles/esep/2001/article1.pdf>
  3. Campbell C.J. & Laherrere J.H. (1998), *The End of Cheap Oil*, Scientific American, <http://dieoff.org/page140.htm>
  4. Francis David R. (2004), *Has global oil production peaked?*: <http://www.climateark.org/articles/reader.asp?linkid=28900>  
Hanson J. (2001), *Die Off Oil Depletion*: <http://dieoff.org/synopsis.htm>  
Laherrere J.H. (2000), *The Hubbert Curve: Its Strengths and Weaknesses*, <http://dieoff.org/page191.htm>
  5. Swenson B.R. & de Winter F. (2005), *The Production Peaks in Petroleum and Natural Gas: Information, Misinformation, Awareness, and Implications*: <http://www.ecotopia.com/ises/2005/OilGasProduction.pdf>
- 
- ❖ Γ' Κοινοτικό πλαίσιο Στήριξης: [www.3kps.gr/](http://www.3kps.gr/)
  - ❖ Γενική Γραμματεία Έρευνας & Τεχνολογίας: [www.gsrt.gr/](http://www.gsrt.gr/)
  - ❖ Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας: [www.desmie.gr/](http://www.desmie.gr/)
  - ❖ Διεθνής Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας (ΙΑΕΑ): [www.iaea.org](http://www.iaea.org)
  - ❖ Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας (ΙΕΑ): [www.iea.org](http://www.iea.org)
  - ❖ Δημόσια Επιχείρηση Αερίου Α.Ε.: [www.depa.gr/](http://www.depa.gr/)
  - ❖ Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε.: [www.dei.gr/](http://www.dei.gr/)
  - ❖ Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας: [www.statistics.gr/](http://www.statistics.gr/)
  - ❖ Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος & Αειφόρου Ανάπτυξης: <http://www.ekpaa.gr/>
  - ❖ Ελληνικά Πετρέλαια (ΕΛ.ΠΕ.): [www.hellenic-petroleum.gr/index\\_gr.html](http://www.hellenic-petroleum.gr/index_gr.html)
  - ❖ Ελληνικός Σύνδεσμος Ηλεκτροπαραγωγών από ΑΠΕ: [www.hellasres.gr/](http://www.hellasres.gr/)
  - ❖ Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας: <http://www.hachp.gr/>
  - ❖ Ένωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας: [www.ebhe.gr/](http://www.ebhe.gr/)



- ❖ **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ):** [http://www.cres.gr/kape/index\\_gr.htm](http://www.cres.gr/kape/index_gr.htm)
- ❖ **Πανελλήνια Ομοσπονδία Ιδιοκτητών Ακινήτων (Π.Ο.Μ.Ι.Δ.Α.):** [www.pomida.gr/](http://www.pomida.gr/)
- ❖ **Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας:** [www.rae.gr](http://www.rae.gr)
- ❖ **Σύνδεσμος Φωτοβολταϊκών Εταιρειών:** <http://www.helapco.gr/>
- ❖ **Υπουργείο Ανάπτυξης:** [www.ypan.gr](http://www.ypan.gr)
- ❖ **Υπουργείο Οικονομίας & Οικονομικών:** [www.ypetho.gr/](http://www.ypetho.gr/)
- ❖ **Υπουργείο Χωροταξίας, Περιβάλλοντος & Δημοσίων Έργων:** <http://www.minenv.gr/>

**Ελληνικές Επιχειρήσεις στο χώρο των ΑΠΕ:**

- ❖ **ΑΙΟΛΙΚΗ REPOWER ΑΕ:** <http://www.repower.gr>
- ❖ **ΓΚΑΜΕΣΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΛΛΑΣ ΑΕ:** <http://www.gamesa.gr>
- ❖ **ΔΙΕΚΑΤ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΒΕΤΕ:** <http://www.diekat.gr>
- ❖ **ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΔΟΜΙΚΗ ΑΕ:** <http://www.etae.com>
- ❖ **ΕΝΤΕΚΑ ΑΕ:** <http://www.enteka.gr>
- ❖ **ΘΕΜΕΛΙΟΔΟΜΗ ΑΕ:** <http://www.themeliodomi.gr> & <http://www.heliiodomi.gr>
- ❖ **ΚΤΙΣΤΟΡ ΑΤΕ:** <http://www.ktistor.gr>
- ❖ **METKA ΑΕ:** <http://www.metka.gr>
- ❖ **ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΒΕΤΕ:** <http://www.terna-energy.gr> & <http://www.terna.gr>
- ❖ **ΤΟΜΗ ΑΤΕ:** <http://www.tomi.gr>
- ❖ **AGORES - A Global Overview of Renewable Energy Systems:** [www.agores.org](http://www.agores.org)
- ❖ **Association for the Study of Peak Oil & Gas (ASPO):**  
<http://www.peakoil.net/USDOE.html>
- ❖ **Beyond Peak:** <http://www.beyondpeak.com/>
- ❖ **CADDETT Renewable Energy (IEA/OECD):** [www.caddett-re.org](http://www.caddett-re.org)
- ❖ **Clean Edge:** [www.cleannedge.org](http://www.cleannedge.org)
- ❖ **Greenpeace:** [www.greenpeace.gr](http://www.greenpeace.gr)
- ❖ **International Energy Agency (IEA):** [www.iea.org](http://www.iea.org)
- ❖ **Marketbuzz:** [www.marketbuzz.com](http://www.marketbuzz.com)
- ❖ **Oil Crash:** <http://www.oilcrash.com/>
- ❖ **Oil Scenarios:** <http://www.oilscenarios.info/>
- ❖ **Peak Oil Organization:** <http://www.peakoil.org/>
- ❖ **Peak Oil Action:** <http://www.peakoilaction.org/>



- ❖ **Photon International:** [www.photon.org](http://www.photon.org)
- ❖ **Post – Carbon Institute:** <http://www.postcarbon.org/>
- ❖ **Renewable Energy Access:** [www.renewableenergyaccess.com](http://www.renewableenergyaccess.com)
- ❖ **Renewable Energy World:** [www.renewable-energy-world.com](http://www.renewable-energy-world.com)
- ❖ **Shell:** [www.shell.com](http://www.shell.com)
- ❖ **Statoil:** [www.statoil.com](http://www.statoil.com)
- ❖ **Surviving Peak Oil:** <http://www.survivingpeakoil.com/>
- ❖ **The Coming Global Oil Crisis:** <http://www.oilcrisis.com/>.
- ❖ **The Worldwatch Institute:** [www.worldwatch.org](http://www.worldwatch.org)



**Παράρτημα 1: NUCLEAR ENERGY AND THE FOSSIL FUELS  
BY  
M. KING HUBBERT**

**CONSULTANT (GENERAL GEOLOGY)**

**Spring Meeting of the Southern District**

**Division of Production**

**American Petroleum Institute Plaza Hotel, San Antonio, Texas March 7-8-9, 1956**

**PUBLICATION NO. 95**

**SHELL DEVELOPMENT COMPANY**

**EXPLORATION AND PRODUCTION RESEARCH DIVISION**

**HOUSTON, TEXAS**

**JUNE 1956**

**To be published in *Drilling and Production Practice* (1956) American Petroleum Institute**

**NUCLEAR ENERGY AND THE FOSSIL FUELS\* BY M. KING HUBBERT\*\***

The evolution of our knowledge of petroleum since Colonel Drake's discovery of oil in Titusville, Pennsylvania, nearly a century ago, resembles in many striking respects the evolution of knowledge of world geography which occurred during the century following Columbus' discovery of America. During that period several continents, a number of large islands, and numerous smaller islands were discovered, but how many more might there be? Also during that period geographical charts had to be continuously revised in order to incorporate the new discoveries that were repeatedly being made, and also to correct some earlier speculations which had proved to be seriously in error. In addition, more detailed knowledge of the shore lines and other features of the areas discovered earlier was rapidly accruing, which also had to be added to the charts.

\*Publication No. 95, Shell Development Company, Exploration and Production Research Division, Houston, Texas.

\*\*Chief Consultant (General Geology).

Then, as now, a voyager starting out on a major expedition of discovery needed to equip himself with charts of two kinds. He needed the large-scale detailed charts for piloting along known shores, and the comprehensive charts of whole oceans, or even of the known world, as a guide for his major navigations.

Likewise, for the petroleum industry the last century has been a period of bold adventure and discovery. Whole petroleum provinces analogous to the continents have been discovered and partly explored; a few tens of very large fields, corresponding to the large islands, and hundreds of small fields, the small islands, have been discovered. But how far along have we come on our way to complete exploration?

In the petroleum industry, for the last several decades - particularly in the United States - we have been conscious of a need for charting our progress, and thanks to the services of the American Petroleum Institute, the American Gas Association, the Petroleum Branch of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, the American Association of Petroleum Geologists, the United States Geological Survey and Bureau of Mines, we have been able to chart with considerable accuracy our past accomplishments, and our present status with regard to a short-term outlook. Longer-range reviews have had to be made with respect to specific problems, such as whether to build a given pipeline or refinery. But for the most part our outlook has been dominantly contemporary with concern principally for the next few years, and with only occasionally (Weeks, 1948 1950a, 1950b; Ayres, 1948, 1952, 1953a, 1953b, 1955;

Hubbert, 1950a; Ayres and Scarlott, 1952; Putnam, 1953; Brown, 1954) a bolder adventure into the more distant future.

To continue the navigation analogy, what we seem to have achieved is an abundance of detailed charts of local areas, with only an occasional attempt to construct, shall we say, a map of the whole world which, despite its inherent imperfections, is still necessary if we are to have even an approximate idea of where we are now, and where we are going. The object of this discourse will be to see what can be done in this direction with the information presently available.

As a general orientation, let us consider that the petroleum industry is primarily an energy industry and secondarily a chemical industry. As an energy industry it utilizes the energy content of certain naturally occurring chemicals, namely the liquid and gaseous hydrocarbons. As a chemical industry it utilizes the material content of these same resources as constituting a complex array of organic molecules which have already been synthesized and are therefore available as the starting point of a series of enormously complex organic chemical products. In this respect it is again only one aspect of a much broader chemical industry utilizing coal, inorganic minerals, and plant and animal raw materials, in addition to petroleum.

The fossil fuels, which include coal and lignite, oil shales, and tar and asphalt, as well as petroleum and natural gas, have all had their origin from plants and animals existing upon the earth during the last 500 million years. The energy content of these materials has been derived from that of the contemporary sunshine, a part of which has been synthesized by the plants and stored as chemical energy. Over the period of geological history extending back to the Cambrian, a small fraction of these organisms have become buried in sediments under conditions which have prevented complete deterioration, and so, after various chemical transformations, have been preserved as our present supply of fossil fuels. When we consider that it has taken 500 million years of geological history to accumulate the present supplies of fossil fuels, it should be clear that, although the same geological processes are still operative, the amount of new fossil fuels that is likely to be produced during the next few thousands of years will be inconsequential. Therefore, as an essential part of our analysis, we can assume with complete assurance that the industrial exploitation of the fossil fuels will consist in the progressive exhaustion of an initially fixed supply to which there will be no significant additions during the period of our interest.

Throughout all human history until about the thirteenth century, the human race, in common with all other members of the plant and animal complex, had been solely dependent upon the contemporary solar energy which it had been able to command. This comprised the energy from the food it was able to consume, that of the wood burned for fuel, and a trivial amount of power obtained from beasts of burden, from wind, and from flowing water.

The episode of our present concern began when the inhabitants of northeast England discovered that certain black rocks found along the seashore, and thereafter known as "sea coles," would burn. Thus began the mining of coal and the first systematic exploitation of the earth's supply of fossil fuels. Its greatest significance, however, lay in the fact that for the first time in human history mankind had found a huge supply of concentrated energy by means of which the energy that could be commanded by one person could be greatly increased. The industrialization of the world with its concomitant consequences for the human population has been the direct result of that initial discovery.

To the energy obtained from coal there has been added, since about the middle of the last century, that from petroleum and natural gas, and a limited amount from oil shale.

Time does not permit of even a summary of the major consequences of the utilization of these two sources of energy, but as history shows, the immensity of human operations has been increased by several orders of magnitude.

### Rise of Production of Fossil Fuels

No better record exists of the history of the exploitation of the fossil fuels than the annual statistics of their production. In Figure 1 there has been plotted the world production of coal since 1860 (United Nations, 1955), in Figure 2 the world production of crude oil, and in Figure 3 the combined production of energy from coal and crude oil.

The production of coal in the United States is shown in Figure 4, that of crude oil in Figure 5, and the production of marketed natural gas in Figure 6. The production of crude oil in Texas is shown in Figure 7,

and that of marketed natural gas in Figure 8.

Since these curves embody just about all that is essential in our knowledge of the production of energy from the fossil fuels on the world, a national, and a state scale, it is worth our attention to study them briefly. In the first place, it will be noted that there is a strong family resemblance among them. Each curve starts slowly and then rises more steeply until finally an inflection point is reached after which it becomes concave downward. For the world coal production this point was reached about the beginning of World War I, and for world petroleum production it appears to have been as recently as 1951 or 1952.

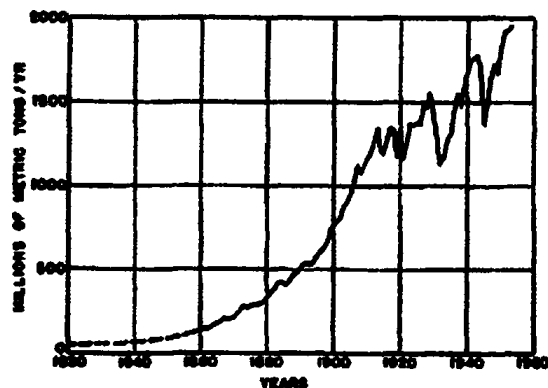


Figure 1 - World production of coal.

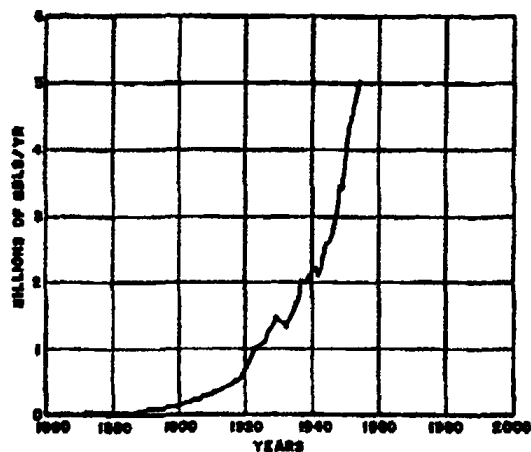


Figure 2 - World production of crude oil.

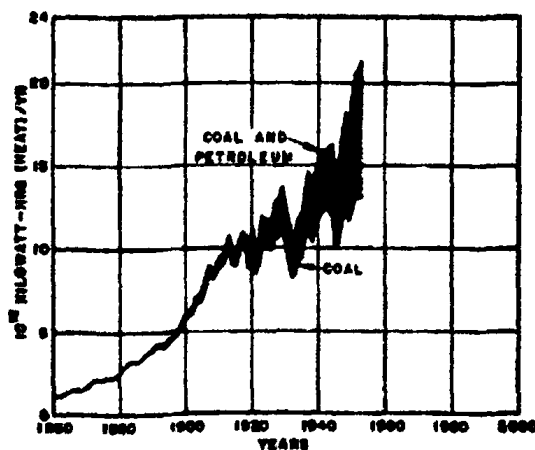


Figure 3 - World production of energy from coal and crude oil.

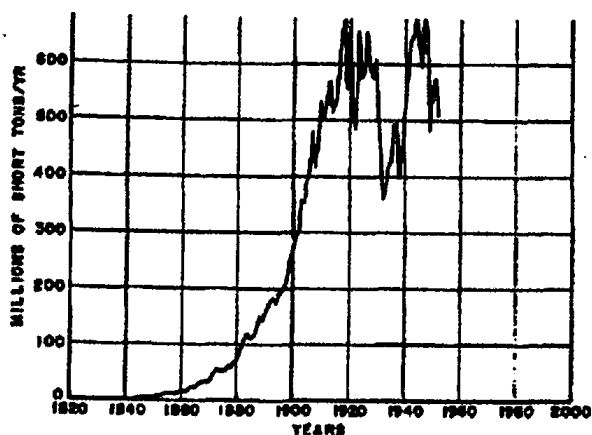


Figure 4 - United States production of coal.

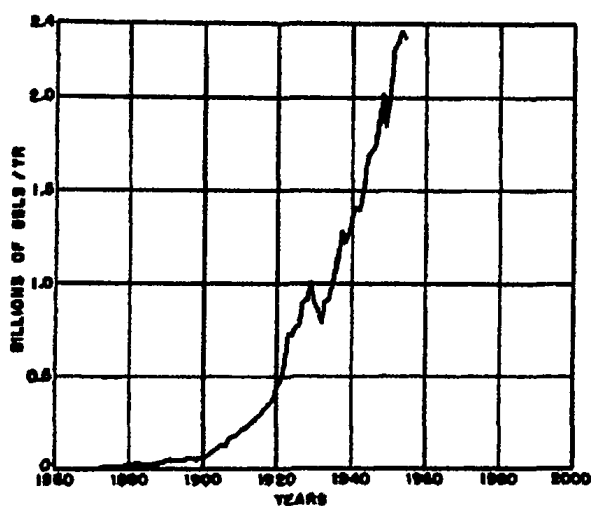


Figure 5 - United States production of crude oil.

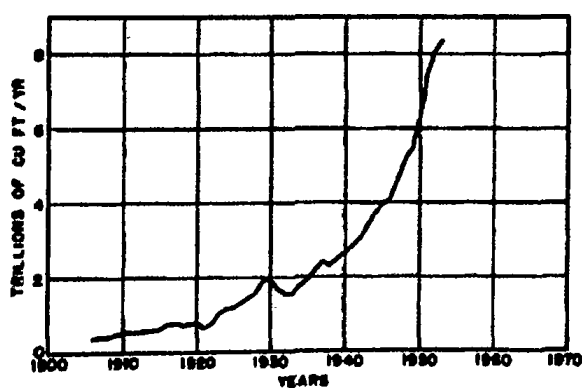


Figure 6 - Marketed natural gas produced in the United States.



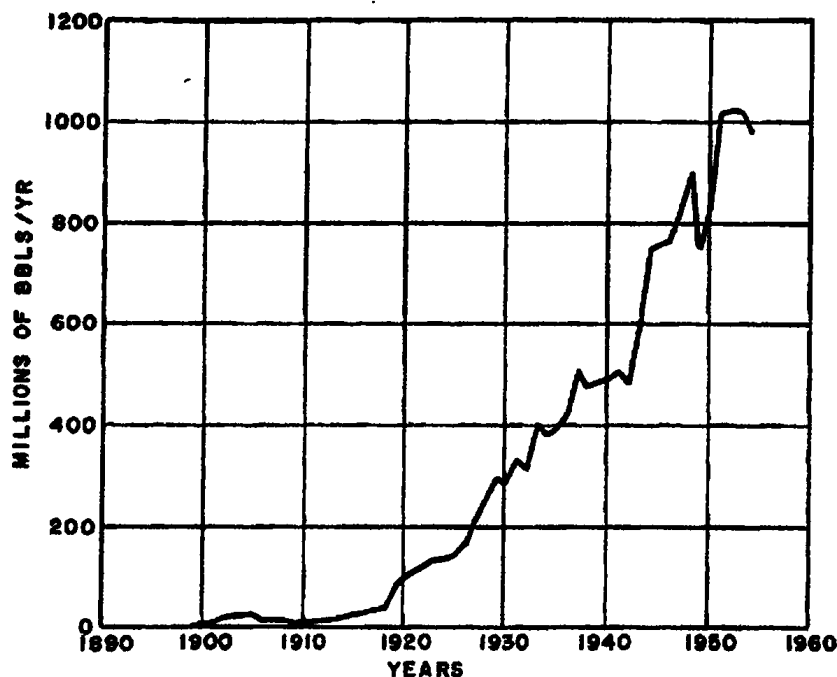


Figure 7 - Texas production of crude oil.

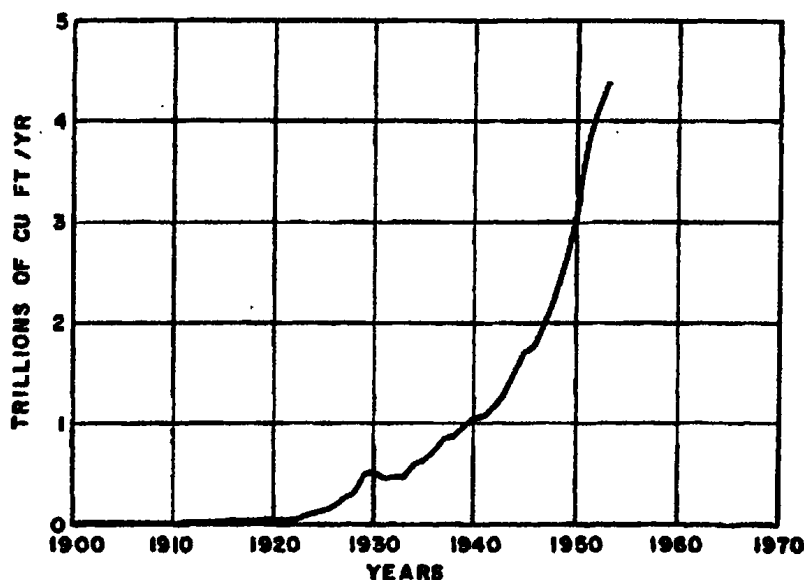


Figure 8 - Marketed natural gas produced in Texas.

For the production of coal in the United States the inflection point also occurred about 1914, and the inflection points for petroleum and natural gas apparently about 1952. The inflection points for the Texas production of oil and gas occur at about the same dates as those for the United States.

A more informative representation of the rate of growth of the production can be obtained by plotting the logarithm of the production rate versus time on semilogarithmic graph paper. This has been done in Figures 9 and 10 for the United States production of coal and crude oil, respectively. It will be noted in each case that the curve approximates a straight line until some definite date and then breaks away sharply downward. In the case of coal this departure from a straight line occurred about 1910, and for crude oil about 1930. All the other production curves shown in the preceding figures behave in a similar manner.

The significance of this is that during the initial stages all of these rates of production tend to increase

exponentially with time. Coal production in the United States from 1850 to 1910 increased at a rate of 6.6 percent per year, with the production doubling every 10.5 years. Crude-oil production from 1880 until 1930 increased at the rate of 7.9 percent per year, with the output doubling every 8.7 years.

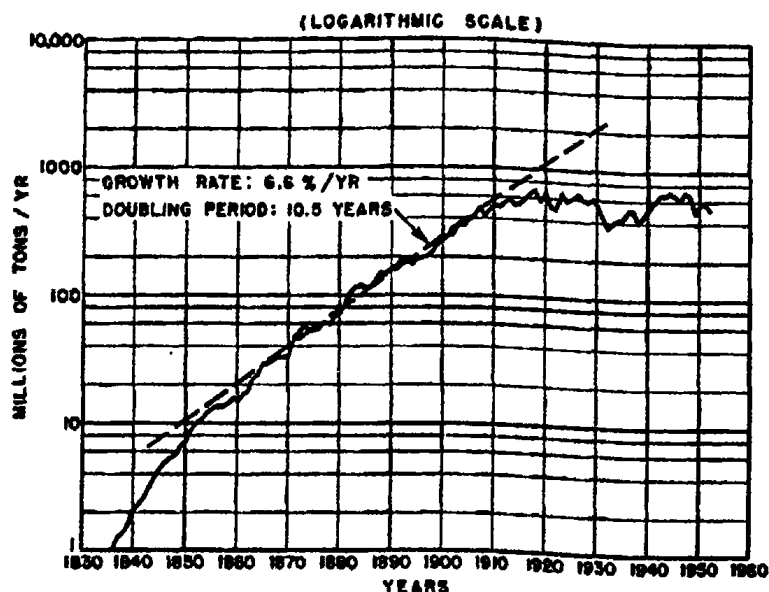


Figure 9 - Coal production of the United States plotted on semilogarithmic scale.

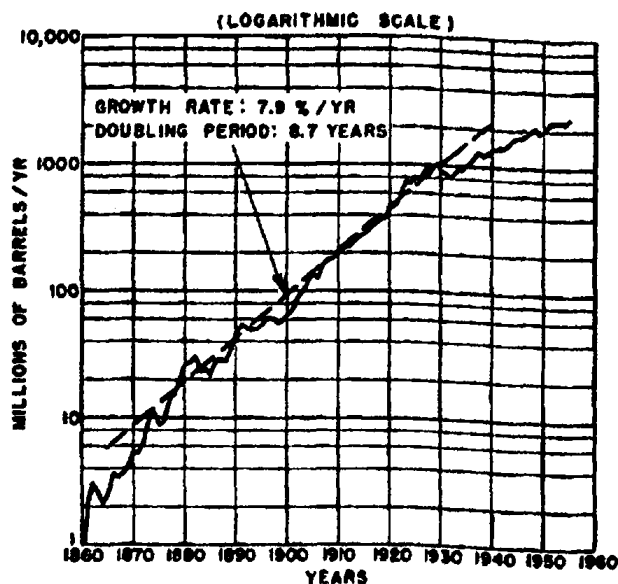


Figure 10 - Crude-oil production in the United States plotted on semilogarithmic scale.

During the corresponding growth phases, world production of coal increased at the rate of 4.3 percent per year, with production doubling every 16 years, and world production of crude oil increased at a rate of 7 percent per year, with the rate of output doubling every 10 years.

These facts alone force one to ask how long such rates of growth can be kept up. How many periods of doubling can be sustained before the production rate would reach astronomical magnitudes? That the number must be small can be inferred from the fact that after  $n$  doubling periods the production rate will be increased by a factor of  $2^n$ . Thus in ten doubling periods the production rate would increase by a thousandfold; in twenty by a millionfold. For example, if at a certain time the production rate were 100 million

barrels of oil per year - the U.S. production in 1903 - then in ten doubling periods this would have increased to 100 billion barrels per year. No finite resource can sustain for longer than a brief period such a rate of growth of production; therefore, although production rates tend initially to increase exponentially, physical limits prevent their continuing to do so.

This rapid rate of growth shown by the production curves makes them particularly deceptive with regard to the future length of time for which such production may be sustained. For example, coal has been mined continuously for about 800 years, and by the end of 1955 the cumulative production for all of this time was 95 billion metric tons. It is somewhat surprising, however, to discover that the entire period of coal mining up until 1925 was required to produce the first half, while only the last 30 years has been required for the second half.

Similarly, petroleum has been produced in the United States since 1859, and by the end of 1955 the cumulative production amounted to about 53 billion barrels. The first half of this required from 1859 to 1939, or 80 years, to be produced; whereas, the second half has been produced during the last 16 years.

A more effective means (Hubbert, 1950a, 1950b) of extrapolating such growth curves is afforded by two basic considerations: (1) For any production curve of a finite resource of fixed amount, two points on the curve are known at the outset, namely that at  $t = 0$  and again at  $t = \infty$ . The production rate will be zero when the reference time is zero, and the rate will again be zero when the resource is exhausted; that is to say, in the production of any resource of fixed magnitude, the production rate must begin at zero, and then after passing through one or several maxima, it must decline again to zero. (2) The second consideration arises from the fundamental theorem of the integral calculus; namely, if there exists a single-valued function  $y = f(x)$ , then

$$\int_0^{x_1} y dx = A, \quad (1)$$

where A is the area between the curve  $y = f(x)$  and the x-axis from the origin out to the distance  $x_1$ . In the case of the production curve plotted against time on an arithmetical scale, we have as the ordinate

$$P = dQ/dt, \quad (2)$$

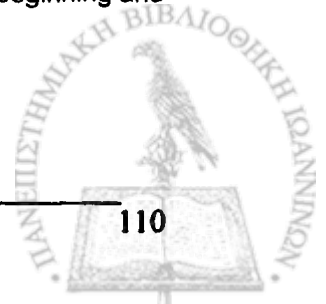
where  $dQ$  is the quantity of the resource produced in time  $dt$ . Likewise, from equation (1) the area under the curve up to anytime  $t$  is given by

$$A = \int_0^t P dt = \int_0^t (dQ/dt) dt = Q, \quad (3)$$

where Q is the cumulative production up to the time  $t$ . Likewise, the ultimate production will be given by

$$Q_{\max} = \int_0^{\infty} P dt, \quad (4)$$

and will be represented on the graph of production-versus-time as the total area beneath the curve. These basic relationships are indicated in Figure 11. The only a priori information concerning the magnitude of the ultimate cumulative production of which we may be certain is that it will be less than, or at most equal to, the quantity of the resource initially present. Consequently, if we knew the quantity initially present, we could draw a family of possible production curves, all of which would exhibit the common property of beginning and ending at zero, and encompassing an area equal to or less than the initial quantity.



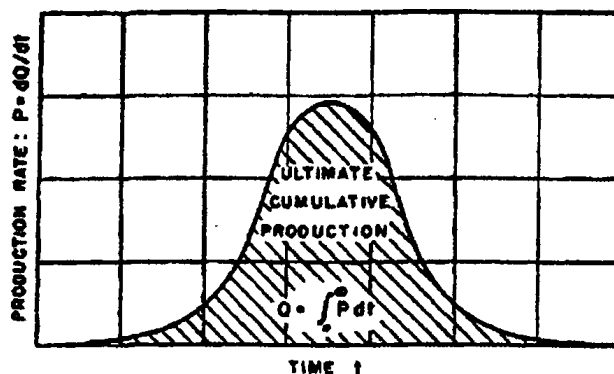


Figure 11 - Mathematical relations involved in the complete cycle of production of any exhaustible resource.

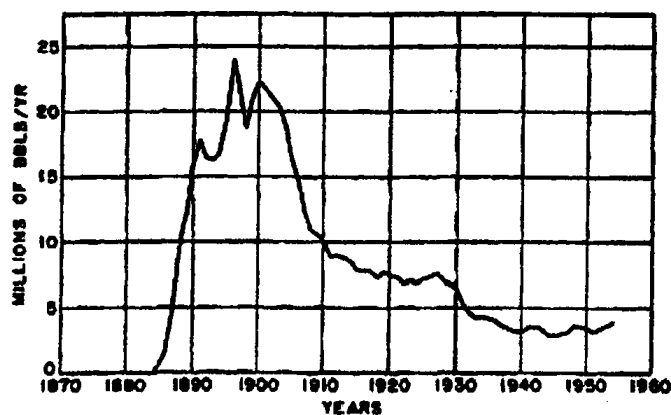


Figure 12 - Ohio production of crude oil.

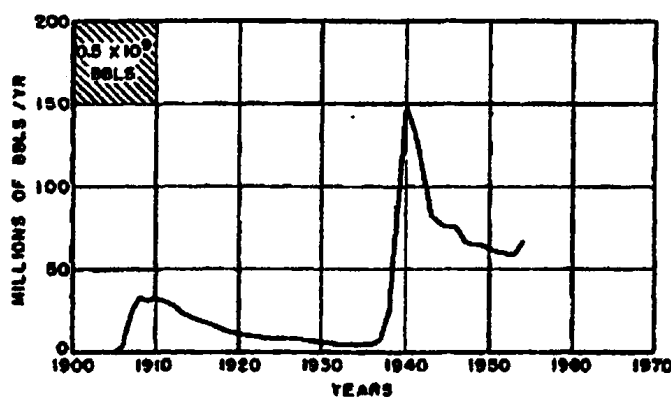


Figure 13 - Illinois production of crude oil.

That the production of exhaustible resources does behave in this way can be seen by examining the production curves of some of the older producing areas. In Figure 12, for example, there is shown the crude-oil production curve for the state of Ohio. In this case the production began its initial sharp rise in 1884, passed through three maxima between 1890 and 1900 with the peak about 1896, and since then has undergone a slow, steady decline.

In Figure 13 is shown the corresponding curve for the state of Illinois, which is distinguished by having two widely separated and well-defined maxima, the second considerably larger than the first. The reason for these two maxima is well known. With the exception of occasional outcrops in local areas, the state of Illinois is almost completely blanketed by glacial drift. The first period of discovery, beginning about 1905, was based on surface geology with meager outcrop data. Consequently in about five years most of the discoveries amenable to this method had been made and for the next 25 years these fields continued to

produce at declining rates with no new discoveries being made. It was well known geologically, however, that the whole Illinois Basin was potentially oil bearing, which was later verified when a new cycle of exploration using the seismograph was initiated in 1937. The peak of this cycle of production was reached in 1940, with the subsequent decline continuing until 1953 following which there has been a slight increase of production.

The present outlook for Illinois has recently been summarized by Vincent and Witherspoon (1955) of the Illinois State Geological Survey. Cumulative production until July 1, 1955, was 1.8 billion barrels, and reserves from existing fields were estimated to be 0.5 billion barrels by primary methods of production and 1.0 billion barrels by water flooding. In addition, the rocks of Middle Ordovician age (below the St. Peter sandstone) have not yet been explored, so that undiscovered reserves are estimated at from 0.5 to 1 billion barrels. The ultimate cumulative production from Illinois is estimated, therefore, at about 4 billion barrels.

On the graph of Illinois production (Figure 13), each square of the grid represents 0.5 billion barrels so that a total of eight squares can be allowed under the curve before it declines to zero. Three and one-half squares have already been used up, leaving about four and one-half still to go. This implies that a third cycle of discovery and production is still due to occur in Illinois, yielding about as much oil as has been produced already, but no fourth cycle appears likely.

### **Reserves of the Fossil Fuels**

**Coal.**—In order to predict the future of the production of the fossil fuels, therefore, it is essential that the best possible estimates of the ultimate reserves be made. In the case of coal world-wide inventories have been made and revised intermittently since 1913. During the last decade an extensive re-examination of the coal reserves of the United States has been in progress by the United States Geological Survey, whose staff has also maintained current information on the reserves of the world. The results of the latest progress report of the Geological Survey (Averitt, Berryhill, and Taylor, 1953), of the recoverable coal reserves of the world, are shown graphically in Figure 14. The total recoverable coal and lignite reserves of the world are now estimated to be about 2500 billion metric tons, of which the United States has about one-third, the U.S.S.R. about one-fourth, and China about one-fifth of the total.

The sharp contrast between these figures and earlier estimates of about 6000 billion metric tons for the whole world requires explanation. The earlier estimates included both thin and deep beds of coal without too much regard for practicable minability. The later estimates have been restricted to beds that are more workable; this has resulted in a reduction from around 6000 to about 5000 billion metric tons. More seriously, however, the earlier estimates were of coal in place, whereas the data given in Figure 14 represent recoverable coal assuming a 50-percent loss in mining. This makes the coal reserves directly comparable to the data for petroleum reserves, which also are based upon recoverable oil rather than oil in place.



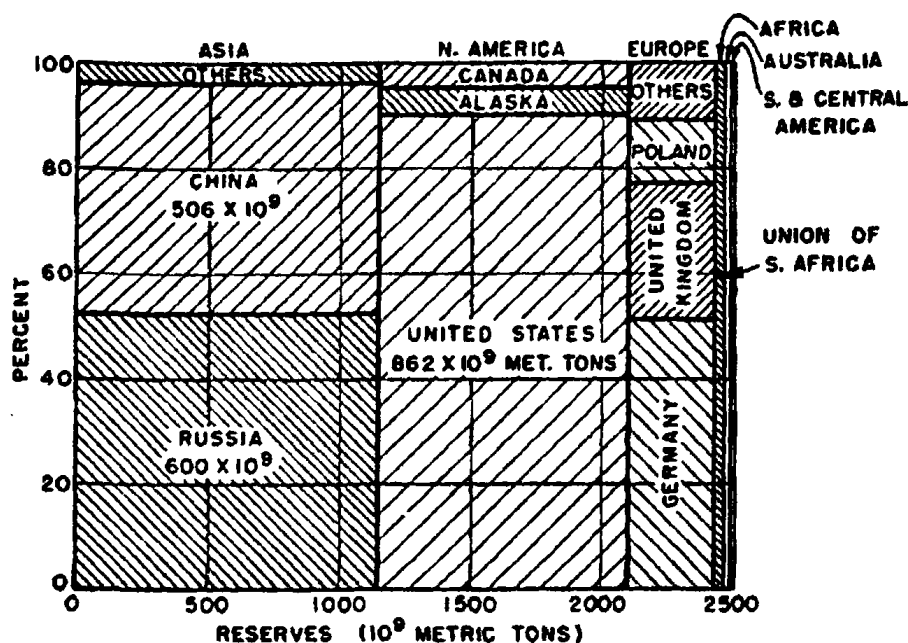


Figure 14 - World recoverable coal reserves assuming 50-percent loss in mining (U.S. Geol. Surv.).

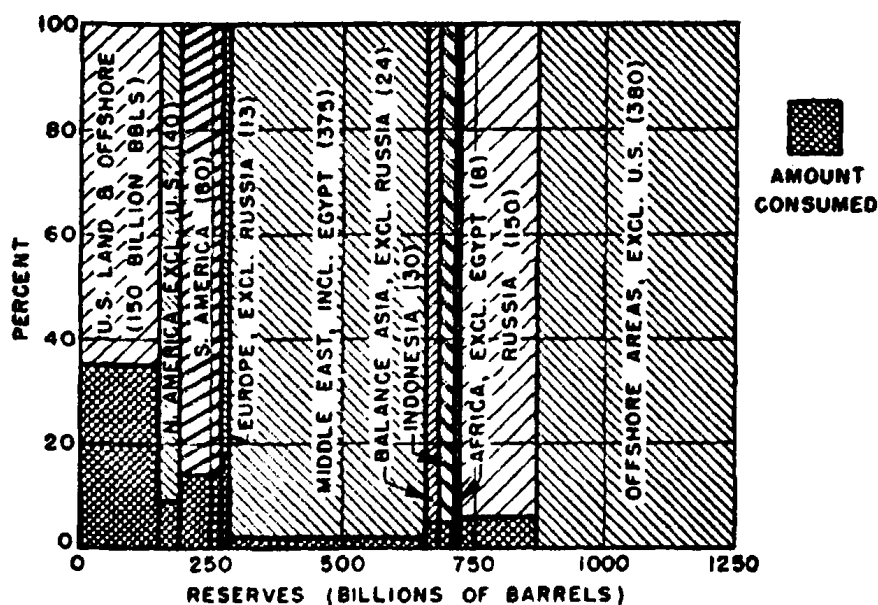


Figure 15 - Estimated world crude-oil reserves initially present which are producible by present methods (modified after L. G. Weeks).

Crude Oil and Natural Gas.— The comparable data for world crude-oil reserves are presented in Figure 15. Here the distinction must be borne in mind between crude oil or petroleum and total "liquid hydrocarbons" or "petroleum liquids." In the early stages of the petroleum industry, the usable products were crude oil and natural gas, and most petroleum statistics still pertain to those two products. During recent decades, however, due to improved technology there has been an increasing yield of the so-called "natural-gas liquids" obtained as a by-product of natural gas. Statistics on total petroleum liquids, or liquid hydrocarbons, comprise both crude oil and natural-gas liquids.

Since the production curves here considered are of crude oil only, then the pertinent reserve data must also be limited to crude oil. The data in Figure 15 represent the estimated amounts of crude oil initially present which are producible by methods now in use. The cross-hatched part of each column represents the amount which has been consumed already. These estimates of ultimate potential reserves are, with two

exceptions, those obtained by L. G. Weeks (1948, 1950a, 1950b, 1952), of the Standard Oil Company of New Jersey, in his detailed studies of the various sedimentary basins of the world. Weeks estimated the ultimate potential reserves of the world to be 610 billion barrels for the land areas, and 400 billion barrels for the continental shelves, or roundly 1000 billion barrels in total. These estimates included 110 billion barrels for the land area of the United States, and 155 billion barrels for the Middle East, including Egypt.

Subsequently the Middle East has developed into a petroleum province of unprecedented magnitude and Weeks' estimate is now known to be seriously too low. Recently Wallace E. Pratt (1956), in the Report of the Panel on the Impact of the Peaceful Uses of Atomic Energy, gave as the proved reserves of liquid hydrocarbons for the Middle East the figure of 230 billion barrels. Since probably not less than 200 billion barrels of this is represented by crude oil, the estimate of the ultimate potential reserves of crude oil in the Middle East has been increased to 375 billion barrels, which can only be regarded as a rough order-of-magnitude figure.

In the case of the United States, Weeks' estimate of 110 billion barrels (based upon production practices of about 1948) was for the land area. The United States Geological Survey (1953) has estimated potential offshore reserves of the United States, based upon the productivity of comparable adjacent land areas, to be as follows:

Texas: 9 billion barrels

Louisiana: 4 billion barrels

California: 2 billion barrels

Total: 15 billion barrels

Olaf P. Jenkins (1955) of the California Division of Mines has estimated the offshore reserves of California to be 4 billion barrels. Combining this with the U.S. Geological Survey estimate for Louisiana and Texas gives 17 billion barrels, which has here been rounded off to 20 billion.

The production record of the past two decades, due in part to improved recovery practices, indicates that Weeks' figure of 110 billion barrels for the land may also be somewhat low. This has accordingly been increased to 130 billion, giving a total ultimate potential reserve of 150 billion barrels of crude oil for both the land and offshore areas of the United States.

Although arrived at independently, this figure is in substantial agreement with Pratt's (1956, p. 94) figure of 170 billion barrels for the total liquid hydrocarbons of the United States. The ratio of crude oil to liquid hydrocarbons can be obtained approximately from the latest American Petroleum Institute (1956) release on proved reserves. As of January 1, 1956, the proved reserves of crude oil were 30.0 billion barrels, while those of total liquid hydrocarbons was 35.4 billion barrels. Applying this ratio to Pratt's figure of 170 billion barrels of liquid hydrocarbons gives 144 billion barrels of crude oil.

With these modifications we obtain a figure of about 1250 billion barrels for the ultimate potential reserves of crude oil of the whole world.

Since crude oil and natural gas are genetically related, probably the most reliable procedure for estimating the ultimate reserves of natural gas is from the ratio of gas to crude oil in current production and in the proved reserves. No attempt has been made to do this for the whole world for which gas statistics and reserve estimates are largely lacking; but for the United States the net gas production during 1955 was 10.1 trillion cubic feet and the crude-oil production was 2.42 billion barrels, giving a production gas-oil ratio of 4200 cubic feet per barrel.

The proved reserves of gas and oil for January 1, 1956, as given by the American Gas Association (1956) and the American Petroleum Institute (1956), are 224 trillion cubic feet of gas and 30.0 billion barrels of oil, respectively. This gives a gas-oil ratio of 7500 cubic feet per barrel.

Assuming the ultimate potential oil reserves of the United States to be 150 billion barrels of which 52.5 had been produced by January 1, 1956, leaves 97.5 billion barrels still to be produced. Then, if we use the gas-oil ratio of current production, we obtain 410 trillion cubic feet of gas as the future reserve. If we assume the ratio of 7500 cubic feet per barrel, obtained from proved reserves, we obtain a future reserve of 730 trillion cubic feet. Adding to these figures the cumulative production of 130 trillion cubic feet then gives as the ultimate potential gas reserve of the United States a low figure of 540 or a high of 860 trillion cubic feet. Of these figures the latter appears the more reliable since the reserves represent a much larger sample than the annual production. It also compares more favorably with the estimate of 750 trillion cubic feet recently made by Pogue and Hill (1956) of the Chase Manhattan Bank, and is in substantial agreement with the figure of 850 trillion cubic feet given by Pratt (1956). Pratt's figure of 850 trillion cubic feet is accordingly the

one that is here adopted.

On the basis of the relative magnitudes of the Texas rate of production and proved reserves as compared with those of the United States, an allotment of 40 percent of the total reserves of the United States to Texas appears to be of a proper order of magnitude. This would then give for Texas an ultimate potential reserve for crude oil of 60 billion barrels and 340 trillion cubic feet for natural gas. If the figure of 40 percent should be too low and the actual ratio more nearly 45 percent, then these reserve figures would be increased proportionately.

**Oil Shales and Tar Sands.**—The oil obtainable from oil shales in the United States has been taken to be 1000 billion barrels. This is based upon a revised figure recently released by the United States Geological Survey (cited in The Oil and Gas Journal, February 13, 1956, p. 83) of 900 billion barrels of oil for the shales of Colorado. A. C. Rubel (1955) has recently made a review from published literature of all the bituminous shales of the United States which are potential sources of oil, and has arrived at an estimate of a possible 2.5 trillion barrels of oil obtainable from shale.

Outside the United States oil shales are present in various countries; but, with the exception of the shales in Brazil, the magnitudes are negligible compared with those of the United States. The oil shales of Brazil are reported to be of about the same magnitudes as the earlier estimates for those of the United States, which would suggest an oil content of the order of 300 to 500 billion barrels.

The largest known deposit of tar sands in the world is that of the Athabaska tar sands in northeastern Alberta, Canada. The extractable oil content of these sands is still not accurately known, but current estimates range from about 300 to 500 billion barrels of oil. As compared with this the readily minable tar sands of the United States would yield only about 1 billion barrels of oil (U.S. Geological Survey, 1951), with a few billion barrels more obtainable from the less minable deposits.

Other large deposits of uncertain magnitude exist in eastern Venezuela and in Mesopotamia. Making liberal allowances for the possible magnitudes of these, Ayres and Scarlott (1952, p. 75-76) have ventured as an educated guess that the total oil obtainable from the tar deposits of the world might be as much as 800 billion barrels.

**Energy Content.**—The relative magnitudes of the initial world reserves of all the fossil fuels reduced to a common energy unit of measurement are shown in Figure 16. It will be noted that of all the fossil fuels initially present the recoverable energy of coal represents 70 percent of the total, oil and gas about 14 percent, oil shale about 10 percent, and tar sands about 6 percent.

A corresponding chart of the fossil fuels of the United States is shown in Figure 17. The total of  $8.5 \times 10^{10}$  kw-hr of heat for the fuels of the United States represents about a third of the fossil fuels of the world. Again coal represents approximately three-fourths, oil shale about one-fifth, and oil and gas about 6 percent of the total, with one-quarter of the oil and gas already consumed.



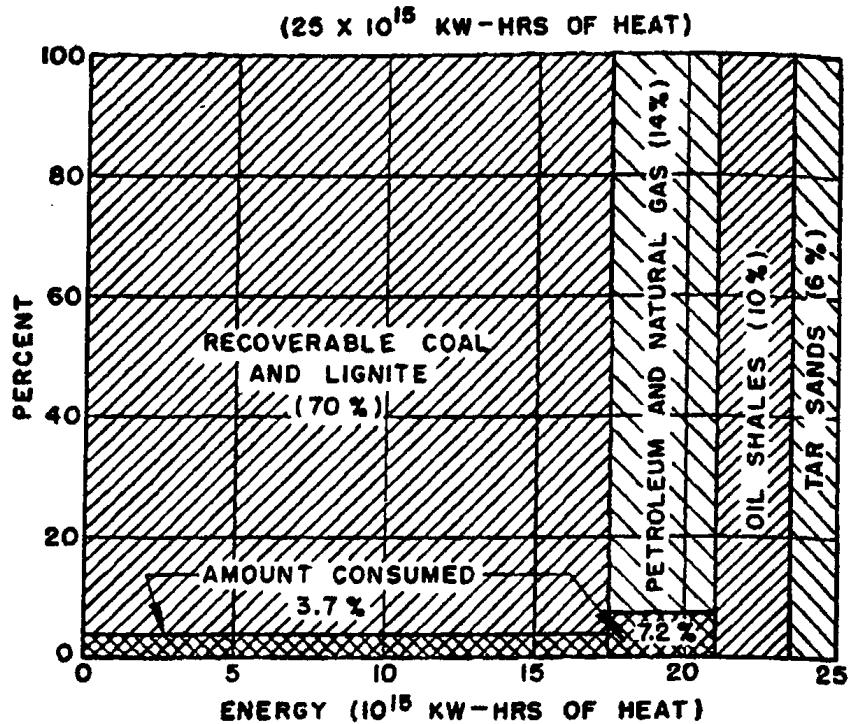


Figure 16 - Energy content of initial world reserves of fossil fuels, and amount consumed already.

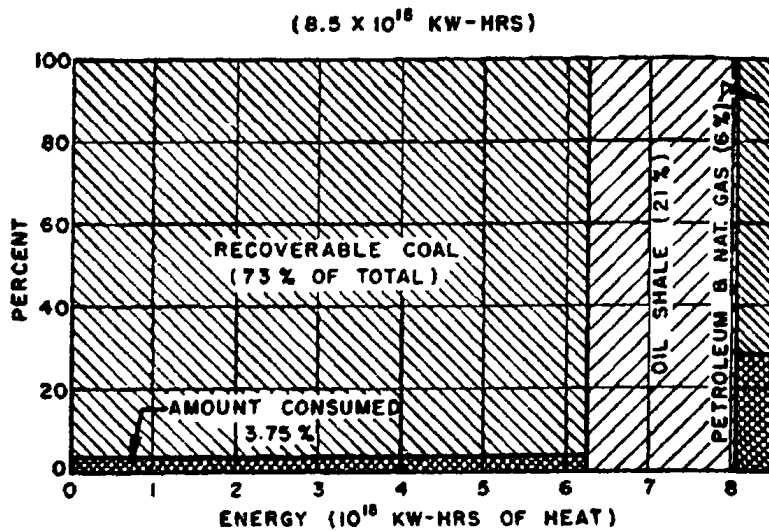


Figure 17 - Energy content of initial reserves of fossil fuels in the United States, and amount consumed already.

### Future Rates of Production

Utilizing the method of extrapolation described earlier and the reserve figures cited, we are now able to make some approximations of the future production curves for the various fossil fuels. This has been done in Figure 18 for the world coal production. The scale of the figure for cumulative production is given by the square in the upper left-hand corner. The altitude of this square is  $2 \times$  metric tons per year, and its base is 100 years. Its area, therefore, is:

$2 \times 10^9$  metric tons/yr  $\times 100$  yrs =  $200 \times 10^9$  metric tons. Hence, in this diagram every square of the coordinate

grid represents 200 billion tons of coal. Then, since the amount of recoverable coal initially present was 2600 billion tons, the area under the production curve can contain only 13 squares.

In the projection as drawn, it is assumed that the ultimate peak of production will be about three times the present rate; should this be the case, the peak would be reached at about the year 2150. If the maximum rate of production should be greater than this amount, then the peak would occur sooner; if the rate should be less, the peak would occur later. If the present rate of production should remain constant at about 2 billion metric tons per year, the coal supply would last about 1250 years from the present.

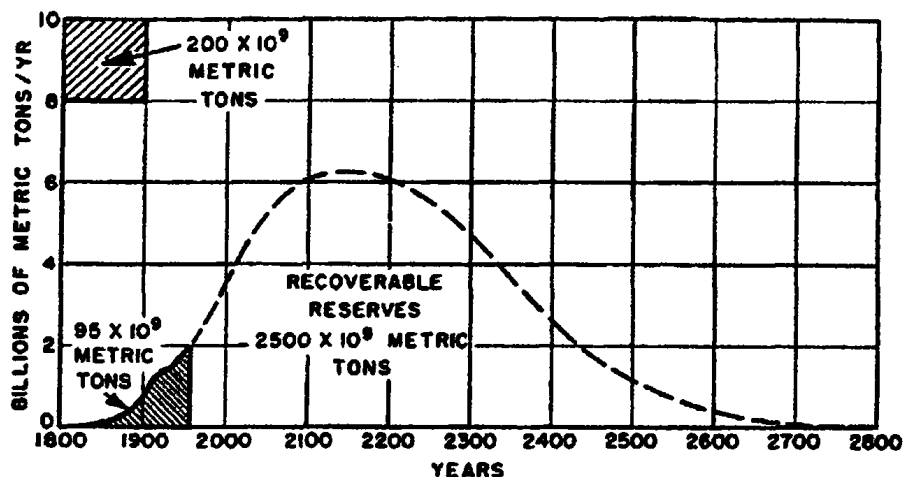


Figure 18 - Ultimate world coal production. The shape of the curve is variable but subject to the condition that the area under the curve cannot exceed thirteen squares.

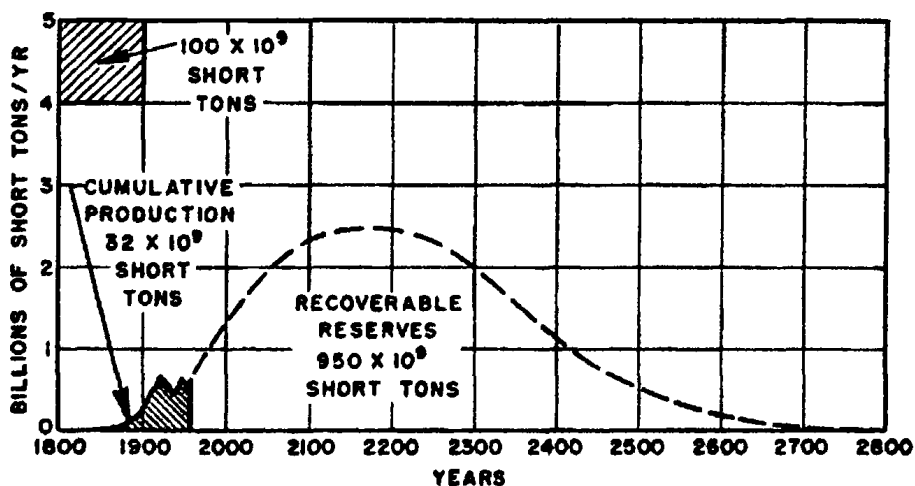


Figure 19 - Ultimate coal production in the United States.

The production of coal in the United States has been similarly projected in Figure 19. In this case, the recoverable reserves are about 950 billion short tons and the cumulative production has been 32 billion tons\*. Since each square of the grid represents 100 billion tons, the total area under the curve should be about 10 squares. The curve has been drawn for an ultimate peak rate about four times that of the present. With this assumption, the maximum of the curve would likewise occur at about 2150. But the date of the culmination would be respectively earlier or later should the peak production rate be greater or less than has been assumed.

The same treatment for the world production of crude oil is shown in Figure 20. Here the ultimate potential production is taken to be the 1250 billion barrels shown in Figure 15. The unit rectangle of the grid represents 250 billion barrels. Consequently, the total area under the curve will contain but five of these rectangles. In Figure 20, the curve has been drawn on the assumption that the maximum rate of production

will be about two and one-half times the present rate, which places the date of the peak at about the year 2000. As in the case of coal, variations of this assumed maximum rate will advance or retard the date of the culmination.

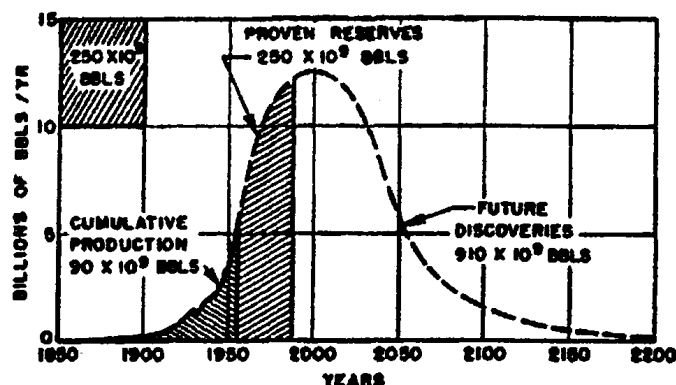


Figure 20 - Ultimate world crude-oil production based upon initial reserves of 1250 billion barrels.

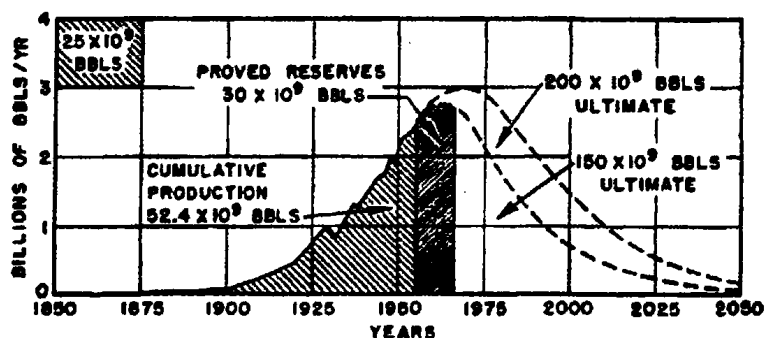


Figure 21 - Ultimate United States crude-oil production based on assumed initial reserves of 150 and 200 billion barrels.

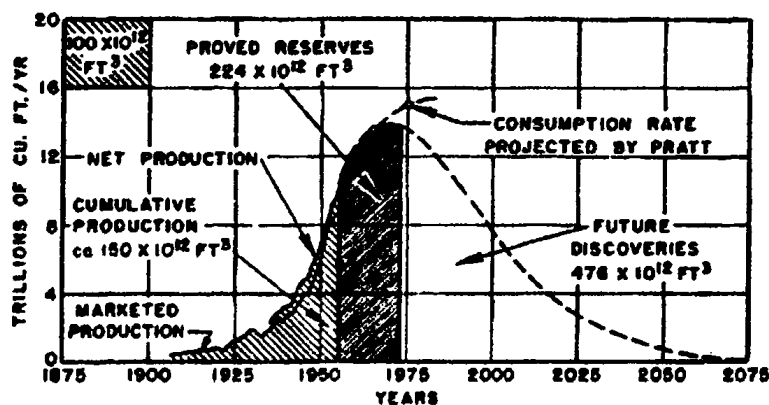


Figure 22 - Ultimate United States production of natural gas based upon initial reserves of 850 trillion cubic feet (Pratt, 1956).

The proved reserves shown in this figure are about 250 billion barrels. The total amount of oil discovered is the sum of the cumulative production and the proved reserves. Since this is approaching the peak of the curve, the figure suggests that, even if we are less than half through in our exploration for petroleum, the period of declining rates of discovery has almost arrived.

Applying this same technique to the production of crude oil in the United States, there is shown in Figure 21 a graph of the production up to the present, and two extrapolations into the future. The unit rectangle in this case represents 25 billion barrels so that if the ultimate potential production is 150 billion barrels, then the

graph can encompass but six rectangles before returning to zero. Since the cumulative production is already a little more than 50 billion barrels, then only four more rectangles are available for future production. Also, since the production rate is still increasing, the ultimate production peak must be greater than the present rate of production and must occur sometime in the future. At the same time it is impossible to delay the peak for more than a few years and still allow time for the unavoidable prolonged period of decline due to the slowing rates of extraction from depleting reservoirs.

With due regard for these considerations, it is almost impossible to draw the production curve based upon an assumed ultimate production of 150 billion barrels in any manner differing significantly from that shown in Figure 21, according to which the curve must culminate at about 1965 and then must decline at a rate comparable to its earlier rate of growth.

If we suppose the figure of 150 billion barrels to be 50 billion barrels too low -an amount equal to eight East Texas oil fields - then the ultimate potential reserve would be 200 billion barrels. The second of the two extrapolations shown in Figure 21 is based upon this assumption; but it is interesting to note that even then the date of culmination is retarded only until about 1970.

One other contingency merits comment. By means of present production techniques, only about a third of the oil underground is being recovered. The reserve figures cited are for oil capable of being extracted by present techniques. However, secondary recovery techniques are gradually being improved so that ultimately a somewhat larger but still unknown fraction of the oil underground should be extracted than is now the case. Because of the slowness of the secondary recovery process, however, it appears unlikely that any improvement that can be made within the next 10 or 15 years can have any significant effect upon the date of culmination. A more probable effect of improved recovery will be to reduce the rate of decline after the culmination with respect to the rates shown in Figure 21.

The corresponding extrapolation of the United States production curve for natural gas is shown in Figure 22. Here the ultimate potential reserves are taken to be the 850 trillion cubic feet recently estimated by Pratt. In this case the unit rectangle of the graph represents 100 trillion cubic feet so that the total area under the curve is limited to eight and one-half rectangles of which one and one-half represent the approximately 150 trillion cubic feet produced already.

The present production rate is about 10 trillion cubic feet per year and the curve is still rising steeply. An ultimate rate of about 14 trillion cubic feet per year is about the maximum that appears likely while allowing for the necessary period of prolonged decline. Assuming this value for the maximum, then the curve as drawn in Figure 22 is a reasonable extrapolation. The date of culmination in this case should be approximately 1970.

Shown also on the graph are two points indicating the rates of gas consumption for 1965 and 1975 postulated by Pratt (1956, p. 92). The consumption rate for 1965 fits the curve very satisfactorily, but it is almost impossible to make the curve pass through Pratt's point for 1975 without requiring an ultimate gas production considerably in excess of the 850 trillion cubic feet assumed.

Curves for the ultimate production of crude oil and natural gas, respectively, for Texas are shown in Figures 23 and 24. These are based on the assumed ultimate potential reserves of 60 billion barrels and 340 trillion cubic feet for oil and gas, respectively. The behavior of the curves is very similar to that of the corresponding curves for the United States, with the oil production culminating about 1965 and the gas production about 1970. Improved methods of secondary recovery will probably make the rate of decline of the oil production curve less steep than is shown here, but are not likely seriously to postpone the date of the culmination.

### **The Outlook for the Fossil Fuels**

From this inventory of the energy supplies represented by the fossil fuels, it appears that about three-quarters of the reserves of the fossil fuels of the world are represented by coal and the remaining one-quarter is about equally divided between liquid and gaseous hydrocarbons, and oil shales and tar sands. Production of the world's coal has already consumed about 3.7 percent of the minable reserves initially present, that of oil and gas about 7 percent, while the production from shale and tar sands has barely been started.



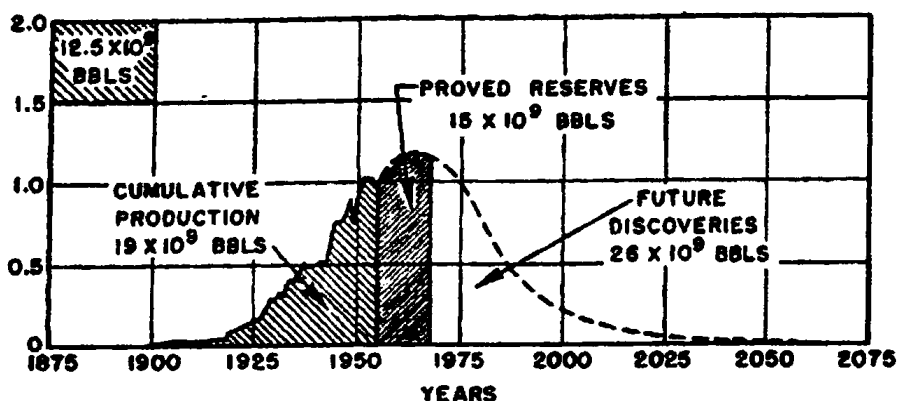


Figure 23 - Ultimate Texas crude-oil production.

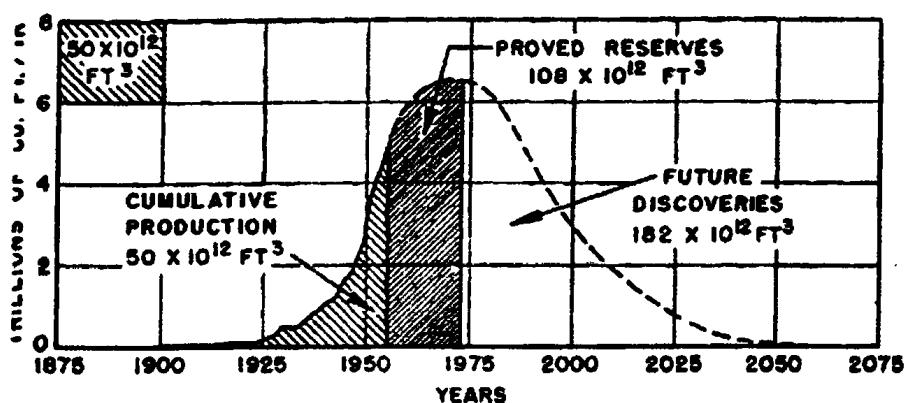


Figure 24 - Ultimate Texas production of natural gas.

However, because of the versatility and usefulness of the liquid and gaseous hydrocarbons, and also because of their relative ease of extraction, the rate of exploitation of the latter has increased disproportionately to their magnitude as compared with coal.

If the world should continue to be dependent upon the fossil fuels as its principal source of industrial energy, then we could expect a culmination in the production of coal within about 200 years. On the basis of the present estimates of the ultimate reserves of petroleum and natural gas, it appears that the culmination of world production of these products should occur within about half a century, while the culmination for petroleum and natural gas in both the United States and the state of Texas should occur within the next few decades.

This does not necessarily imply that the United States or other parts of the industrial world will soon become destitute of liquid and gaseous fuels, because these can be produced from other fossil fuels which occur in much greater abundance. But it does pose as a national problem of primary importance, the necessity, both with regard to requirements for domestic purposes and those for national defense, of gradually having to compensate for an increasing disparity between the nation's demands for these fuels and its ability to produce them from naturally occurring accumulations of petroleum and natural gas.

Finally, there is the possibility of obtaining industrial energy from nuclear sources which we now propose to examine.

### Energy from Nuclear Sources

Ever since the explosion of the first nuclear bomb over Hiroshima in 1945, there has been spectacular evidence that the tremendous store of energy contained within the nucleus of certain unstable atoms can at last be released. Gradually during the succeeding years, the veil of secrecy has been lifted until finally, as a

result of the United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, held in Geneva during August 1955, virtually complete information on the possible industrial uses of the energy from the fissioning of the uranium has now been made public.

In addition, very active developments in the United States, England, the U.S.S.R., and other countries, of large power reactors are under way. Moreover, nuclear-powered submarines are already in successful operation. What, we wonder, is the magnitude of the potential industrial development of energy from these sources? How much uranium or thorium would be required to power an industrial civilization comparable to that now powered by the fossil fuels? And does this quantity exist in a form that is readily obtainable?

To answer these questions, let us first familiarize ourselves with the basic elements of the nuclear-power reactions. The fissionable elements, as indicated in Table 1, comprise two isotopes of uranium, U-235 and U-233, and one of plutonium, Pu-239. Of these, only one, U-235, occurs naturally and the other two are man-made, Pu-239 being derived by a radioactive transformation from U-238, and U-233 from thorium. The isotopes, U-235, U-233, and Pu-239, are known accordingly as fissionable or fuel materials; whereas U-238 and Th-232, while not themselves fissionable, can be converted into fissionable isotopes and so are known as fertile materials.

Naturally occurring uranium consists of the isotopes, U-238 and U-235, in the ratio of 140 to 1. Any given quantity of natural uranium contains 99.3 percent of U-238 and 0.7 percent of U-235. Natural thorium consists of the single isotope Th-232.

Spontaneous fissioning of U-235 occurs when a concentration of this isotope greater than some critical amount is brought together. If the reaction is uncontrolled, the result is the explosion of an atomic bomb; if properly controlled, the energy, in the form of heat, can be released at a determinate rate. Nuclear piles comprise assemblages of fissionable and auxiliary materials for maintaining controlled nuclear reactions.

**Table 1**

**NUCLEAR ENERGY SOURCES**

| <b>Fissionable Materials</b>                                                                | <b>Fertile Materials</b>                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| U-235 (0.7% of whole uranium)<br>Pu-239 (derived from U-238)<br>U-233 (derived from Th-232) | U-238 (99.3% of whole uranium)<br>Th-232 |

**Table 2**

**ENERGY RELEASED BY FISSIONING  
OF URANIUM**

| <b>Quantity of U-235</b> | <b>Heat Released</b> |                        |                       |
|--------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
|                          | <b>Kw-Hr</b>         | <b>Coal Equivalent</b> | <b>Oil Equivalent</b> |
| 1 gram                   | $2.26 \times 10^4$   | 3 metric tons          | 13 barrels            |
| 1 pound                  | $1.03 \times 10^7$   | 1400 metric tons       | 6000 barrels          |

The elementary nuclear-power reaction is that indicated in Figure 25. Here U-235 in a critical amount is undergoing fissioning. When a U-235 atom is struck by a neutron, it breaks into fragments known as fission products which consist of other atoms near the middle of the table of atomic numbers, and also releases

neutrons which strike other U-235 atoms, thereby maintaining a chain reaction. Each fission releases, on the average, 200-million electron volts of heat which, like the heat of combustion of coal or oil, can be used to drive a steam power plant.

The objections to the sole use of U-235 are its scarcity and the large amounts of energy required to separate it from U-238. Hence, very great importance attaches to the possibility of converting the fertile materials, U-238 and Th-232, into fissionable materials by means of the breeder reaction. The breeder reaction for U-238 is shown schematically in Figure 26. In this case, the neutrons from the fissioning of U-235 are used to cause a radioactive transformation of U-238 to Pu-239 which is then fissionable. By a similar reaction Th-232 can be converted to U-233 which is also fissionable. It has been experimentally demonstrated that both of these reactions are possible and are capable of producing from the fertile materials more fuel material than is consumed. Thus, in principle, by means of properly developed breeder reactors, it is possible to consume whole uranium and thorium. In the subsequent discussion it will be assumed that complete breeding will have become the standard practice within the comparatively near future.



Table 3

URANIUM EQUIVALENT OF  
U.S. FOSSIL-FUEL RESERVES

| Fuel                   | Reserves                             | Equivalent Energy<br>(kw-hr heat) | Equivalent Uranium<br>(metric tons) |
|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Coal                   | $950 \times 10^9$ short tons         | $6.00 \times 10^{15}$             | 264,000                             |
| Oil                    | $97.6 \times 10^9$ bbl               | $0.171 \times 10^{15}$            | 7,500                               |
| Gas                    | $700 \times 10^{12}$ ft <sup>3</sup> | $0.205 \times 10^{15}$            | 9,000                               |
| Oil Shale<br>Tar Sands | $1000 \times 10^9$ bbl               | $1.760 \times 10^{15}$            | 77,500                              |
| Total                  |                                      | $8.1 \times 10^{15}$              | 358,000                             |

Table 4

U.S. ENERGY REQUIREMENTS FOR 1956

| Energy Source | Amount                                    | Energy<br>(kw-hr heat) | Equivalent Uranium<br>(metric tons) |
|---------------|-------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Coal          | $550 \times 10^6$ tons                    | $4.24 \times 10^{12}$  | 187                                 |
| Petroleum     | $2.9 \times 10^9$ bbl                     | $5.10 \times 10^{12}$  | 226                                 |
| Natural Gas   | $9.2 \times 10^{12}$ ft <sup>3</sup>      | $2.70 \times 10^{12}$  | 119                                 |
| Water Power   | $1.6 \times 10^{15}$ Btu<br>(fuel equiv.) | $0.47 \times 10^{12}$  | 21                                  |
| Total         |                                           | $12.51 \times 10^{12}$ | 553                                 |



Table 5

INVENTORY REQUIREMENTS OF URANIUM  
FOR VARIOUS POWER CAPACITIES

| Power Capacity                               | Inventory Uranium Required |
|----------------------------------------------|----------------------------|
| $10^6$ kilowatts                             | 600 metric tons            |
| 1 metric ton of uranium consumed per year    | 740 metric tons            |
| 553 metric tons of uranium consumed per year | 410,000 metric tons        |

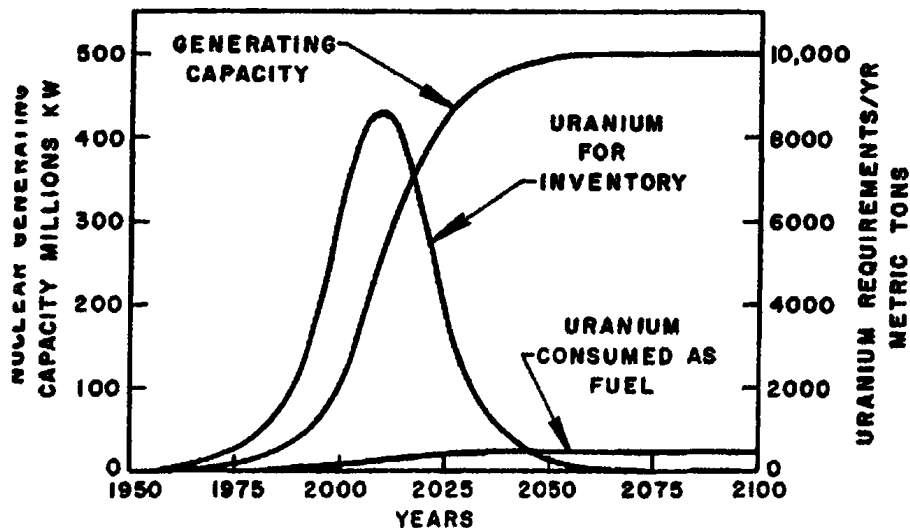


Figure 27 - Annual requirements of uranium for plant inventory and for fuel during period of growth of generating capacity.

Now for the energy that is released by the fissioning of a given amount of uranium (or thorium). As indicated in Table 2, the fissioning of 1 gram of U-235 releases  $2.28 \times 10^4$  kw-hr of heat, which is equivalent to the heat of combustion of 3 tons of coal or of 13 barrels of oil. One pound of U-235 is equivalent to 1400 tons of coal or 6000 barrels of oil. Within narrow limits the same values are valid for U-238 and for thorium.

Using the foregoing data, the uranium equivalents of the fossil-fuel reserves of the United States are shown in Table 3. The energy of 358,000 metric tons (1 metric ton is equal to 10 grams or 2205 pounds) of uranium is equal to that of all the fossil-fuel reserves of the United States. In Table 4 it is shown that the uranium equivalent of all the coal, oil, gas, and water power to be consumed in the United States during 1956 amounts to only 553 metric tons.

In addition to the uranium used as fuel, there is also an amount which must be permanently tied up in inventory in the reactors and processing plants as indicated in Table 5. This is estimated to be about 600 metric tons per million kilowatts of generating capacity. The present capacity of the United States is about 100 million kilowatts, which would require an inventory of about 60,000 tons of uranium. The inventory per ton of uranium consumed per year is about 740 tons, so if the fuels and water power of Table 4 were entirely replaced by nuclear power, the inventory requirements would be about 410,000 metric tons.

It is clear, therefore, that during the period in which the power capacity is expanding the requirements of uranium for inventory will greatly exceed those for fuel. When growth ceases, the annual increment to inventory will become zero. The relative requirements of uranium for inventory and for fuel of an expanding

nuclear-power system are shown in Figure 27. The initial rate of expansion is taken to be 10 percent per year, with the power capacity becoming asymptotic to 500 million kilowatts.

### Magnitude of Uranium Reserves

With this review of requirements we now ask: What is the magnitude of the supplies? The uranium contents and fuel equivalents of the principal sources of uranium in the United States are shown in Table 6. The ores which are currently being produced, the so-called high-grade ores, are those of the type found principally in the Colorado Plateau. These are said to average about 0.35 percent uranium, or 3500 grams per metric ton, which is equivalent to about 10,500 tons of coal or 45,000 barrels of oil per metric ton of ore.

Table 6

FUEL EQUIVALENTS OF URANIUM ORES

| Type of Ore           | Uranium Content (grams/metric ton) | Fuel Equivalent per Metric Ton |             |
|-----------------------|------------------------------------|--------------------------------|-------------|
|                       |                                    | Coal (metric/tons)             | Oil (bbl)   |
| Colorado Plateau Ores | 3500                               | 10,500                         | 45,000      |
| Phosphate Rocks       | 30 to 300                          | 90 to 900                      | 390 to 3900 |
| Black Shales          | 10 to 100                          | 30 to 300                      | 130 to 1300 |
| Granite               | 4 gm U<br>13 gm Th } 17            | 50                             | 220         |

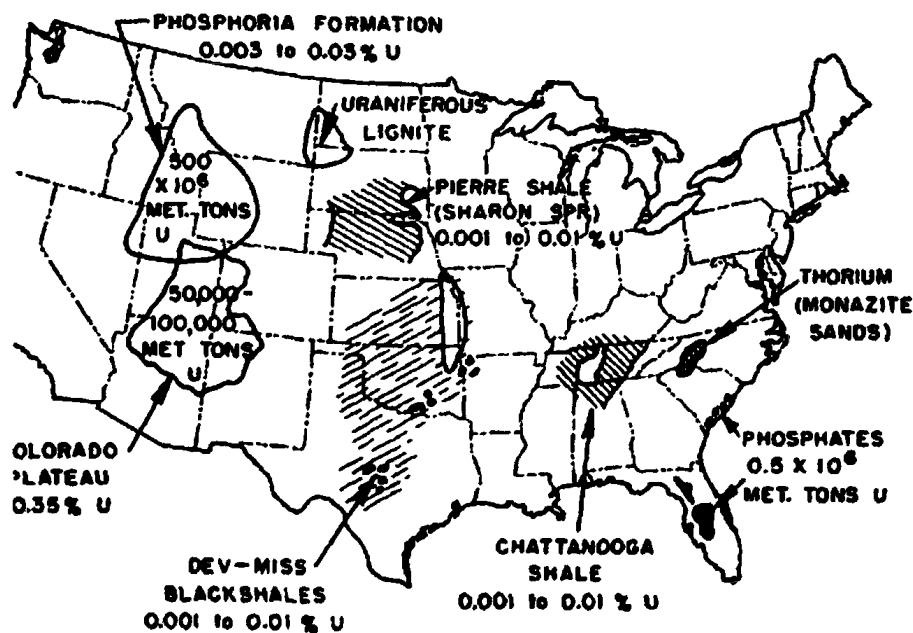


Figure 28 - Map showing major uranium and thorium deposits of the United States.

The so-called "low-grade" ores are the phosphate rocks and the black shales which have uranium contents in the range of 30 to 300 and 10 to 100 grams per metric ton, respectively. Even so, such rocks are equivalent to 90 to 900 tons of coal or 390 to 3900 barrels of oil per metric ton for the phosphates, and to 30

to 300 tons of coal or 130 to 1300 barrels of oil per metric ton of rock, for the black shales. Even granite, as has been pointed out by Harrison Brown (1954) and by Brown and Silver (1955), contains about 13 grams of thorium and 4 grams of uranium per ton, which is equivalent to about 50 tons of coal or 220 barrels of petroleum per metric ton of granite.

What quantity of uranium in rocks of these various types may there be? An indication of the order of magnitude may be obtained by a glance at the map in Figure 28. The Colorado plateau, which is the principal producer of the high-grade ores, has an estimated ultimate reserve of the order of 50,000 to 100,000 metric tons of uranium. The large supplies, however, are to be found in the so-called "low-grade" ores of the phosphate rocks and the black shales. The Phosphoria formation alone, it is estimated from a recent paper by McKelvey and Carswell (1955), contains about 7400 million tons of uranium. Another 0.5 million tons, at least, can be obtained from the phosphate rocks of Florida and the neighboring states.

The Chattanooga shale in Tennessee contains a stratum, the Gassaway member, about 5 meters thick whose average content of uranium is about 70 grams per metric ton (Kerr, 1955). With a density of 2.5 metric tons per cubic meter, this would amount to about 175 grams of uranium per cubic meter, or to 875 grams per square meter for the total thickness of the member. Then for an area of a square mile the uranium content of this member would be  $2.3 \times 10^9$  grams or 2300 metric tons. This does not sound impressive, and in fact, as compared with contents of the more familiar metallic ores, it is a trifling amount; nevertheless, the energy content of this member per square mile is equivalent to 30 billion barrels of oil, or to five East Texas oil fields. Uranium-rich black shales of Devonian-Mississippian age, which correlate with the Chattanooga, are widespread in the Mid-Continent area as well as in Tennessee and the neighboring states. In addition, the Sharon Springs member of the Pierre shale of Cretaceous age occurring in an extensive area of North and South Dakota east of the Black Hills is also rich in uranium. No attempt has been made to determine the amount of minable uranium which these shales must contain, but since their areal extent amounts to several hundred thousands of square miles, their uranium content would appear to be as much as several hundred million metric tons.

Well-defined thorium deposits, on the other hand, are comparatively rare, being found principally in placer deposits of monazite sands. One belt of these deposits extends north and south along the piedmont of North and South Carolina. In addition to the reserves in already established environments, there remains another category, as yet unevaluated, of potential reserves of both thorium and uranium in minor accessory minerals of alkalic igneous rocks and carbonatites (intrusive limestones) which are widespread in western United States.

From these evidences it appears that there exist within minable depths in the United States rocks with uranium contents equivalent to 1000 barrels or more of oil per metric ton, whose total energy content is probably several hundred times that of all the fossil fuels combined. The same appears to be true of many other parts of the world. Consequently, the world appears to be on the threshold of an era which in terms of energy consumption will be at least an order of magnitude greater than that made possible by the fossil fuels.

As remarked earlier, experimental nuclear-power reactors are already under construction in several parts of the United States, and in the United Kingdom, the U.S.S.R., and elsewhere, and nuclear-powered submarines are in successful operation. It will probably require the better part of another 10 or 15 years of research and development before stabilized designs of reactors and auxiliary chemical processing plants are achieved after which we may expect the usual exponential rate of growth of nuclear-power production.

The decline of petroleum production and the concurrent rise in the production of power from nuclear energy for the United States is shown schematically in Figure 29. The rise of nuclear power is there shown at a rate of about 10 percent per year, but there are many indications that it may actually be twice that rate.

### Time Perspective

In order to see more clearly what these events may imply, it will be informative to consider them on a somewhat longer time scale than that which we customarily employ. Attention is accordingly invited to Figure 30 which covers the time span from 5000 years ago - the dawn of recorded history - to 5000 years in the future. On such a time scale the discovery, exploitation, and exhaustion of the fossil fuels will be seen to be but an ephemeral event in the span of recorded history. There is promise, however, provided mankind can solve its international problems and not destroy itself with nuclear weapons, and provided the world population (which is now expanding at such a rate as to double in less than a century) can somehow be

brought under control, that we may at last have found an energy supply adequate for our needs for at least the next few centuries of the "foreseeable future."

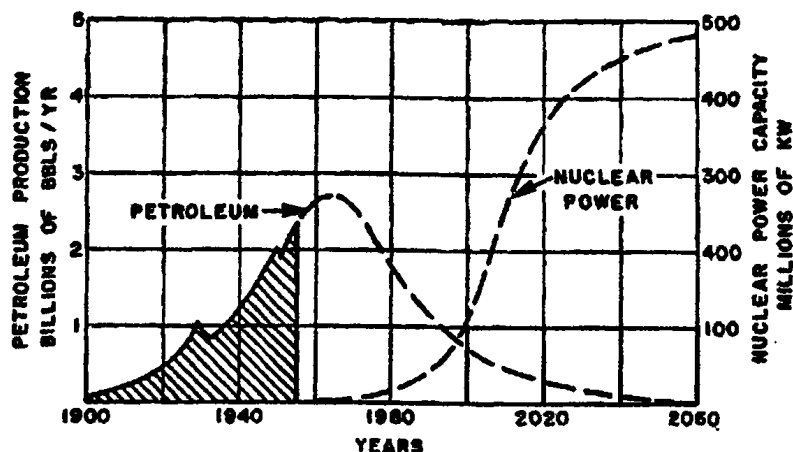


Figure 29 - Concurrent decline of petroleum production and rise of production of nuclear power in the United States. Growth rate of 10 percent per year for nuclear power is assumed; actual rate may be twice this amount.

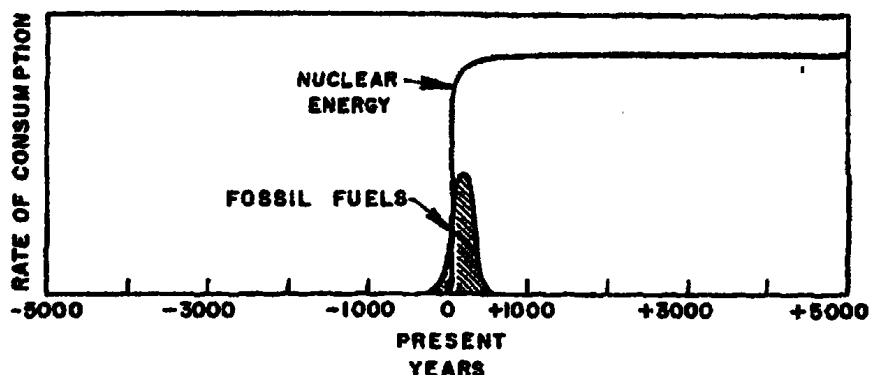


Figure 30 - Relative magnitudes of possible fossil-fuel and nuclear-energy consumption seen in time perspective of minus to plus 5000 years.

\*\*\*\*\*

Acknowledgments.—The author is indebted to various of his associates for assistance and criticism in the preparation of this study, but particularly to K. W. Paul who spent the better part of two or three months in assembling and helping to digest the mass of difficultly obtainable information necessary for the preparation of this paper.

\*\*\*\*\*

## REFERENCES

- American Gas Association (1956), Report of the Committee on Natural Gas Reserves, March 15, 1956.  
 American Petroleum Institute (1956), Report of the American Petroleum Institute's Committee on Petroleum Reserves, March 15, 1956.  
 Averitt, Paul, Berryhill, Louise R., and Taylor, Dorothy A. (1953), Coal Resources of the United States (A progress report, October 1, 1953), U.S. Geol. Surv. Circular 293.  
 Ayres, Eugene (1948), Major Sources of Energy, Amer. Petrol. Institute Proc., v. 28, sect. 3, November 8-11, 1948, p. 109- 142.

- \_\_\_\_ (1952), Synthetic Liquid Fuels—When and How?, Petroleum Processing, January 1952, p. 41-44.
- Ayres, Eugene (1953a), U.S. Oil Outlook: How Coal Fits In, Coal Age, August 1953, p. 70-73.
- \_\_\_\_ (1953b), Liquid Fuels in America, Petroleum Refiner, v. 32, no. 8, p. 90 and following. (1955), Energy Resources for the Future, Mines Magazine, July 1955, P. 39-41.
- \_\_\_\_, and Scarlott, Charles A. (1952), Energy Sources—The Wealth of the World, McGraw-Hill, New York, 344 p. Brown, Harrison S. (1954), The Challenge of Man's Future, Viking Press, New York, 290 p.
- \_\_\_\_, and Silver, L. T. (1955), The Possibilities of Securing Long Range Supplies of Uranium, Thorium, and Other Substances from Igneous Rocks; United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva (preprint). Hubbert, M. King (1950a), Energy from Fossil Fuels, Centennial, Amer. Assoc. Advancement Science, p. 171-177
- \_\_\_\_ (1950b), Discussion: Estimates of Undiscovered Petroleum Reserves by A. I. Levorsen, Proc. United Nations Scientific Conference on the Conservation and Utilization of Resources, v. 1, p. 103-104. Jenkins, Olaf P. (1955), Letter of date November 21, 1955, to K. W. Paul.
- Kerr, Paul F. (1955), The Natural Occurrence of Uranium and Thorium, United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva (preprint).
- McKelvey, V. E., and Carswell, L. D. (1955), Uranium in the Phosphoria Formation, United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva (preprint).
- Oil and Gas Journal (1956), Shale Reserves Up, v. 54, no. 41, p. 83.
- Pogue, Joseph E., and Hill, Kenneth E. (1956), Future Growth and Financial Requirements of the World Petroleum Industry, presented at the Annual Meeting of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Petroleum Branch, February 21, 1956.
- Pratt, Wallace E. (1956), The Impact of the Peaceful Uses of Atomic Energy on the Petroleum Industry, Report of the Panel on the Impact of the Peaceful Uses of Atomic Energy, v. 2 (Background Material), p. 89-105.
- Putnam, Palmer C. (1953), Energy in the Future, Van Nostrand, New York, 556 p.
- Rubel, A. C. (1955), Shale Oil—As a Future Energy Resource, Mines Magazine, October 1955, p. 72-76.
- United Nations (1956), World Energy Requirements in 1975 and 2000, Proc. International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955, v. 1, Table 13, p. 27-29.
- U.S. Geological Survey (1951), Fuel Reserves of the United States. Statement prepared by the U.S. Geol. Surv. at request of Committee on Interior and Insular Affairs, U.S. Senate, 82nd Congress, 1st Session, p. 38-39.
- \_\_\_\_ (1953), Potential Oil and Gas Reserves of the Continental Shelf Off the Coasts of Louisiana, Texas, and California. Statement prepared by the Fuels Branch, Geol. Div., U.S. Geol. Surv., at request of Committee on Interior and Insular Affairs, U.S. Senate, February 16, 1953.
- Vincent, Ray R., and Witherspoon, Paul A. (1955), Illinois Area Gets Second Wind, Independent Petrol. Assoc. Amer. Monthly, October 1955 (Illinois State Geol. Surv. Reprint Series 1955-T).
- Weeks, L. G. (1948), Highlights on 1947 Developments in Foreign Petroleum Fields, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 32, pt. 1, p. 1094. (1950a), Discussion: Estimates of Undiscovered Petroleum Reserves by A. I. Levorsen, Proc. United Nations Scientific Conference on the Conservation and Utilization of Resources, v. 1, p. 107-110.



## Παράρτημα 2: International Energy Outlook 2005

## International Energy Outlook 2005

Report #: DOE/EIA-0484(2005)

Released Date: July 2005

Next Release Date: July 2006

Table E1. World Oil Production Capacity by Region and Country, Reference Case, 1990-2025  
(Million Barrels per Day)

| Region/Country            | History (Estimates) |      | Projections |       |       |       |
|---------------------------|---------------------|------|-------------|-------|-------|-------|
|                           | 1990                | 2002 | 2010        | 2015  | 2020  | 2025  |
| <b>OPEC</b>               |                     |      |             |       |       |       |
| Persian Gulf              |                     |      |             |       |       |       |
| Iran                      | 3.2                 | 3.7  | 4.0         | 4.3   | 4.7   | 5.0   |
| Iraq                      | 2.2                 | 2.0  | 3.5         | 4.2   | 5.3   | 6.6   |
| Kuwait                    | 1.7                 | 2.1  | 2.9         | 3.5   | 4.5   | 5.2   |
| Qatar                     | 0.5                 | 0.8  | 0.6         | 0.7   | 0.8   | 0.8   |
| Saudi Arabia              | 8.6                 | 9.2  | 14.0        | 14.5  | 15.4  | 16.3  |
| United Arab Emirates      | 2.5                 | 2.9  | 3.3         | 3.6   | 4.5   | 5.4   |
| Total Persian Gulf        | 18.7                | 20.7 | 28.3        | 30.8  | 35.2  | 39.3  |
| Other OPEC                |                     |      |             |       |       |       |
| Algeria                   | 1.3                 | 1.6  | 2.0         | 2.1   | 2.4   | 2.8   |
| Indonesia                 | 1.5                 | 1.3  | 1.5         | 1.5   | 1.5   | 1.5   |
| Libya                     | 1.5                 | 1.6  | 2.0         | 2.2   | 2.5   | 2.9   |
| Nigeria                   | 1.8                 | 2.3  | 2.6         | 3.0   | 3.4   | 3.9   |
| Venezuela                 | 2.4                 | 3.1  | 3.5         | 4.1   | 4.7   | 5.6   |
| Total Other OPEC          | 8.5                 | 9.9  | 11.6        | 12.9  | 14.5  | 16.7  |
| Total OPEC                | 27.2                | 30.6 | 39.9        | 43.7  | 49.7  | 56.0  |
| <b>Non-OPEC</b>           |                     |      |             |       |       |       |
| Mature Market Economies   |                     |      |             |       |       |       |
| United States             | 9.7                 | 9.3  | 9.9         | 9.7   | 9.5   | 9.3   |
| Canada                    | 2.0                 | 2.9  | 3.5         | 4.8   | 4.9   | 5.1   |
| Mexico                    | 3.0                 | 3.6  | 4.3         | 4.6   | 4.7   | 4.9   |
| North Sea                 | 4.0                 | 6.3  | 5.8         | 5.4   | 5.1   | 4.5   |
| Australia and New Zealand | 0.7                 | 0.8  | 1.0         | 0.9   | 0.9   | 0.9   |
| Other                     | 0.7                 | 0.8  | 0.7         | 0.7   | 0.7   | 0.7   |
| Total Mature Market       | 20.1                | 23.7 | 25.2        | 26.1  | 25.8  | 25.4  |
| Transitional Economies    |                     |      |             |       |       |       |
| Former Soviet Union       | 11.4                | 11.2 | 13.6        | 15.3  | 16.5  | 17.6  |
| Eastern Europe            | 0.3                 | 0.2  | 0.3         | 0.4   | 0.4   | 0.5   |
| Total Transitional        | 11.7                | 11.4 | 13.9        | 15.7  | 16.9  | 18.1  |
| Emerging Economies        |                     |      |             |       |       |       |
| China                     | 2.8                 | 3.0  | 3.7         | 3.6   | 3.6   | 3.5   |
| Other Asia                | 1.7                 | 2.4  | 2.7         | 2.8   | 2.9   | 2.8   |
| Middle East               | 1.4                 | 1.9  | 2.3         | 2.5   | 2.6   | 2.8   |
| Africa                    | 2.1                 | 3.1  | 4.0         | 5.1   | 5.8   | 6.8   |
| Central and South America | 2.4                 | 3.9  | 4.8         | 5.9   | 6.4   | 6.9   |
| Total Emerging            | 10.4                | 14.3 | 17.5        | 19.9  | 21.2  | 22.7  |
| Total Non-OPEC            | 42.2                | 49.4 | 56.6        | 61.7  | 63.9  | 66.2  |
| Total World               | 69.4                | 80.0 | 96.5        | 105.4 | 113.6 | 122.2 |

Note: OPEC = Organization of Petroleum Exporting Countries.

Sources: History: Energy Information Administration (EIA), Energy Markets and Contingency Information Division. Projections: EIA, System for the Analysis of Global Energy Markets (2005); and U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, World Petroleum Assessment 2000 (Reston, VA, July 2000).



**International Energy Outlook 2005**

Report #: DOE/EIA-0484(2005)

Released Date: July 2005

Next Release Date: July 2006

**Table E2. World Oil Production Capacity by Region and Country, High Oil Price Case, 1990-2025**  
(Million Barrels per Day)

| Region/Country            | History (Estimates) |             | Projections |              |              |              |
|---------------------------|---------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
|                           | 1990                | 2002        | 2010        | 2015         | 2020         | 2025         |
| <b>OPEC</b>               |                     |             |             |              |              |              |
| Persian Gulf              |                     |             |             |              |              |              |
| Iran                      | 3.2                 | 3.7         | 4.0         | 4.0          | 4.2          | 4.5          |
| Iraq                      | 2.2                 | 2.0         | 3.1         | 3.1          | 3.5          | 4.0          |
| Kuwait                    | 1.7                 | 2.1         | 2.9         | 2.9          | 3.3          | 3.5          |
| Qatar                     | 0.5                 | 0.8         | 0.6         | 0.6          | 0.7          | 0.8          |
| Saudi Arabia              | 8.6                 | 9.2         | 10.4        | 10.5         | 10.8         | 11.0         |
| United Arab Emirates      | 2.5                 | 2.9         | 3.4         | 3.4          | 3.7          | 4.0          |
| Total Persian Gulf        | 18.7                | 20.7        | 24.4        | 24.5         | 26.2         | 27.8         |
| Other OPEC                |                     |             |             |              |              |              |
| Algeria                   | 1.3                 | 1.6         | 1.8         | 1.8          | 2.0          | 2.2          |
| Indonesia                 | 1.5                 | 1.3         | 1.4         | 1.4          | 1.4          | 1.4          |
| Libya                     | 1.5                 | 1.6         | 1.8         | 1.8          | 2.0          | 2.2          |
| Nigeria                   | 1.8                 | 2.3         | 2.4         | 2.4          | 2.7          | 2.9          |
| Venezuela                 | 2.4                 | 3.1         | 3.2         | 3.2          | 3.5          | 3.9          |
| Total Other OPEC          | 8.5                 | 9.9         | 10.6        | 10.6         | 11.6         | 12.6         |
| Total OPEC                | 27.2                | 30.6        | 35.0        | 35.1         | 37.8         | 40.4         |
| <b>Non-OPEC</b>           |                     |             |             |              |              |              |
| Mature Market Economies   |                     |             |             |              |              |              |
| United States             | 9.7                 | 9.3         | 10.2        | 10.5         | 10.9         | 11.0         |
| Canada                    | 2.0                 | 2.9         | 4.0         | 5.4          | 5.9          | 6.4          |
| Mexico                    | 3.0                 | 3.6         | 4.5         | 4.9          | 5.1          | 5.3          |
| North Sea                 | 4.0                 | 6.3         | 6.2         | 5.8          | 5.4          | 4.9          |
| Australia and New Zealand | 0.7                 | 0.8         | 1.0         | 1.0          | 1.0          | 0.9          |
| Other                     | 0.7                 | 0.8         | 0.7         | 0.7          | 0.7          | 0.7          |
| Total Mature Market       | 20.1                | 23.7        | 26.6        | 28.3         | 29.0         | 29.2         |
| Transitional Economies    |                     |             |             |              |              |              |
| Former Soviet Union       | 11.4                | 11.2        | 14.1        | 16.6         | 17.8         | 19.6         |
| Eastern Europe            | 0.3                 | 0.2         | 0.4         | 0.4          | 0.4          | 0.5          |
| Total Transitional        | 11.7                | 11.4        | 14.5        | 17.0         | 18.2         | 20.1         |
| Emerging Economies        |                     |             |             |              |              |              |
| China                     | 2.8                 | 3.0         | 3.7         | 3.7          | 3.8          | 3.7          |
| Other Asia                | 1.7                 | 2.4         | 2.9         | 3.1          | 3.0          | 3.0          |
| Middle East               | 1.4                 | 1.9         | 2.4         | 2.6          | 2.8          | 3.0          |
| Africa                    | 2.1                 | 3.1         | 4.4         | 5.7          | 6.7          | 8.1          |
| Central and South America | 2.4                 | 3.9         | 5.2         | 6.4          | 7.2          | 8.0          |
| Total Emerging            | 10.4                | 14.3        | 18.5        | 21.5         | 23.5         | 25.8         |
| Total Non-OPEC            | 42.2                | 49.4        | 59.6        | 66.7         | 70.7         | 75.1         |
| <b>Total World</b>        | <b>69.4</b>         | <b>80.0</b> | <b>94.6</b> | <b>101.8</b> | <b>108.5</b> | <b>115.5</b> |

Note: OPEC = Organization of Petroleum Exporting Countries.

Sources: History: Energy Information Administration (EIA), Energy Markets and Contingency Information Division. Projections: EIA, System for the Analysis of Global Energy Markets (2005); and U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, World Petroleum Assessment 2000 (Reston, VA, July 2000).



**International Energy Outlook 2005**

Report #: DOE/EIA-0484(2005)

Released Date: July 2005

Next Release Date: July 2006

**Table E3. World Oil Production Capacity by Region and Country, Low Oil Price Case, 1990-2025**  
(Million Barrels per Day)

| Region/Country            | History (Estimates) |             | Projections  |              |              |              |
|---------------------------|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                           | 1990                | 2002        | 2010         | 2015         | 2020         | 2025         |
| <b>OPEC</b>               |                     |             |              |              |              |              |
| Persian Gulf              |                     |             |              |              |              |              |
| Iran                      | 3.2                 | 3.7         | 4.8          | 5.6          | 6.2          | 6.9          |
| Iraq                      | 2.2                 | 2.0         | 4.0          | 5.7          | 7.1          | 8.6          |
| Kuwait                    | 1.7                 | 2.1         | 3.6          | 4.5          | 5.4          | 6.2          |
| Qatar                     | 0.5                 | 0.8         | 0.8          | 0.8          | 0.8          | 0.9          |
| Saudi Arabia              | 8.6                 | 9.2         | 15.6         | 16.5         | 18.1         | 20.4         |
| United Arab Emirates      | 2.5                 | 2.9         | 4.0          | 4.8          | 6.0          | 7.0          |
| Total Persian Gulf        | 18.7                | 20.7        | 32.8         | 37.9         | 43.6         | 50.0         |
| Other OPEC                |                     |             |              |              |              |              |
| Algeria                   | 1.3                 | 1.6         | 2.2          | 2.6          | 3.1          | 3.7          |
| Indonesia                 | 1.5                 | 1.3         | 1.5          | 1.5          | 1.5          | 1.5          |
| Libya                     | 1.5                 | 1.6         | 2.2          | 2.6          | 3.3          | 3.9          |
| Nigeria                   | 1.8                 | 2.3         | 3.3          | 4.3          | 5.5          | 6.4          |
| Venezuela                 | 2.4                 | 3.1         | 4.6          | 5.4          | 6.4          | 7.3          |
| Total Other OPEC          | 8.5                 | 9.9         | 13.8         | 16.4         | 19.8         | 22.8         |
| <b>Total OPEC</b>         | <b>27.2</b>         | <b>30.6</b> | <b>46.6</b>  | <b>54.3</b>  | <b>63.4</b>  | <b>72.8</b>  |
| <b>Non-OPEC</b>           |                     |             |              |              |              |              |
| Mature Market Economies   |                     |             |              |              |              |              |
| United States             | 9.7                 | 9.3         | 9.5          | 9.1          | 8.9          | 8.4          |
| Canada                    | 2.0                 | 2.9         | 3.4          | 4.3          | 4.4          | 4.4          |
| Mexico                    | 3.0                 | 3.6         | 4.2          | 4.5          | 4.5          | 4.7          |
| North Sea                 | 4.0                 | 6.3         | 5.7          | 5.2          | 4.8          | 4.3          |
| Australia and New Zealand | 0.7                 | 0.8         | 0.9          | 0.9          | 0.9          | 0.8          |
| Other                     | 0.7                 | 0.8         | 0.7          | 0.7          | 0.7          | 0.7          |
| Total Mature Market       | 20.1                | 23.7        | 24.4         | 24.7         | 24.2         | 23.3         |
| Transitional Economies    |                     |             |              |              |              |              |
| Former Soviet Union       | 11.4                | 11.2        | 13.1         | 14.9         | 15.8         | 16.9         |
| Eastern Europe            | 0.3                 | 0.2         | 0.3          | 0.4          | 0.4          | 0.4          |
| Total Transitional        | 11.7                | 11.4        | 13.4         | 15.3         | 16.2         | 17.3         |
| Emerging Economies        |                     |             |              |              |              |              |
| China                     | 2.8                 | 3.0         | 3.6          | 3.4          | 3.4          | 3.3          |
| Other Asia                | 1.7                 | 2.4         | 2.6          | 2.7          | 2.6          | 2.6          |
| Middle East               | 1.4                 | 1.9         | 2.2          | 2.4          | 2.5          | 2.7          |
| Africa                    | 2.1                 | 3.1         | 4.0          | 4.9          | 5.5          | 6.7          |
| Central and South America | 2.4                 | 3.9         | 4.8          | 5.6          | 6.1          | 6.5          |
| Total Emerging            | 10.4                | 14.3        | 17.2         | 19.0         | 20.1         | 21.8         |
| <b>Total Non-OPEC</b>     | <b>42.2</b>         | <b>49.4</b> | <b>55.0</b>  | <b>59.0</b>  | <b>60.5</b>  | <b>62.4</b>  |
| <b>Total World</b>        | <b>69.4</b>         | <b>80.0</b> | <b>101.6</b> | <b>113.3</b> | <b>123.9</b> | <b>135.2</b> |

Note: OPEC = Organization of Petroleum Exporting Countries.

Sources: History: Energy Information Administration (EIA), Energy Markets and Contingency Information Division. Projections: EIA, System for the Analysis of Global Energy Markets (2005); and U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, World Petroleum Assessment 2000 (Reston, VA, July 2000).



**International Energy Outlook 2005**

Report #: DOE/EIA-0484(2005)

Released Date: July 2005

Next Release Date: July 2006

**Table E4. World Oil Production by Region and Country, Reference Case, 1990-2025**  
(Million Barrels per Day)

| Region/Country                    | History (Estimates) |      | Projections |       |       |       |
|-----------------------------------|---------------------|------|-------------|-------|-------|-------|
|                                   | 1990                | 2002 | 2010        | 2015  | 2020  | 2025  |
| <b>Conventional Production</b>    | 66.7                | 76.6 | 91.5        | 98    | 105.2 | 113.2 |
| OPEC                              | 24.6                | 28.3 | 37.0        | 40.0  | 45.5  | 51.4  |
| Asia                              | 1.5                 | 1.4  | 1.6         | 1.5   | 1.5   | 1.5   |
| Middle East                       | 16.3                | 19.0 | 25.8        | 27.9  | 32.1  | 36.7  |
| North Africa                      | 2.7                 | 3.0  | 3.6         | 3.9   | 4.4   | 4.6   |
| West Africa                       | 1.8                 | 2.0  | 2.5         | 2.7   | 3.1   | 3.6   |
| South America                     | 2.3                 | 2.9  | 3.5         | 4.0   | 4.4   | 5.0   |
| Non-OPEC                          | 42.1                | 48.3 | 54.5        | 58.0  | 59.7  | 61.8  |
| Mature Market Economies           | 20.1                | 22.9 | 23.5        | 23.0  | 22.4  | 21.8  |
| United States                     | 9.7                 | 9.3  | 9.9         | 9.7   | 9.5   | 9.3   |
| Canada                            | 2.0                 | 2.1  | 1.8         | 1.7   | 1.6   | 1.6   |
| Mexico                            | 3.0                 | 3.6  | 4.3         | 4.6   | 4.7   | 4.9   |
| Western Europe                    | 4.6                 | 6.9  | 6.4         | 6.0   | 5.6   | 5.0   |
| Japan                             | 0.1                 | 0.2  | 0.1         | 0.1   | 0.1   | 0.1   |
| Australia and New Zealand         | 0.7                 | 0.8  | 1.0         | 0.9   | 0.9   | 0.9   |
| Transitional Economies            | 11.6                | 11.4 | 13.9        | 15.7  | 16.8  | 18.0  |
| Former Soviet Union               | 11.3                | 11.2 | 13.6        | 15.3  | 16.4  | 17.5  |
| Russia                            | 11.3                | 9.6  | 10.3        | 10.8  | 11.1  | 11.3  |
| Caspian and Other FSU             | 0.0                 | 1.6  | 3.3         | 4.5   | 5.3   | 6.2   |
| Eastern Europe                    | 0.3                 | 0.2  | 0.3         | 0.4   | 0.4   | 0.5   |
| Emerging Economies                | 10.4                | 14.0 | 17.1        | 19.3  | 20.5  | 22.0  |
| China                             | 2.8                 | 3.0  | 3.7         | 3.6   | 3.6   | 3.5   |
| Other Asia                        | 1.7                 | 2.4  | 2.7         | 2.8   | 2.8   | 2.7   |
| Middle East                       | 1.4                 | 1.9  | 2.3         | 2.5   | 2.6   | 2.8   |
| Africa                            | 2.1                 | 2.9  | 3.8         | 4.9   | 5.5   | 6.5   |
| Central and South America         | 2.4                 | 3.8  | 4.6         | 5.5   | 6.0   | 6.5   |
| <b>Nonconventional Production</b> | 0.0                 | 1.5  | 2.8         | 4.9   | 5.5   | 5.7   |
| United States                     | 0.0                 | 0.0  | 0.0         | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Other North America               | 0.0                 | 0.8  | 1.7         | 3.1   | 3.3   | 3.5   |
| Western Europe                    | 0.0                 | 0.0  | 0.0         | 0.0   | 0.1   | 0.1   |
| Asia                              | 0.0                 | 0.0  | 0.0         | 0.0   | 0.1   | 0.1   |
| Middle East                       | 0.0                 | 0.0  | 0.1         | 0.2   | 0.2   | 0.2   |
| Africa                            | 0.0                 | 0.2  | 0.2         | 0.2   | 0.3   | 0.3   |
| Central and South America         | 0.0                 | 0.5  | 0.8         | 1.4   | 1.5   | 1.5   |
| <b>Liquids Production</b>         | 66.7                | 78.1 | 94.3        | 102.9 | 110.7 | 118.9 |
| OPEC                              | 24.6                | 28.7 | 37.7        | 41.3  | 46.8  | 52.7  |
| Non-OPEC                          | 42.1                | 49.4 | 56.6        | 61.7  | 63.9  | 66.2  |

Persian Gulf Production as a  
Percentage of World

|             |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Consumption | 24.5% | 24.3% | 27.5% | 27.3% | 29.2% | 31.0% |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

Notes: OPEC = Organization of Petroleum Exporting Countries. Conventional production includes crude oil (including lease condensates), natural gas liquids, other hydrogen hydrocarbons for refinery feedstocks, refinery gains, alcohol, and liquids produced from coal and other sources.

Nonconventional liquids include production from oil sands, ultra-heavy oils, gas to liquids technologies, coal to liquids technologies, biofuel technologies, and shale oil. Totals may not equal sum of components due to independent rounding.

Sources: History: Energy Information Administration (EIA), Energy Markets and Contingency Information Division. Projections: EIA, System for the Analysis of Global Energy Markets (2005); and U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, World Petroleum Assessment 2000 (Reston, VA, July 2000).



**International Energy Outlook 2005**

Report #: DOE/EIA-0484(2005)

Released Date: July 2005

Next Release Date: July 2006

**Table E5. World Oil Production by Region and Country, High Oil Price Case, 1990-2025**  
(Million Barrels per Day)

| Region/Country                    | History (Estimates) |      | Projections |      |       |       |
|-----------------------------------|---------------------|------|-------------|------|-------|-------|
|                                   | 1990                | 2002 | 2010        | 2015 | 2020  | 2025  |
| <b>Conventional Production</b>    | 66.7                | 76.6 | 88.5        | 92.6 | 97.3  | 102.4 |
| OPEC                              | 24.5                | 30.2 | 32.0        | 31.2 | 33.1  | 35.0  |
| Asia                              | 1.5                 | 1.4  | 1.3         | 1.2  | 1.1   | 1.0   |
| Middle East                       | 16.2                | 20.9 | 22.3        | 21.8 | 23.3  | 25.1  |
| North Africa                      | 2.7                 | 3.0  | 3.1         | 3.0  | 3.2   | 3.1   |
| West Africa                       | 1.8                 | 2.0  | 2.2         | 2.1  | 2.3   | 2.4   |
| South America                     | 2.3                 | 2.9  | 3.1         | 3.1  | 3.2   | 3.4   |
| Non-OPEC                          | 42.2                | 46.4 | 56.5        | 61.4 | 64.2  | 67.4  |
| Mature Market Economies           | 20.1                | 22.9 | 24.3        | 24.1 | 23.9  | 23.2  |
| United States                     | 9.7                 | 9.3  | 10.1        | 10.1 | 10.1  | 9.8   |
| Canada                            | 2.0                 | 2.1  | 1.9         | 1.7  | 1.7   | 1.7   |
| Mexico                            | 3.0                 | 3.6  | 4.5         | 4.9  | 5.1   | 5.3   |
| Western Europe                    | 4.6                 | 6.9  | 6.7         | 6.3  | 5.9   | 5.4   |
| Japan                             | 0.1                 | 0.2  | 0.1         | 0.1  | 0.1   | 0.1   |
| Australia and New Zealand         | 0.7                 | 0.8  | 1.0         | 1.0  | 1.0   | 0.9   |
| Transitional Economies            | 11.7                | 9.5  | 14.4        | 16.9 | 18.1  | 20.0  |
| Former Soviet Union               | 11.4                | 9.3  | 14.0        | 16.5 | 17.7  | 19.5  |
| Russia                            | 11.4                | 7.7  | 10.7        | 11.6 | 12.0  | 12.5  |
| Caspian and Other FSU             | 0.0                 | 1.6  | 3.3         | 4.9  | 5.7   | 7.0   |
| Eastern Europe                    | 0.3                 | 0.2  | 0.4         | 0.4  | 0.4   | 0.5   |
| Emerging Economies                | 10.4                | 14.0 | 17.8        | 20.4 | 22.2  | 24.2  |
| China                             | 2.8                 | 3.0  | 3.7         | 3.7  | 3.8   | 3.7   |
| Other Asia                        | 1.7                 | 2.4  | 2.8         | 3.0  | 2.9   | 2.9   |
| Middle East                       | 1.4                 | 1.9  | 2.4         | 2.6  | 2.8   | 3.0   |
| Africa                            | 2.1                 | 2.9  | 4.1         | 5.2  | 6.1   | 7.4   |
| Central and South America         | 2.4                 | 3.8  | 4.8         | 5.9  | 6.6   | 7.2   |
| <b>Nonconventional Production</b> | 0.0                 | 1.5  | 4.3         | 7.1  | 8.8   | 10.5  |
| United States                     | 0.0                 | 0.0  | 0.1         | 0.4  | 0.8   | 1.2   |
| Other North America               | 0.0                 | 0.8  | 2.1         | 3.7  | 4.2   | 4.7   |
| Western Europe                    | 0.0                 | 0.0  | 0.1         | 0.1  | 0.1   | 0.1   |
| Asia                              | 0.0                 | 0.0  | 0.1         | 0.1  | 0.2   | 0.2   |
| Middle East                       | 0.0                 | 0.0  | 0.2         | 0.3  | 0.4   | 0.6   |
| Africa                            | 0.0                 | 0.2  | 0.3         | 0.5  | 0.6   | 0.7   |
| Central and South America         | 0.0                 | 0.5  | 1.4         | 2.0  | 2.5   | 3.0   |
| <b>Liquids Production</b>         | 66.7                | 78.1 | 92.8        | 99.7 | 106.1 | 112.9 |
| OPEC                              | 24.5                | 30.6 | 33.3        | 33.0 | 35.4  | 37.9  |
| Non-OPEC                          | 42.2                | 47.5 | 59.6        | 66.7 | 70.7  | 75.1  |

**Persian Gulf Production as a Percentage of World Consumption**

|  |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | 24.4% | 26.7% | 22.7% | 20.1% | 19.7% | 18.4% |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

Notes: OPEC = Organization of Petroleum Exporting Countries. Conventional production includes crude oil (including lease condensates), natural gas liquids, other hydrogen hydrocarbons for refinery feedstocks, refinery gains, alcohol, and liquids produced from coal and other sources.

Nonconventional liquids include production from oil sands, ultra-heavy oils, gas to liquids technologies, coal to liquids technologies, biofuel technologies, and shale oil. Totals may not equal sum of components due to independent rounding.

Sources: History: Energy Information Administration (EIA), Energy Markets and Contingency Information Division. Projections: EIA, System for the Analysis of Global Energy Markets (2005); and U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, World Petroleum Assessment 2000 (Reston, VA, July 2000).



**International Energy Outlook 2005**

Report #: DOE/EIA-0484(2005)

Released Date: July 2005

Next Release Date: July 2006

**Table E6. World Oil Production by Region and Country, Low Oil Price Case, 1990-2025**  
(Million Barrels per Day)

| Region/Country                    | History (Estimates) |      | Projections |       |       |       |
|-----------------------------------|---------------------|------|-------------|-------|-------|-------|
|                                   | 1990                | 2002 | 2010        | 2015  | 2020  | 2025  |
| <b>Conventional Production</b>    | 66.7                | 76.6 | 96.4        | 106.1 | 115.9 | 126.6 |
| <b>OPEC</b>                       | 24.5                | 28.3 | 43.4        | 50.3  | 58.7  | 67.6  |
| Asia                              | 1.5                 | 1.4  | 1.8         | 1.9   | 1.9   | 2.0   |
| Middle East                       | 16.2                | 19.0 | 30.3        | 35.1  | 41.4  | 48.4  |
| North Africa                      | 2.7                 | 3.0  | 4.3         | 4.9   | 5.7   | 6.0   |
| West Africa                       | 1.8                 | 2.0  | 2.9         | 3.4   | 4.0   | 4.7   |
| South America                     | 2.3                 | 2.9  | 4.1         | 5.0   | 5.7   | 6.5   |
| <b>Non-OPEC</b>                   | 42.2                | 48.3 | 53.0        | 55.8  | 57.2  | 59.0  |
| <b>Mature Market Economies</b>    | 20.1                | 22.9 | 22.8        | 22.0  | 21.4  | 20.4  |
| United States                     | 9.7                 | 9.3  | 9.5         | 9.1   | 8.9   | 8.4   |
| Canada                            | 2.0                 | 2.1  | 1.8         | 1.6   | 1.6   | 1.5   |
| Mexico                            | 3.0                 | 3.6  | 4.2         | 4.5   | 4.5   | 4.7   |
| Western Europe                    | 4.6                 | 6.9  | 6.3         | 5.8   | 5.4   | 4.9   |
| Japan                             | 0.1                 | 0.2  | 0.1         | 0.1   | 0.1   | 0.1   |
| Australia and New Zealand         | 0.7                 | 0.8  | 0.9         | 0.9   | 0.9   | 0.8   |
| <b>Transitional Economies</b>     | 11.7                | 11.4 | 13.4        | 15.3  | 16.2  | 17.3  |
| Former Soviet Union               | 11.4                | 11.2 | 13.1        | 14.9  | 15.8  | 16.9  |
| Russia                            | 11.4                | 9.6  | 10.0        | 10.5  | 10.6  | 10.9  |
| Caspian and Other FSU             | 0.0                 | 1.6  | 3.1         | 4.4   | 5.2   | 6.0   |
| Eastern Europe                    | 0.3                 | 0.2  | 0.3         | 0.4   | 0.4   | 0.4   |
| <b>Emerging Economies</b>         | 10.4                | 14.0 | 16.8        | 18.5  | 19.6  | 21.3  |
| China                             | 2.8                 | 3.0  | 3.6         | 3.4   | 3.4   | 3.3   |
| Other Asia                        | 1.7                 | 2.4  | 2.6         | 2.7   | 2.6   | 2.6   |
| Middle East                       | 1.4                 | 1.9  | 2.2         | 2.4   | 2.5   | 2.7   |
| Africa                            | 2.1                 | 2.9  | 3.8         | 4.7   | 5.3   | 6.5   |
| Central and South America         | 2.4                 | 3.8  | 4.6         | 5.3   | 5.8   | 6.2   |
| <b>Nonconventional Production</b> | 0.0                 | 1.5  | 2.6         | 4.0   | 4.3   | 4.3   |
| United States                     | 0.0                 | 0.0  | 0.0         | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Other North America               | 0.0                 | 0.8  | 1.6         | 2.7   | 2.8   | 2.9   |
| Western Europe                    | 0.0                 | 0.0  | 0.0         | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Asia                              | 0.0                 | 0.0  | 0.0         | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Middle East                       | 0.0                 | 0.0  | 0.0         | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Africa                            | 0.0                 | 0.2  | 0.2         | 0.2   | 0.2   | 0.2   |
| Central and South America         | 0.0                 | 0.5  | 0.8         | 1.1   | 1.3   | 1.2   |
| <b>Liquids Production</b>         | 66.7                | 78.1 | 99.0        | 110.1 | 120.2 | 130.9 |
| <b>OPEC</b>                       | 24.5                | 28.7 | 44.0        | 51.1  | 59.7  | 68.5  |
| <b>Non-OPEC</b>                   | 42.2                | 49.4 | 55.0        | 59.0  | 60.5  | 62.4  |

Persian Gulf Production as a  
Percentage of World

|                    |              |              |              |              |              |              |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Consumption</b> | <b>24.4%</b> | <b>24.3%</b> | <b>30.6%</b> | <b>31.9%</b> | <b>34.5%</b> | <b>37.0%</b> |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|

Notes: OPEC = Organization of Petroleum Exporting Countries. Conventional production includes crude oil (including lease condensates), natural gas liquids, other hydrogen hydrocarbons for refinery feedstocks, refinery gains, alcohol, and liquids produced from coal and other sources.

Nonconventional liquids include production from oil sands, ultra-heavy oils, gas to liquids technologies, coal to liquids technologies, biofuel technologies, and shale oil. Totals may not equal sum of components due to independent rounding.

Sources: History: Energy Information Administration (EIA), Energy Markets and Contingency Information Division. Projections: EIA, System for the Analysis of Global Energy Markets (2005); and U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, World Petroleum Assessment 2000 (Reston, VA, July 2000).

