



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων

**Ειδίκευση: Συστήματα διαχείρισης ενεργείας και προστασίας
περιβάλλοντος**

Διπλωματική Εργασία

**«Διερεύνηση των αιτιών απόκλισης της εκτιμώμενης από την
παρατηρούμενη ζήτηση υδρογονανθράκων»**

**«Investigating the causes responsible for deviation between estimated and
observed demand of hydrocarbons»**

Σταυρούλα Π. Ζερβοπούλου - ΜΠΣ/1107

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ομοτ. Καθ. Μπατζιάς Φραγκίσκος (Επιβλέπων)

Αναπ. Καθ. Σιδηράς Δημήτριος

Επ. Καθ. Σιοντόρου Χριστίνα (Συνεπιβλέπουσα)

Πειραιάς
Ιούλιος, 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μελέτη αποτελεί διπλωματική εργασία που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων με ειδίκευση στα Συστήματα Διαχείρισης και Προστασίας Περιβάλλοντος, το οποίο συνδιοργανώθηκε από το Πανεπιστήμιο Πειραιώς, το Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, τη Σχολή Χημικών Μηχανικών.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση και η ανάλυση των αιτιών απόκλισης της ζήτησης υδρογονανθράκων (αργό πετρέλαιο και φυσικό αέριο) σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς επίσης και η εφαρμογή του μοντέλου του K. Hubbert για την μελλοντική πρόβλεψη της παραγωγής υδρογονανθράκων, σε ορισμένα κράτη και πολιτείες των Η.Π.Α..

Η ανάθεση και η επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε από τον Ομότιμο Καθηγητή κ. Μπατζιά Φραγκίσκο του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Λέξεις κλειδιά

Hydrocarbons, oil price, oil supply and demand, oil stocks, oil reserves, R/P ratio, peak oil theory, Club of Rome, MIT Report: Limits to Growth, peak oil models, Hubbert model.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου τον Ομοτ. Καθηγητή κ. Μπατζιά Φραγκίσκο, για την πολύτιμη βοήθεια, την επιστημονική καθοδήγηση και την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επιπρόσθετα τον ευχαριστώ για το τόσο πρωτότυπο και ενδιαφέρον θέμα που μου πρότεινε που δίχως την παρότρυνσή του, τη συνεχή καθοδήγησή του και την κατανόησή του δε θα ασχολιόμουν με ένα τόσο ενδιαφέρον ζήτημα όπως είναι η θεωρία περί κορύφωσης της παραγωγής υδρογονανθράκων τόσο σε παγκόσμια όσο και σε τοπικό επίπεδο, καθώς και ο χρόνος εξάντλησής του που αποτελούν και θα εξακολουθούν να αποτελούν ζητήματα ιδιαίτερου οικονομοτεχνικού ενδιαφέροντος.

Ευχαριστώ τον Αναπ. Καθηγητή κ Σιδηρά Δημήτριο για τις συμβουλές και την ηθική υποστήριξη που μου παρείχε καθ'όλη τη διάρκεια της συγγραφής της μεταπτυχιακής εργασίας μου καθώς και τη συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή.

Εν συνεχεία οφείλω βαθιές ευχαριστίες στην συνεπιβλέπουσα Επικ Καθηγήτρια κα Σιοντόρου Χριστίνα τόσο για την συμμετοχή της στην τριμελή επιτροπή όσο και την αμέριστη βοήθειά της αλλά και για τις πολύτιμες συμβουλές της κατά την εκπόνηση της εργασίας μου.

Δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που βρίσκεται πάντα δίπλα μου και με παροτρύνουν να εξελίσσομαι τόσο ως άνθρωπος αλλά και ως επιστήμονας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται ενδελεχώς η βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τους υδρογονάνθρακες και κυρίως του αργού πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Επιπλέον γίνεται εκτενής ιστορική αναδρομή στην τιμή του αργού πετρελαίου και στις επιπτώσεις της αυξομείωσης της τιμής του στη σχέση της προσφοράς και της ζήτησης, ενώ παρουσιάζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του αργού πετρελαίου.

Επιπρόσθετα παρουσιάζεται μια εκτενής ανάλυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και του σχετικού πολιτικού πλαισίου (Λευκή Βίβλος, Πρωτόκολλο του Κιότο). Στη συνέχεια γίνεται λόγος για τα αποθέματα πετρελαίου, το λόγο αποθεμάτων προς παραγωγή, την παραγωγή και την κατανάλωση του πετρελαίου καθώς και τις σχετικές προβλέψεις έως το 2040 (σύμφωνα με την Αμερικανική Υπηρεσία Ενεργειακών Υπηρεσιών), τόσο παγκοσμίως, όσο και για ορισμένες περιοχές (Η.Π.Α., Σαουδική Αραβία, Κίνα και Ρωσία).

Το κύριο θέμα της διπλωματικής εργασίας βασίζεται στη θεωρία περί κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου (peak oil theory) και στις απόψεις οικονομολόγων και περιβαλλοντολόγων για την εξάντληση των υδρογονανθράκων. Η αναφορά της Λέσχης της Ρώμης «Τα όρια της ανάπτυξης» αποτέλεσε βασικό παράγοντα στη δεκαετία του '70 στην κατανόηση ότι οι πόροι είναι πεπερασμένοι και ότι η ανθρωπότητα πρέπει να αναθεωρήσει τη στάση της απέναντι στην αλόγιστη κατανάλωση συμβατικών πηγών ενέργειας και να στραφεί στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τέλος, εφαρμόστηκε το μοντέλο του Hubbert για την πρόβλεψη της πετρελαϊκής παραγωγής, αλλά και της παραγωγής φυσικού αερίου σε ορισμένες χώρες αλλά και σε ορισμένες πολιτείες των Η.Π.Α.. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το μοντέλο υπακούει στην απαγωγική/παραγωγική λογική, δηλαδή είναι ένα ορθολογιστικό υπόδειγμα αδράνειας (inertia model) και δεν μπορεί να εφαρμοστεί παντού διότι δε λαμβάνει υπόψη άλλους παράγοντες π.χ. την αύξηση των τιμών του πετρελαίου.

ABSTRACT

This thesis presents a thorough literature review on hydrocarbons, particularly crude oil and natural gas. Furthermore, an extensive historic background on crude oil prices is given, along with the impact of price fluctuations on supply and demand, while the factors affecting crude oil price are presented.

A comprehensive analysis of renewable energy sources is, also, presented, including the relevant major policy drivers (White Paper, Kyoto Protocol). Subsequently, several issues are presented, such as oil stocks, the ratio of stocks to production (R/P), production and consumption, along with the 2040 forecasting (according to the US Energy Information Administration), both, at a global and regional level (USA, Saudi Arabia, China and Russia).

The main subject of the thesis is based on peak oil theory and the views of economists and environmentalists regarding the hydrocarbon depletion. The Club of Rome report "The Limits to Growth" was a key factor in the 1970s in understanding that resources are finite and the humanity should reconsider its attitude to excess consumption of conventional energy sources and focus on renewable energy sources.

Finally, the Hubbert model for the prediction of oil and natural gas production was applied in some countries and USA regions. According to the results, the model obeys the deductive logic, that is a rational model of inertia and can not be applied in all cases because it does not consider other factors, such as oil price rising.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Ελληνικές

Η.Π.Α.: Ηνωμένες πολιτείες της Αμερικής

ΟΠΕΚ: Οργανισμός εξαγωγών πετρελαιοπαραγωγών χωρών

ΟΑΠΕΚ: Οργανισμός εξαγωγών Αραβικών πετρελαιοπαραγωγών χωρών

Ο.Η.Ε.: Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών

ΔΟΕ: Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας

ΟΟΑΣΑ: Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης

Α/Γ: ανεμογεννήτρια

ΔΥΕ: Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας

Υ/Ε: Υδροηλεκτρική Ενέργεια

ΥΗΕ: Υδροηλεκτρικό Έργο

R/P: Λόγος αποθεμάτων προς παραγωγή

Αγγλικές

API: American Petroleum Institute

IFO 180CST: Intermediate Fuel Oil – 180 centistokes

HFO 380CS: Heavy Fuel Oil – 380 centistokes

WTI: West Texas Intermediate

BP: British Petroleum

ppb: parts per billion

GB: billion barrels

EIA: Energy Information Administration, independent statistical agency within the U.S. De-partment of Energy devoted to providing policy-independent data, forecasts and analysis

CBM: Coalbed methane

EPA: US Environmental Protection Agency

XTO: XTO Energy Inc., a subsidiary of ExxonMobil

NORM: Naturally Occurring Radioactive Materials

PwC: PricewaterhouseCoopers

IAGS: Institute for the Analysis of Global Security

AWEA: American Wind Energy Association

EWEA: European Wind Energy Association

ASPO: Association for the Study of Peak Oil

HCZ: Hu-Chen-Zhang

bpd: barrels per day [b/d], common unit for measuring production

CERA: Cambridge Energy Research Associates, consulting firm specialized in advising companies and governments on energy markets, geopolitics, industry trends and strategy

IEA: International Energy Agency, intergovernmental energy organization founded by the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)-countries

NGL: Natural Gas Liquids, liquid side products from natural gas processing

USGS: United States Geological Survey, scientific agency in the U.S. government devoted to geo-sciences and natural resources

SEE: Standard Estimation Error

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|-----|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ..... | II |
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ..... | III |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | IV |
| ABSTRACT | V |
| ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ..... | VI |
| | |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 | 1 |
| ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ | 1 |
| ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ | 2 |
| 1.1 Πετρέλαιο ^{2,3,4,29} | 2 |
| 1.1.1 Πτωχές πηγές υδρογονανθράκων ^{5,29} | 11 |
| 1.2 Φυσικό αέριο ^{2,9,29} | 16 |
| 1.2.1 Η υδραυλική ρωγμάτωση ^{8,17} | 32 |
| 1.3 Γαιάνθρακες ^{1,28} | 36 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2..... | 38 |
| ΤΙΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ..... | 38 |
| ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ | 39 |
| 2.1 Ιστορική αναδρομή κατά περιόδους ^{19,20} | 39 |
| 2.2 Ανάλυση Προσφοράς - Ζήτησης και επιπτώσεις της τιμής του πετρελαίου ^{21,22,23,24} | 45 |
| 2.3 ΟΠΕΚ (Οργανισμός εξαγωγών πετρελαιοπαραγωγών χωρών) ^d | 46 |
| 2.3.1 Ο ρόλος του ΟΠΕΚ στη διαμόρφωση των τιμών του αργού πετρελαίου ^d | 47 |
| 2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του αργού πετρελαίου ^{25,26} | 49 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 | 52 |
| ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – Α.Π.Ε..... | 52 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ ²⁷ | 53 |
| 3.1 Ηλιακή Ενέργεια ²⁷ | 57 |
| 3.2 Αιολική ενέργεια ^{27,g} | 58 |
| 3.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια ^{27,g} | 60 |
| 3.4 Η Ενέργεια της Θάλασσας ²⁷ | 61 |
| 3.5 Βιομάζα ²⁷ | 62 |
| 3.6 Γεωθερμική ενέργεια ²⁷ | 65 |
| 3.7 Πολιτικό πλαίσιο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ^{29, 32,} | 68 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4..... | 73 |

| | |
|---|-----|
| ZΗΤΗΣΗ - ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ & ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ..... | 73 |
| 4.1 Αποθέματα πετρελαίου ^{9,33,34} | 74 |
| 4.1.1 Λόγος αποθεμάτων προς παραγωγή (R/P) ^{33,9} | 78 |
| 4.2 Παραγωγή πετρελαίου ^{9,33} | 80 |
| 4.3 Κατανάλωση πετρελαίου ^{9,33} | 84 |
| 4.3.1 Μοντελοποίηση της παραγωγής πετρελαίου ³ | 92 |
| 4.3.2 Ο ρόλος της τεχνολογίας στην παραγωγή πετρελαίου ^{4,38} | 93 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5..... | 104 |
| ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΚΟΡΥΦΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (Peak Oil Theory)..... | 104 |
| 5.1 Θεωρία της κορύφωσης παραγωγής πετρελαίου (Peak Oil Theory) και οι δυο σχολές σκέψης ^{26,39,40,41} | 105 |
| 5.1.1 Απόψεις αισιόδοξων και απαισιόδοξων ⁴² | 108 |
| 5.1.2 Η Λέσχη της Ρώμης ⁴² | 110 |
| 5.1.3 Τέσσερις χαρακτηριστικές απόψεις για τις μελλοντικές προοπτικές ⁴³ | 115 |
| 5.2 Η θεωρία της κορύφωσης ^{41, k,44} | 117 |
| 5.3 Κορύφωση πετρελαίου – Τα τέσσερα στάδια μιας νέας ιδέας ⁴⁵ | 118 |
| 5.2.2 Έχει φθάσει η πετρελαϊκή κορύφωση (peakoilism); ⁴⁶ | 119 |
| 5.3 Προβλέψεις για το πετρέλαιο..... | 120 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6..... | 128 |
| ΕΦΑΡΜΟΓΗ PEAK OIL ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΚΟΡΥΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ..... | 128 |
| 6.1 Μοντέλα πρόβλεψης της κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου..... | 129 |
| 6.2 Εφαρμογή μοντέλων για την πρόβλεψη της κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου 130 | |
| 6.2.1 Εφαρμογή του μοντέλου του Hubbert για την πρόβλεψη της κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου σε ορισμένα κράτη..... | 130 |
| 6.2.2 Εφαρμογή του μοντέλου του Hubbert για την πρόβλεψη της κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου σε ορισμένες Πολιτείες των Η.Π.Α..... | 146 |
| 6.3 Εφαρμογή μοντέλων για την πρόβλεψη της κορύφωσης της παραγωγής φυσικού αερίου 159 | |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7..... | 167 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 167 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 170 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ..... | 174 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Με τον όρο ορυκτά καύσιμα εννοούμε τα καύσιμα τα οποία προέρχονται από φυσικές πηγές όπως είναι η αναερόβια αποσύνθεση νεκρών θαμμένων οργανισμών και η ηλικία αυτών που με την εναπόθεσή τους σχηματίζουν τα ορυκτά καύσιμα κυμαίνεται από μερικά εκατομμύρια μέχρι 650 εκατομμύρια χρόνια.¹

Στα ορυκτά καύσιμα ανήκουν το πετρέλαιο το φυσικό αέριο και οι γαιάνθρακες όπως αυτά αναλύονται παρακάτω.

1.1 Πετρέλαιο^{2,3,4,29}

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το πετρέλαιο είναι και θα εξακολουθήσει και στο κοντινό μέλλον να είναι η πιο σημαντική πηγή ενέργειας. Μέχρι το 1978 ικανοποιούσε το 60% του συνόλου των ενεργειακών αναγκών. Η ανάπτυξη των βιομηχανικών χωρών βασίστηκε κατά κύριο λόγο στο πετρέλαιο και ως ενεργειακή πηγή και ως πρώτη ύλη της οργανικής βιομηχανίας. Δεν αποτελεί υπερβολή πως πίσω από κάθε βιομηχανικό αγαθό βρίσκεται έμμεσα ή και άμεσα το πετρέλαιο.

Σύσταση του πετρελαίου

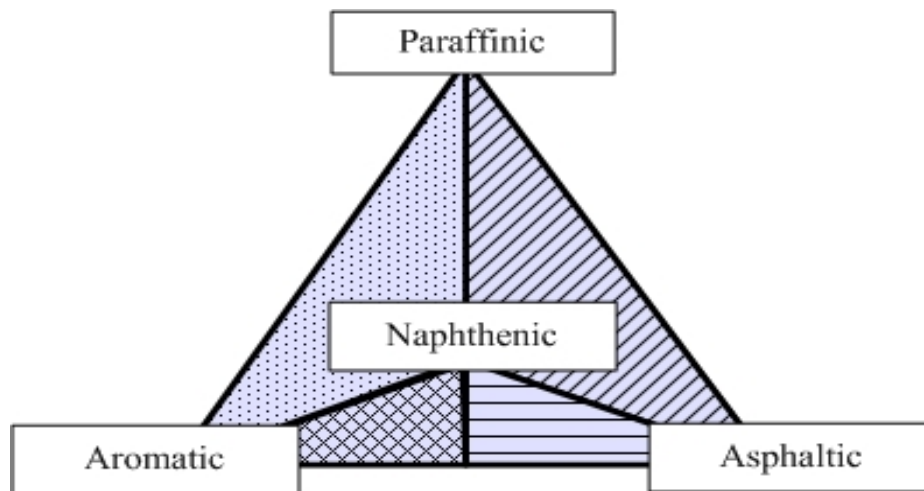
Το πετρέλαιο είναι ένα εξαιρετικά σύνθετο μείγμα κυρίως υδρογονανθράκων και ενώσεων που περιέχουν άζωτο, οξυγόνο, θείο και άτομα μετάλλων. Η σύσταση του πετρελαίου παρουσιάζει έντονες διαφοροποιήσεις ανάλογα με την προέλευση και την ηλικία σχηματισμού του. Η στοιχειακή ανάλυση σε ένα μεγάλο αριθμό δειγμάτων πετρελαίου έδειξε ότι κατά κύριο λόγο αποτελούνται από άνθρακα 83-87% κ.β., από υδρογόνο 10-14% και το υπόλοιπο 3% περίπου αποτελείται από άζωτο, οξυγόνο και θείο.

Κατηγορίες υδρογονανθράκων

Οι υδρογονάνθρακες που απαντώνται στο πετρέλαιο είναι κυρίως αλκάνια, κυκλοαλκάνια και αρωματικές ενώσεις. Οι ολεφίνες (αλκένια) απαντώνται σπάνια ενώ ακόμη σπανιότερα τα αλκίνια.

Συστηματική ταξινόμηση των πετρελαίων

Λόγω της τεράστιας ποικιλίας που παρατηρείται στη σύσταση του πετρελαίου, η συστηματική ταξινόμηση των πετρελαίων έχει σημαντική αξία για τη σωστότερη διαχείρισή τους. Το παλαιότερο και περισσότερο διαδεδομένο σύστημα διακρίνει τα πετρέλαια στην βάση της περιεκτικότητάς τους σε παραφίνες, αρωματικά και ασφατικά συστατικά.



Σχήμα 1: Διάγραμμα ταξινόμησης των πετρελαίων

(Πηγή: Ν. Βαρότσης, Σημειώσεις μαθήματος: Μηχανική Ταμιευτήρων, Χανιά, 2007)

Η ποιότητα του αργού πετρελαίου προσδιορίζεται από τρεις κυρίως παραμέτρους, οι οποίες επηρεάζουν τη σύνθεση των προϊόντων διύλισης και συνεπώς την αγοραία τιμή του κάθε τύπου αργού πετρελαίου οι οποίες είναι οι εξής:

➤ **Ειδικό Βάρος**

Το ειδικό βάρος μετρείται σε βαθμούς API (American Petroleum Institute). Όσο πιο ‘ελαφρύς’ είναι ένας τύπος αργού πετρελαίου, τόσο πιο πολλούς βαθμούς API έχει και τόσο καλύτερης ποιότητας θεωρείται. Συγκεκριμένα, τα είδη αργού πετρελαίου με API λιγότερο από 22° θεωρούνται ως ‘βαρέα’ (heavy or asphaltic), εκείνα με API μεγαλύτερο από 32° ως ‘ελαφριά’ (light), ενώ τα ενδιάμεσα ως ‘μεσαία’ (medium). Οι ελαφρείς τύποι αργού πετρελαίου προτιμούνται έναντι των βαρέων, αφού από τους πρώτους μπορούν να παραχθούν μεγαλύτερες ποσότητες βενζίνης, η οποία αποτελεί και το προϊόν διύλισης με τη μεγαλύτερη αξία.

➤ **Πετρελαϊκό Ιξώδες**

Το ιξώδες του πετρελαίου μετρείται σε centistokes. Όσο πιο πολλούς βαθμούς, έχει τόσο πιο παχύρευστο είναι και τόσο πιο δύσκολη καθίσταται η καύση του. Για παράδειγμα, οι δύο τύποι πετρελαίου που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην εμπορική ναυτιλία είναι το IFO 180CST (Intermediate Fuel Oil – 180 centistokes) και το HFO 380CST (Heavy Fuel Oil – 380 centistokes).

➤ **Περιεκτικότητα σε θείο (Sulphur content)**

Τα είδη του αργού πετρελαίου με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο είναι γνωστά ως ‘γλυκά’ (sweet), ενώ εκείνα με υψηλή περιεκτικότητα ως ‘όξινα’ (sour). Τα διυλιστήρια προτιμούν τους ‘γλυκούς’ τύπους αργού πετρελαίου, αφού η χαμηλή περιεκτικότητα τους σε θείο μειώνει τη διάρκεια διύλισης και την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από ρύπους. Για παράδειγμα, το ελαφρύ αργό πετρέλαιο τύπου West

Texas Intermediate (WTI) που παραδίδεται στην Οκλαχόμα των Η.Π.Α, είναι υψηλής ποιότητας με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (0,24%) όπως και το πετρέλαιο τύπου Brent της Βόρειας Θάλασσας με επίσης χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο.

Ανάκτηση πετρελαίου

Η εξόρυξη του πετρελαίου γίνεται με διάφορους τρόπους και με διαφορετικό κόστος.

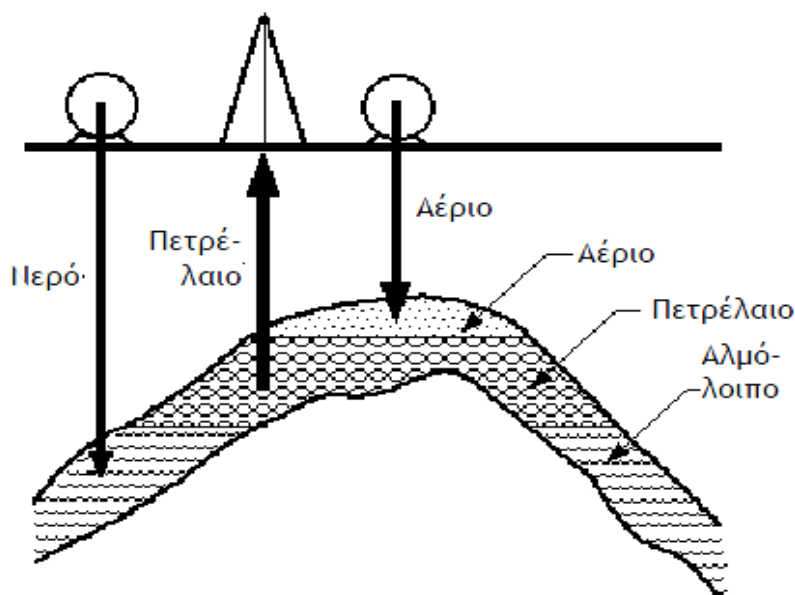
Συνήθως διακρίνεται σε:

- Πρωτογενής ανάκτηση (primary recovery).

Η ανάκτηση αυτή βασίζεται στη φυσική ροή του πετρελαίου λόγω της πίεσης που επικρατεί στον ταμιευτήρα και στην άντληση. Η πρωτογενής ανάκτηση είναι προφανώς η περισσότερο οικονομική μέθοδος παραγωγής και εφαρμόζεται εφόσον η παραγωγή είναι ικανοποιητική. Σε μερικές περιοχές στη Μέση Ανατολή η φυσική ροή ανέρχεται σε 65 m³/hr. Κατά μέσο όρο ανακτάται περίπου το 15-20% των αποθεμάτων, αν και η πρωτογενής ανάκτηση μπορεί να φτάνει μόλις το 5%.

- Δευτερογενής ανάκτηση (secondary recovery).

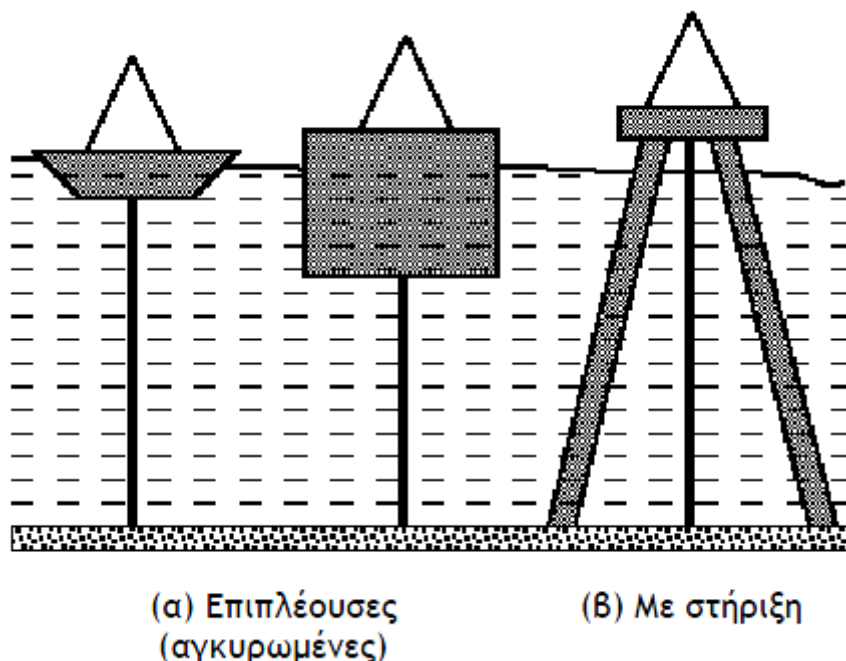
Η ανάκτηση αυτή βασίζεται στην πλημμύριση του κοιτάσματος με νερό ή στην εισαγωγή αερίου. Συνήθως ανακτάται ένα 5-20% από το κοιτάσμα. Ο συνδυασμός πρωτογενούς και δευτερογενούς ανάκτησης καλείται συμβατική ανάκτηση. Με τη συμβατική ανάκτηση εξορύσσεται κατά μέσο όρο το 30% ενός κοιτάσματος (η περιοχή τιμών κυμαίνεται από 15-40%).



Σχήμα 2: Δευτερογενής ανάκτηση πετρελαίου με εισαγωγή νερού και αερίων

(Πηγή: [N. Ανδρίτσος, «Ενέργεια και Περιβάλλον» 2, 2008](#))

- Τριτογενής ή προχωρημένη ανάκτηση (tertiary or enhanced recovery). Αποτελεί δαπανηρή μέθοδο και πραγματοποιείται με τη μείωση του ιξώδους του πετρελαίου που επιτυγχάνεται με θέρμανση με ατμό ή με εισαγωγή διοξειδίου του άνθρακα ή κατάλληλων τασιενεργών ουσιών. Αποδοτικότερη είναι η τριτογενής ανάκτηση με την εισαγωγή ατμού. Με το συνδυασμό των τριών τρόπων ανάκτησης μπορεί να ανακτηθεί ποσοστό πετρελαίου της τάξης του 40 με 80%, αλλά ξοδεύεται περίπου το ένα τρίτο της παραγωγής. Ο ταμιευτήρας πετρελαίου συχνά βρίσκεται στη θάλασσα, οπότε πρέπει να κατασκευαστεί κάποιο είδος σταθερής πλατφόρμας για να προχωρήσει η συχνά επικίνδυνη και δαπανηρή διαδικασία ανόρυξης της γεώτρησης. Οι πλατφόρμες χωρίζονται σε επιπλέουσες με αγκύρωση και σε σταθερές, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3. Η ανόρυξη γεωτρήσεων στη θάλασσα κοστίζουν μέχρι και 10 φορές περισσότερο από το αν η ανόρυξη γινόταν στην ξηρά.



Σχήμα 3: Τύποι πλατφόρμας άντλησης πετρελαίου

(Πηγή: [N. Ανδρίτσος, «Ενέργεια και Περιβάλλον» 2, 2008](#))

Συμβατικό και μη-συμβατικό πετρέλαιο

Το αργό πετρέλαιο βρίσκεται κυρίως εγκλωβισμένο σε πορώδεις ψαμμίτες οι οποίοι καλύπτονται από αδιαπέραστα πετρώματα. Το αλάτι αποτελεί άριστο αδιαπέραστο στρώμα (μικρό πορώδες, μικροί κόκκοι) και προέρχεται από την εξάτμιση θαλασσινού νερού. Το πετρέλαιο που μπορεί να ανακτηθεί με την πρωτογενή και τη δευτερογενή ανάκτηση, όπως διατυπώθηκε παραπάνω, ανέρχεται σε ποσοστό 20-40%

του συνολικού πετρελαίου που βρίσκεται σε έναν ταμιευτήρα και καλείται «συμβατικό» πετρέλαιο (conventional oil).

Το υπόλοιπο ποσοστό που μπορεί εν μέρει να ανακτηθεί με εξειδικευμένες και δαπανηρές μεθόδους καλείται «μη-συμβατικό πετρέλαιο». Στην δεύτερη κατηγορία κατατάσσεται και το πετρέλαιο που μπορεί να ανακτηθεί από τους βιτουμενιούχους σχίστες (shale oil, κοιτάσματα στις δυτικές Η.Π.Α.), από πισσούχους άμμους (tar sands, βρίσκονται στον Καναδά) και από το βαρύ πετρέλαιο. Αυτοί οι τύποι πετρελαίου σχηματίζονται κατά την μετακίνηση του αργού πετρελαίου προς την επιφάνεια της γης και την απώλεια των ελαφρύτερων και πτητικότερων συστατικών του.

Δημιουργία κοιτασμάτων ρεύσεων υδρογονανθράκων

Οργανικά κατάλοιπα φυτών και θαλάσσιων οργανισμών διατηρήθηκαν χωρίς επαφή με το οξυγόνο μέσα σε ιζηματογενή πετρώματα. Κατά το πρώτο στάδιο της μεταμόρφωσής τους, μικροοργανισμοί μετατρέπουν μέρος του οργανικού υλικού σε μεθάνιο. Καθώς το βάθος του στρώματος αυξάνει, αυξάνει συγχρόνως και η θερμοκρασία με αποτέλεσμα την αναστολή της μικροβιακής δραστηριότητας που αντιστοιχεί στο τέλος της διαγένεσης. Τώρα πλέον οι θερμικές μετατροπές καθίστανται σημαντικές και το κηρογόνο που σχηματίστηκε διασπάται σε μικρότερα και πλέον ευκίνητα μόρια τα βιτουμένα, στα πρώτα στάδια της καταγένεσης, τα οποία με τη σειρά τους μετατρέπονται σε μικρότερα μόρια υγρής και αέριας φάσης.



Σχήμα 4: Δημιουργία ρευστών υδρογονανθράκων

(Πηγή: Ν. Βαρότσης, Σημειώσεις μαθήματος: Μηχανική Ταμιευτήρων, Χανιά, 2007)

Η δημιουργία των μορίων των υδρογονανθράκων μέσα στα ιζηματογενή πετρώματα δημιουργεί αύξηση της πίεσης στον σχηματισμό που όταν υπερβεί την αντοχή του πετρώματος σχηματίζονται ρωγμές μέσω των οποίων ποσότητες υδρογονανθράκων

αποβάλλονται στον περιβάλλοντα χώρο. Η πρωτογενής μετανάστευση είναι πολύ βραδεία και λαμβάνει χώρα διαμέσου πορώδους μέσου συνήθως ελάχιστα διαπερατού μέχρις ότου οι υδρογονάνθρακες συναντήσουν ευνοϊκότερες συνθήκες ροής οπότε η δευτερογενής μετανάστευση καθίσταται πολύ ταχύτερη.

Η ροή των υδρογονανθράκων μέσα σε διαπερατά στρώματα κατά την διάρκεια της δευτερογενούς μετανάστευσης ρυθμίζεται κυρίως από τις δυνάμεις της άνωσης καθότι οι υδρογονάνθρακες έχοντας μικρότερη πυκνότητα από το νερό του σχηματισμού το εκτοπίζουν προς τα κάτω ενώ αυτοί κινούνται προς τα πάνω.

Η προς τα πάνω κίνηση των μεταναστευτικών υδρογονανθράκων συνεχίζεται μέχρις ότου η ροή συναντήσει αδιαπέρατο πέτρωμα όπου οι τριχοειδείς πιέσεις εισόδου στους πόρους δεν δύνανται να υπερκινηθούν από τις δυνάμεις άνωσης, οπότε και οι υδρογονάνθρακες παγιδεύονται. Οι παγίδες των ρευστών υδρογονανθράκων είναι είτε δομικές είτε στρωματογραφικές.

Σταδία εκμετάλλευσης πετρελαίου

- Στάδιο ανίχνευσης κοιτασμάτων πετρελαίου

Η ανίχνευση των ταμειωτήρων υδρογονανθράκων γίνεται με διάφορες μεθόδους έρευνας που διακρίνονται σε:

- ✓ Επιφανειακή έρευνα
- ✓ Γεωλογική έρευνα
- ✓ Γεωφυσική έρευνα

Η επιφανειακή έρευνα μπορεί να προσφέρει μόνο ενδείξεις ενώ η γεωλογική έρευνα αποτελεί την πρώτη φάση της συστηματικής αναζήτησης του πετρελαίου. Ιδιαίτερης σημασίας είναι ο συσχετισμός των γεωλογικών σχηματισμών της υπό έρευνα περιοχής με τους αντίστοιχους σχηματισμούς γειτονικών πετρελαιοπαραγωγών, και επομένως εντατικά μελετημένων περιοχών. Τέλος το στάδιο της ανίχνευσης ολοκληρώνεται με τη γεωφυσική έρευνα που κυρίως χρησιμοποιείται η μέθοδος σεισμικής ανάκλασης. Συγκεκριμένα με τη μέθοδο σεισμικής ανάκλασης δεν είναι δυνατή η μέτρηση κάποιας ιδιότητας του πετρελαίου αλλά εντοπίζονται δομές όπου είναι πιθανή η παγίδευση του πετρελαίου (έμμεση μέθοδος). Επίσης χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του πάχους των ιζηματογενών λεκανών σαν αναγνωριστικές, η μέθοδος σεισμικής διάθλασης, η βαρυτική μέθοδος και η μαγνητική μέθοδος.

- Ερευνητικές γεωτρήσεις - Δειγματοληψία

Αφού τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνητικών προσπαθειών συνεκτιμηθούν και αξιολογηθούν κι εφόσον προκύψουν αποχρώσεις ενδείξεις, επιλέγεται το σημείο στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η πρώτη γεώτρηση. Η γεώτρηση δοκιμάζει την

εγκυρότητα της γεωλογικής και γεωφυσικής έρευνας για την ύπαρξη νέων κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου και αποδεικνύει εάν οι υπεδάφειες αναλύσεις έχουν επακριβώς διαγνώσει την ακριβή μορφολογία της περιοχής. Για την αξιολόγηση των γεωλογικών σχηματισμών με γεωφυσικές μεθόδους χρησιμοποιούνται κατάλληλα όργανα τα οποία τοποθετούνται μέσα στη γεώτρηση και απέναντι από τον υπό μελέτη σχηματισμό. Οι μέσα σε γεωτρήσεις μετρούμενες φυσικές ποσότητες συνήθως παρίστανται σε διαγράμματα συναρτήσεως του βάθους, τα οποία ονομάζονται διαγραφίες.

Τα δείγματα πυρήνων τα οποία λαμβάνονται σε διαφορετικά βάθη προσφέρονται τόσο για γεωχημικές μελέτες όσο και για πλήρη εργαστηριακή ανάλυση των ιδιοτήτων του πετρώματος και του τύπου των ρευστών τα οποία περιέχονται στους πόρους του. Οι διαγραφίες που χρησιμοποιούνται στην έρευνα του πετρελαίου κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, τις ηλεκτρικές, τις ραδιενεργές και τις ακουστικές διαγραφίες. Τα δεδομένα των διαγραφιών αντιστοιχούν σε φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων (πορώδες, διαπερατότητα και βαθμός κορεσμού σε υδρογονάνθρακες) και των περιεχομένων ρευστών και επιτρέπουν την αναγνώριση όλων των λιθολογικών μονάδων και των ρευστών που συνάντησε το γεωτρήσιμο.

- ο Αξιολόγηση ταμειυτήρα

Οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν κατά την ερευνητική φάση συνεκτιμώνται για την κατάρτιση ενός όσο το δυνατόν πιο αριστοποιημένου σχεδίου ανάπτυξης του ταμειυτήρα. Ως ταμειυτήρας ορίζεται μια συγκέντρωση υδρογονανθράκων σε πορώδη, περατά, ιζηματογενή πετρώματα. Ο ταμειυτήρας περιβάλλεται από αδιαπέρατο πέτρωμα (cap-rock) και συνήθως από υδροφόρο ορίζοντα.

Αρχικά γίνεται ο υπολογισμός του όγκου των υδρογονανθράκων που περιέχονται μέσα στον ταμειυτήρα καθώς επίσης και το ποσοστό εξ αυτών που ελπίζεται να ανακτηθεί. Έπειτα αποφασίζεται ο αριθμός των παραγωγικών γεωτρήσεων καθώς και τα σημεία στα οποία θα πραγματοποιηθούν με ένα συνδυασμό που θα επιτυγχάνει ελαχιστοποίηση του κόστους και μεγιστοποίηση της αποληψιμότητας. Έπειτα γίνονται οι γεωτρήσεις ανάπτυξης και στη συνέχεια γίνεται ο σχεδιασμός τόσο των εγκαταστάσεων και του αριθμού των πλατφορμών που θα χρειασθούν. Τέλος, φυσικά και μαθηματικά μοντέλα θα εκπονηθούν για την πρόβλεψη της παραγωγής και της κίνησης των ρευστών ανά πάσα χρονική στιγμή μέσα στο πορώδες μέσο.

- ο Στάδιο παραγωγής

Η παραγωγή του κοιτάσματος παρακολουθείται μέρα με τη μέρα και αναλύεται ανά γεώτρηση και ανά παράγουσα ζώνη. Σχεδιάζονται τεστ για την καταγραφή της εξέλιξης της τιμής της μέσης πίεσης στον ταμειυτήρα. Η ανάλυση των στοιχείων παραγωγής επιτρέπει τη διάγνωση του κύριου μηχανισμού με τον οποίο παράγεται το ρευστό. Αυτό θα επιτρέψει την έγκαιρη λήψη μέτρων για τη συνέχιση της παραγωγής και θα βελτιώσει τις προβλέψεις για την τελική απόληψιμότητα. Τα μοντέλα θα

τροποποιηθούν ώστε να συμφωνήσουν με τα δεδομένα και να διορθωθούν με τις αρχικές εκτιμήσεις και προβλέψεις τους.

Αν οι δεδομένες συνθήκες το επιβάλλουν, δευτερογενής παραγωγή θα τεθεί σε εφαρμογή με την έγχυση νερού από ειδικά τοποθετημένες γεωτρήσεις εγχύσεως έτσι ώστε το νερό να γεμίσει τους πόρους του πετρώματος και να κρατήσει την πίεση στον ταμιευτήρα υψηλή για μεγάλο χρονικό διάστημα αυξάνοντας έτσι την αποληψιμότητα. Τέλος, η μέθοδος τριτογενούς παραγωγής μπορεί να προγραμματιστεί και να τεθεί σε εφαρμογή με στόχο την ανάκτηση περαιτέρω ποσοτήτων των αρχικώς περιεχομένων υδρογονανθράκων.

Η κυριότερη προετοιμασία του πετρελαίου πριν τη μεταφορά του από τους χώρους παραγωγής περιλαμβάνει την απομάκρυνση του νερού, το οποίο μπορεί να φθάνει και το 80-90% κ.ό. και δημιουργεί σημαντικά προβλήματα διάβρωσης λόγω και της υψηλής αλατότητάς του.

ο Μεταφορά του πετρελαίου

Οι μεγαλύτερες ποσότητες του πετρελαίου μεταφέρονται με αγωγούς από τις γεωτρήσεις παραγωγής στα διυλιστήρια και στη συνέχεια στην κατανάλωση. Σημαντικό μέρος μεταφέρεται επίσης με δεξαμενόπλοια (tankers) και επίγεια οχήματα.

ο Χρήση του πετρελαίου

Το 90% του παραγόμενου σήμερα πετρελαίου χρησιμοποιείται ως καύσιμο, ενώ μόνο το 10% σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή υλικών από την πετροχημική βιομηχανία, όπως συνθετικές ίνες, πλαστικά, απορρυπαντικά, χρώματα, λιπαντικά κλπ. και για την παραγωγή λιπαντικών και δομικών υλικών (άσφαλτος). Τα πετρελαϊκής προέλευσης καύσιμα καλύπτουν περίπου τις μισές ενεργειακές ανάγκες παγκόσμια.

Το πετρέλαιο είναι σήμερα η περισσότερο χρησιμοποιημένη ενεργειακή πρώτη ύλη. Στην ετήσια έκθεση (Statistical Review of World Energy 2008) της BP (British Petroleum) το 2008, αναφέρθηκε ότι η παραγωγή μειώθηκε το 2007 κατά 130.000 βαρέλια την ημέρα και ανήλθε σε 81,53 εκατομμύρια βαρέλια τη ημέρα, ενώ τα διαπιστωμένα αποθέματα αργού πετρελαίου στον πλανήτη ανήλθαν στα τέλη του 2007 σε 1,2379 τρισεκατομμύρια βαρέλια έναντι των αναθεωρημένων 1,2395 τρισεκατομμυρίων βαρελιών στα τέλη του 2006. Αρκούν, ωστόσο, για να στηρίξουν τους σημερινούς ρυθμούς παραγωγής τουλάχιστον για τα επόμενα 41 χρόνια.

Ο γεωπολιτικός ρόλος του πετρελαίου

Το πετρέλαιο αποτελεί έως και σήμερα το πλέον γεωπολιτικό εμπόρευμα παγκοσμίως, έχοντας τεράστια πολιτική και οικονομική επιρροή. Όποιο κράτος κατέχει ή ακόμα και να ελέγχει την ενέργεια τότε αυτομάτως διαθέτει πολιτική και οικονομική δύναμη. Η άνοδος της οικονομίας του πετρελαίου είχε ως οικονομικό και

κοινωνικό επακόλουθο τη μεταφορά πλούτου και ισχύος από τη Δύση προς τις πετρελαιοπαραγωγικές χώρες οι περισσότερες εκ των οποίων οι σημαντικότερες βρίσκονται στη Μέση Ανατολή. Η μεταφορά του πλούτου έγινε αισθητή μετά την κορύφωση της παραγωγής στις Η.Π.Α το 1970 που συνέπεσε με το πρώτο πετρελαϊκό εμπάργκο και είχε ως συνέπεια την εκτίναξη των τιμών του πετρελαίου.

Ο συνεχής ανταγωνισμός που υπήρξε ανάμεσα στο Κρεμλίνο και τον Οίκο Σαούντ αποτελεί ακόμα και σήμερα παιχνίδι γεωπολιτικής ισχύος και αρπαγής ενεργειακού μεριδίου από τις Η.Π.Α. Αυτό αποτέλεσε και τον μεγαλύτερο φόβο για νέο σχίσμα μεταξύ των σχέσεων Ρωσία και Η.Π.Α. με αφορμή των πετρελαίων στην Κασπία. Βέβαια υπήρξαν και άλλοι φόβοι όπως ο φόβος για ένα ενδεχόμενο τρομοκρατικό χτύπημα στις πηγές της Σαουδικής Αραβίας, ο φόβος για ανάφλεξη στο Ιράν αλλά και ο φόβος για κλείσιμο των στενών Χορμούζ απ'όπου διέρχεται το 40% του παγκόσμιου εφοδιασμού πετρελαίου. Βέβαια εκτός των παραπάνω φόβων υπάρχουν και οι εξωγενείς απειλές όπως τυφώνες όπως η Κατρίνα το 2005 και το 2012 στις Η.Π.Α.

Οι πιο πολλές από τις κορυφαίες χώρες παραγωγής πετρελαίου στον κόσμο είναι είτε πολιτικά ασταθείς ή / και σε σοβαρή αντίθεση με τις Η.Π.Α. Οι περισσότερες από αυτές τις χώρες είναι μέλη του Οργανισμού Εξαγωγών Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών (ΟΠΕΚ). Ενώ οι χώρες του ΟΠΕΚ παράγουν περίπου το 40% του πετρελαίου παγκοσμίως, κατέχουν το 80% των αποδεδειγμένων παγκόσμιων αποθεμάτων και το 85% αυτών των αποθεμάτων είναι στη Μέση Ανατολή.

Ο πλούτος του πετρελαίου των χωρών του ΟΠΕΚ τους επιτρέπει να είναι ο στρατηγικός άξονας της παγκόσμιας πολιτικής και οικονομίας. Αλλά οι επιδόσεις τους στα ανθρώπινα δικαιώματα, την πολιτική σταθερότητα και τη συμμόρφωση με το διεθνές δίκαιο είναι αβυσσαλέα.

Σύμφωνα με την Παγκόσμια Έκθεση Διαφθοράς το 2002 της Διεθνούς Διαφάνειας, οι τρεις χώρες-μέλη του ΟΠΕΚ που δεν ανήκουν στη Μέση Ανατολή έχουν την υψηλότερη βαθμολογία της διαφθοράς στον κόσμο. Σε μια λίστα από 102 χώρες η Βενεζουέλα κατετάγη 81^η, η Ινδονησία 96^η και η Νιγηρία 101^η.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες στη γεωπολιτική σκηνή είναι οι κάτωθι:

- ✓ Ο ρόλος των Η.Π.Α. ως η μεγαλύτερη καταναλώτρια παγκοσμίως.
- ✓ Το πετρέλαιο στη Μέση Ανατολή ως η μεγαλύτερη πετρελαιοπαραγωγός περιοχή.
- ✓ Η τιμή του πετρελαίου που αποτελεί το συνδετικό κρίκο μεταξύ γεωπολιτικής και οικονομίας.

Ενώ η συνολική παγκόσμια ζήτηση για πετρέλαιο αυξάνεται, τα αποθέματα ως αναλογία της παραγωγής πετρελαίου έχει παραμείνει στο ίδιο επίπεδο περίπου τις τελευταίες τρεις δεκαετίες χάρη σε συνεχείς νέες ανακαλύψεις και πιο

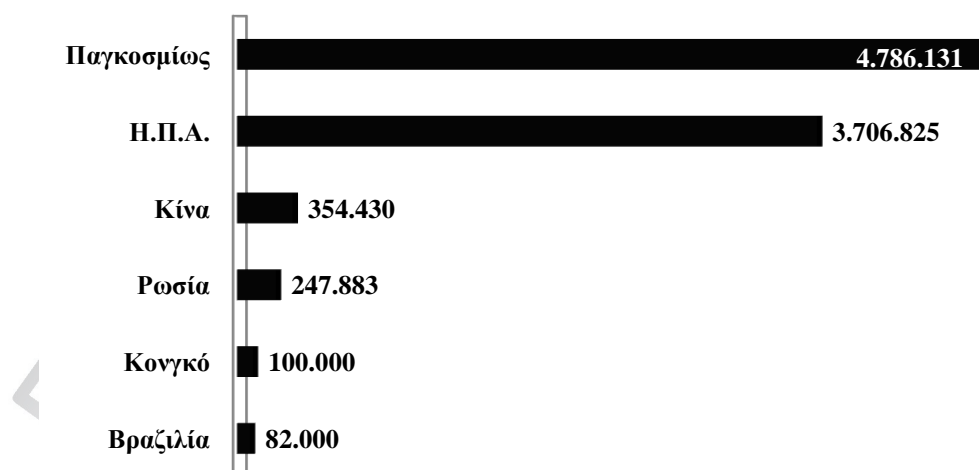
αποτελεσματικές τεχνολογίες οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα για υψηλότερα ποσοστά ανάκτησης πετρελαίου. Επιπλέον, τα τεράστια αποθέματα μη συμβατικού πετρελαίου θα διασφαλίσουν τη διαθεσιμότητα του πετρελαίου για τις επόμενες δεκαετίες.

Στο μεταβαλλόμενο τοπίο του πετρελαίου παγκοσμίως, οι Η.Π.Α. αναδύονται ως μια υπερδύναμη πετρελαίου. Εκτός του ότι είναι το έθνος με τα μεγαλύτερα ποσοστά κατανάλωσης πετρελαίου στον κόσμο, είναι και η δεύτερη μεγαλύτερη πετρελαιοπαραγωγός χώρα στον κόσμο μετά τη Σαουδική Αραβία και έχει το 75% των αποθεμάτων σχιστολιθικού πετρελαίου παγκοσμίως.

1.1.1 Πτωχές πηγές υδρογονανθράκων^{5,29}

Ενώ η συνολική παγκόσμια ζήτηση για πετρέλαιο αυξάνεται, τα αποθέματα ως αναλογία της παραγωγής πετρελαίου έχουν παραμείνει στο ίδιο επίπεδο περίπου. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες χάρη σε συνεχείς νέες ανακαλύψεις και πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα για υψηλότερα ποσοστά ανάκτησης πετρελαίου. Επιπλέον, τα τεράστια αποθέματα μη συμβατικού πετρελαίου θα διασφαλίσουν τη διαθεσιμότητα του πετρελαίου για τις επόμενες δεκαετίες.

Στο μεταβαλλόμενο τοπίο του πετρελαίου παγκοσμίως, οι Η.Π.Α. αναδύονται ως μια υπερδύναμη πετρελαίου. Εκτός του ότι είναι το έθνος με τα μεγαλύτερα ποσοστά κατανάλωσης πετρελαίου στον κόσμο, είναι και η δεύτερη μεγαλύτερη πετρελαιοπαραγωγός χώρα στον κόσμο μετά τη Σαουδική Αραβία και έχει το 75% των αποθεμάτων σχιστολιθικού πετρελαίου παγκοσμίως.



Διάγραμμα 1: Αποθέματα σχιστολιθικού πετρελαίου των πέντε χωρών με τα υψηλότερα αποθέματα παγκοσμίως σε εκ. βαρέλια για το έτος 2011

(Πηγή: [WEC World Energy Resources, 2013, p.2.44](#))

➤ Σχηματισμός σχιστολιθικού πετρελαίου^{6,8,29}

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί υδρογονανθράκων δημιουργούνται υπό ειδικές συνθήκες από οργανικές ενώσεις θαλάσσιων ιζημάτων. Το συμβατικό πετρέλαιο και το συμβατικό αέριο προέρχονται από τη θερμοχημική διάσπαση οργανικής ύλης σε ιζηματογενή πετρώματα, τα λεγόμενα μητρικά πετρώματα. Καθώς βυθίζονταν ολοένα και περισσότερο κάτω από άλλα πετρώματα, οι σχηματισμοί αυτοί θερμαίνονταν, κατά μέσο όρο 30 °C για κάθε επιπλέον χιλιόμετρο και η οργανική ύλη διασπάστηκε πρώτα σε πετρέλαιο, όταν επιτεύχθηκε θερμοκρασία περίπου 60 °C και έπειτα σε αέριο.

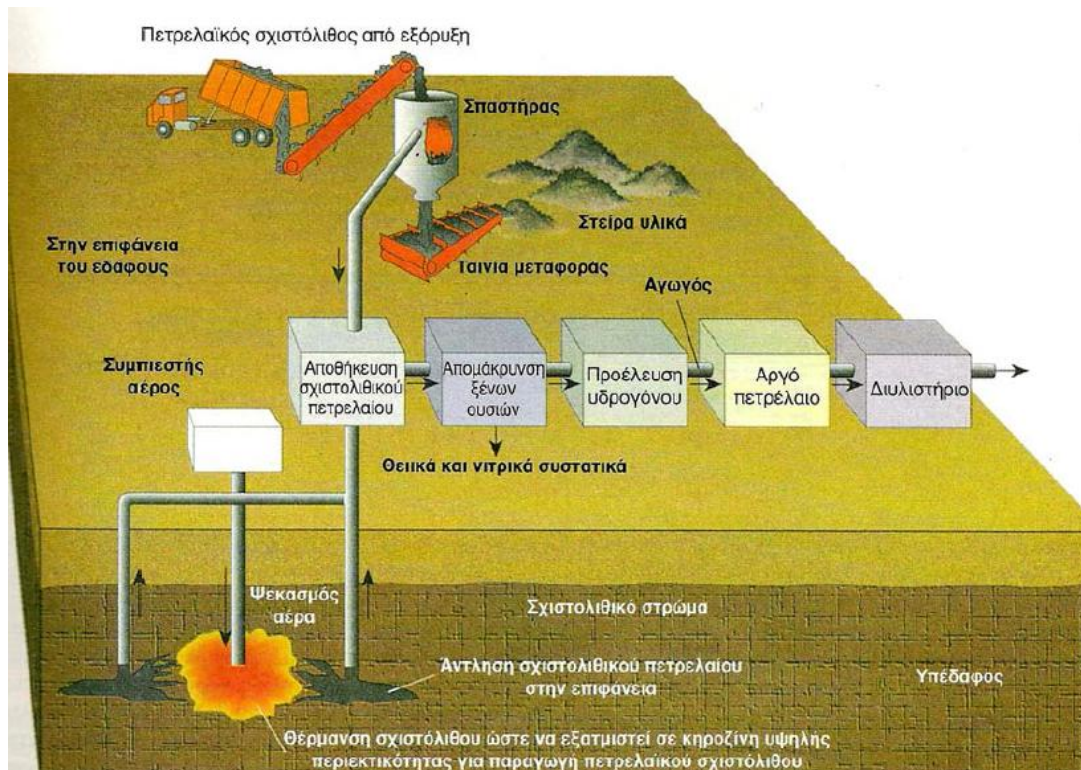
Ο βαθμός διάσπασης εξαρτάται από το βάθος, τη θερμοκρασία και τη διάρκεια έκθεσης. Όσο αυξάνονταν η θερμοκρασία και η διάρκεια της έκθεσης τόσο μεγαλύτερη ήταν η διάσπαση των πολύπλοκων οργανικών μορίων, έως την τελική διάσπαση στο απλούστερο συστατικό τους, το μεθάνιο, με ένα άτομο άνθρακα και τέσσερα άτομα υδρογόνου. Ανάλογα με τον γεωλογικό σχηματισμό, οι αναδυόμενοι υγροί ή αέριοι υδρογονάνθρακες διέφευγαν από το μητρικό πέτρωμα και κινούνταν γενικά ανοδικά σε πορώδη και διαπερατά στρώματα, τα οποία με τη σειρά τους έπρεπε να καλυφθούν με στεγανό πέτρωμα, τον λεγόμενο στεγανοποιητή, για να δημιουργηθεί μια συσσωρευση υδρογονανθράκων. Αυτές οι συσσωρεύσεις υδρογονανθράκων σχηματίζουν τα συμβατικά κοιτάσματα πετρελαίου και αερίου. Η σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε πετρέλαιο, η θέση τους σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων από την επιφάνεια και η εύκολη πρόσβαση στη στεριά διευκολύνουν την εξόρυξή τους μέσω γεώτρησης φρεάτων. Μερικές συσσωρεύσεις υδρογονανθράκων βρίσκονται σε πετρώματα-ταμιευτήρες με πολύ χαμηλό πορώδες και διαπερατότητα. Πρόκειται για τις περιπτώσεις έγκλειστου πετρελαίου ή αερίου. Συνήθως, η διαπερατότητα είναι 10 με 100 φορές μικρότερη από εκείνη των συμβατικών κοιτασμάτων.

Επίσης οι υδρογονάνθρακες μπορεί να είναι αποθηκευμένοι σε μεγάλους όγκους σε πετρώματα τα οποία δεν είναι καταρχήν πετρώματα-ταμιευτήρες σε καμία περίπτωση, αλλά σχιστόλιθοι και άλλα πολύ λεπτόκοκκα πετρώματα στα οποία ο αναγκαίος όγκος για αποθήκευση παρέχεται από μικρές ρωγμές και εξαιρετικά μικρούς χώρους πόρων. Τα πετρώματα αυτά διαθέτουν εξαιρετικά χαμηλή διαπερατότητα. Εδώ πρόκειται για το σχιστολιθικό φυσικό αέριο ή το σχιστολιθικό πετρέλαιο. Το σχιστολιθικό πετρέλαιο δεν περιέχει ώριμους υδρογονάνθρακες, αλλά μόνον την πρόδρομη ουσία, το κηρογόνο, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε συνθετικό αργό πετρέλαιο σε χημικές εγκαταστάσεις.

○ Πισσούχος ή βιτουμενιούχος σχίστης

Ο πισσούχος ή βιτουμενιούχος σχίστης είναι ένα πέτρωμα που περιέχει κάποιας μορφής κηρογόνο (ένα κηρώδες μίγμα υδρογονανθράκων) σε ποσοστό μέχρι και

40%. Αφού αφαιρεθεί με επιφανειακή ή υποεπιφανειακή εξόρυξη, ο σχιστόλιθος θρυμματίζεται και θερμαίνεται ώστε να εξατμιστούν οι υδρογονάνθρακες. Για να μετατραπεί το κηρογόνο σε πετρέλαιο πρέπει να θερμανθεί σε θερμοκρασία έως 450 °C. Επομένως, η παραγωγή σχιστολιθικού πετρελαίου μοιάζει περισσότερο με συμβατική εξόρυξη σχιστολιθικών κοιτασμάτων ακολουθούμενη από θερμική επεξεργασία. Οι αέριοι πλέον υδρογονάνθρακες συμπυκνώνονται και σχηματίζουν ένα βαρύ, παχύρρευστο πετρέλαιο. Υπάρχει και η τεχνική η απόληψη του πετρελαίου να γίνει υπόγεια (in situ). Στη διεργασία αυτή ανοίγονται οπές στο κοίτασμα από όπου εισάγονται θερμά αέρια που μετατρέπουν το κηρογόνο σε πετρέλαιο. Πριν από τη μεταφορά του στο διωλιστήριο το πετρέλαιο αυτό πρέπει να τύχει επεξεργασίας ώστε να αφαιρεθούν το θείο, το άζωτο και άλλα τοξικά στοιχεία. Αν και μερική αξιοποίηση των πισσούχων σχιστών ξεκίνησε στις Η.Π.Α. πριν από το 1855 από τους Μορμόνους, ουσιαστικά η σύγχρονη βιομηχανική αξιοποίησή τους κορυφώθηκε το 1980, μετά τις δύο ενεργειακές κρίσεις. Με την πτώση των τιμών του πετρελαίου μετά το 1980 όλες οι προσπάθειες εγκαταλείφθηκαν. Τα 2/3 των αποθεμάτων πισσούχου σχίστη στον κόσμο βρίσκονται στις Η.Π.Α. (Κολοράντο, Γιούτα και Γουαϊόμινγκ) και εκτιμάται ότι μπορεί να καλύψουν τις ανάγκες της χώρας αυτής σε πετρέλαιο για τα επόμενα 40 χρόνια, με τα παρόντα επίπεδα κατανάλωσης. Όμως η χρήση του πισσούχου σχίστη παρουσιάζει και ορισμένα προβλήματα. Έχει μικρότερη ενεργειακή απόδοση από ό,τι το συμβατικό πετρέλαιο, επειδή για την εξαγωγή, επεξεργασία και αναβάθμισή του καταναλώνει ενέργεια μισού βαρελιού συμβατικού πετρελαίου για να δώσει ένα βαρέλι πετρελαίου. Η επεξεργασία του πετρελαίου απαιτεί άφθονο νερό που είναι γενικά σπάνιο στις περιοχές που βρίσκονται τα πλούσια αποθέματα. Επίσης πρέπει να απομακρυνθούν το άζωτο και το θείο. Κάτω από το έδαφος, οι υπεδαφικές εξορύξεις του πισσούχου σχίστη αφήνουν τεράστιες ποσότητες αργιλικών καταλοίπων. Τέλος, διάφορα τοξικά μέταλλα και ενώσεις μπορούν να περάσουν στον υδροφόρο ορίζοντα.

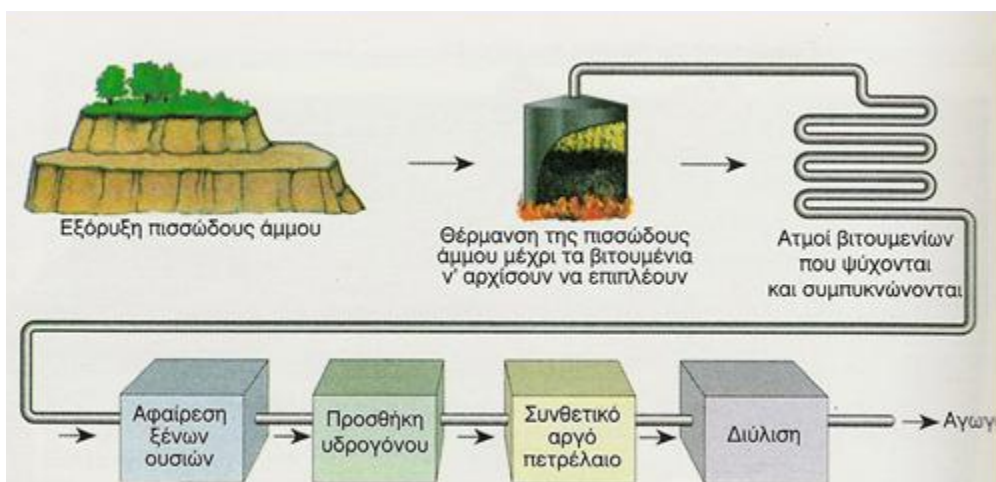


Σχήμα 5: Υπόγειες και επιφανειακές μέθοδοι παραγωγής συνθετικού πετρελαίου από αποθέματα πισσούχου σχίστη

(Πηγή: Miller G. Tyler, Βιώνοντας στο περιβάλλον, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2009)

- ο Ασφαλτούχος ή πισσούχος άμμος

Η ασφαλτούχος ή πισσούχος άμμος είναι μίγμα αργίλου, άμμου και ενός είδους πίσσας (bitumen). Η πίσσα βρίσκεται σε ποσοστό 10-15%. Η ασφαλτούχος άμμος εξορύσσεται επιφανειακά και θερμαίνεται με ατμό (σε περίπου 80°C) με αποτέλεσμα να μειωθεί το ιξώδες της ασφάλτου και να αρχίσει να επιπλέει. Η ασφαλτος καθαρίζεται και αναβαθμίζεται με χημικό τρόπο σε συνθετικό αργό πετρέλαιο, κατάλληλο για διύλιση. Μέχρι σήμερα, δεν είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτό να αξιοποιηθούν αποθέματα ασφαλτούχου άμμου ή να εξαχθεί ασφαλτος κατευθείαν από το έδαφος. Τα μεγαλύτερα γνωστά αποθέματα ασφαλτούχου άμμου στον κόσμο βρίσκονται στον Καναδά. Αυτά τα αποθέματα μπορούν να τροφοδοτήσουν τις προβλεπόμενες ανάγκες του Καναδά σε πετρέλαιο για περίπου 30 χρόνια. Άλλα αποθέματα ασφαλτούχου άμμου βρίσκονται στη Βενεζουέλα, στη Κολομβία και σε χώρες της Πρώην Σοβιετικής Ένωσης. Η αξιοποίηση της ασφαλτούχου άμμου παρουσιάζει παρόμοια προβλήματα με την αξιοποίηση του πισσούχου σχίστη: χαμηλή ενεργειακή απόδοση, απαιτούνται τεράστιες ποσότητες νερού και απελευθερώνονται διάφοροι αέριοι, υγροί και στερεοί ρύποι.



Σχήμα 6: Σχηματική παράσταση παραγωγής συνθετικού πετρελαίου από αποθέματα ασφαλτούχου άμμου

(Πηγή: Miller G. Tyler, Βιώνοντας στο περιβάλλον, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2009.)

Το σχιστολιθικό πετρέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της άμεσης καύσης μέχρι την παραγωγή ενός ευρύ φάσματος πετροχημικών προϊόντων. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως άμεσο υποκατάστατο του συμβατικού αργού πετρελαίου που είναι πιθανό μιας και τα επόμενα χρόνια η αυξημένη ζήτηση και η πιθανή άνοδος των τιμών αυτού θα οδηγήσει σε αύξηση της ζήτησης του σχιστολιθικού πετρελαίου. Ορισμένες προβλέψεις δείχνουν ότι το σχιστολιθικό πετρέλαιο μπορεί να ευθύνεται για πάνω από το ένα τρίτο της αύξησης της χρήσης του μη συμβατικού πετρελαίου μέχρι το 2030.

Η πρόσφατη ανάπτυξη της εξόρυξης έγκλειστου πετρελαίου⁸

- Η.Π.Α.

Τα έργα παραγωγής μη συμβατικού πετρελαίου από σχιστολιθικούς σχηματισμούς ξεκίνησαν πρώτα στη Βόρεια Αμερική γύρω στο 2000 με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού σχηματισμού του Bakken, το οποίο βρίσκεται στις πολιτείες της Βόρειας Ντακότα και της Μοντάνα και καλύπτει έκταση άνω των 500.000 km². Ο σχηματισμός του Bakken περιέχει συνδυασμό σχιστόλιθων με υψηλή περιεκτικότητα κηρογόνου και στρωμάτων έγκλειστου πετρελαίου ενδιάμεσα.

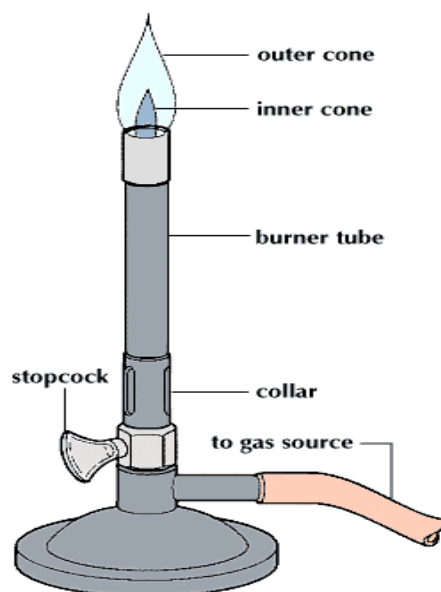
- Γαλλία/Ευρώπη

Εκτός από την παραγωγή σχιστολιθικού πετρελαίου στην Εσθονία, το λεκανοπέδιο του Παρισιού στη Γαλλία προσέλκυσε το ενδιαφέρον, όταν μια μικρή εταιρεία, η Toreador, εξασφάλισε άδειες έρευνας και ανακοίνωσε ότι ξεκινά την ανάπτυξη των ταμιευτήρων έγκλειστου πετρελαίου στο λεκανοπέδιο με μεγάλο αριθμό φρεάτων υδραυλικής ρωγμάτωσης. Δεδομένου ότι το λεκανοπέδιο καλύπτει μεγάλη έκταση, η οποία περιλαμβάνει το Παρίσι και την αμπελουργική περιοχή κοντά στην Καμπανία, εκδηλώθηκε αντίθεση και τούτο παρά το γεγονός ότι εδώ και περίπου 50 χρόνια πραγματοποιείται στο λεκανοπέδιο εξόρυξη πετρελαίου με συμβατικά φρέατα.

1.2 Φυσικό αέριο^{2,9,29}

Το φυσικό αέριο είναι ένα μίγμα υδρογονανθράκων (και μη καύσιμων αερίων) σε αέρια κατάσταση, το οποίο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4). Συνήθως βρίσκεται σε ξεχωριστούς ταμιευτήρες στο φλοιό της γης ή εν διαλύσει στο πετρέλαιο. Η σύσταση του φυσικού αερίου στην έξοδο της γεώτρησης ποικίλλει σημαντικά τόσο ως προς τα συστατικά, όσο και ως προς τη συγκέντρωση αυτών των συστατικών και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κάθε ταμιευτήρα.

Υποτυπώδεις γεωτρήσεις φυσικού αερίου είχαν ανορυχθεί στην Ιαπωνία πριν από το 615 μ.Χ., ενώ το 900 μ.Χ. οι Κινέζοι μετέφεραν φυσικό αέριο με σωλήνες από μπαμπού σε μικρές αποστάσεις για να το χρησιμοποιήσουν στην εξάτμιση αλατούχου νερού. Πρακτικά, η σύγχρονη χρήση του φυσικού αερίου ξεκίνησε το 1821 στη Fredonia της Νέας Υόρκης, όπου ανοίχθηκε η πρώτη γεώτρηση φυσικού αερίου, το οποίο χρησιμοποιούνταν για το φωτισμό παρακείμενων οικιών. Η πρώτη βιομηχανική χρήση του φυσικού αερίου έγινε σε χαλυβουργεία και υαλουργεία στο Πίτσμπουργκ των Η.Π.Α. το 1883. Το 1885 ο Robert Bunsen εφηύρε ένα σύστημα όπου αναμιγνυόταν φυσικό αέριο και αέρας. Ο «λύχνος Bunsen» κατέδειξε πως μπορεί να παραχθεί αποδοτικά θερμότητα από το φυσικό αέριο.



Εικόνα 1: Λύχνος Bunsen

(Πηγή: Ν. Βαρότσης, Σημειώσεις μαθήματος: Μηχανική Ταμιευτήρων, Χανιά, 2007)

Σχηματισμός Φυσικού Αερίου

Διάφορες διεργασίες οδηγούν στο σχηματισμό του μεθανίου. Γενικά, μεθάνιο σχηματίζεται κατά τη βακτηριακή αποσύνθεση της οργανικής ύλης, όπως συμβαίνει στους σύγχρονους χώρους υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων. Η κυριότερη διεργασία σχηματισμού του είναι ο διαχωρισμός του από το πετρέλαιο. Καθώς το πετρέλαιο θερμάνθηκε σε υψηλές θερμοκρασίες μέσα στο φλοιό της γης, μερικά από τα μακρομόρια του διασπάστηκαν, δημιουργώντας μεθάνιο και άλλους ελαφρούς υδρογονάνθρακες («θερμογενές μεθάνιο»). Όσο βαθύτερα βρισκόταν το πετρέλαιο, τόσο μεγαλύτερος ήταν ο ρυθμός διάσπασης (και παραγωγής μεθανίου) λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών. Στην ουσία, σε εξαιρετικά μεγάλα βάθη όλοι οι υδρογονάνθρακες έχουν διασπαστεί σε αέρια και εκεί βρίσκουμε βασικά μόνο φυσικό αέριο. Τα μεγαλύτερα και πιο εμπορεύσιμα κοιτάσματα φυσικού αερίου έχουν σχηματιστεί με αυτό τον τρόπο.

Κατά τη διάρκεια του σχηματισμού των γαιανθράκων, η αυξανόμενη συμπύκνωση δακτυλίων ατόμων άνθρακα σε μεγαλύτερα συστήματα δακτυλίων μπορεί να συνοδευτεί με την απόσπαση μεμονωμένων ατόμων άνθρακα με τη μορφή του μεθανίου. Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για το εγκλωβισμένο μεθάνιο σε κοιτάσματα άνθρακα ως μια νέα πηγή μεθανίου. Το φυσικό αυτό αέριο ονομάζεται μεθάνιο από κλίνες άνθρακα (coalbed methane). Η εκμετάλλευση τέτοιων κοιτασμάτων είναι σημαντική διότι παρέχει μια νέα πηγή μεθανίου και μειώνει τον κίνδυνο συγκέντρωσης μεθανίου στις υπόγειες στοές άνθρακα. Το μεθάνιο είναι εξαιρετικά εύφλεκτο και τυχαία ανάφλεξη του μεθανίου μπορεί να έχει πολύ θλιβερά

αποτελέσματα. Φυσικό αέριο βρίσκεται μέσα στο φλοιό τη γης μαζί με το πετρέλαιο, είτε στο επάνω μέρος του κοιτάσμος είτε διαλυμένο εντός του πετρελαίου. Το μεθάνιο αυτό αναφέρεται ως συνδεδεμένο μεθάνιο (associated gas). Σε πολύ υψηλές πιέσεις, το φυσικό αέριο μπορεί να διαλυθεί μέσα στο πετρέλαιο, οπότε αυτό αναφέρεται ως διαλυμένο φυσικό αέριο (dissolved gas). Το αέριο αυτό ελευθερώνεται καθώς το πετρέλαιο έρχεται στην επιφάνεια. Είναι επίσης πιθανόν ένας θύλακας φυσικού αερίου να βρίσκεται ως μια γιγαντιαία φυσαλίδα πάνω από έναν ταμιευτήρα πετρελαίου. Σε αυτήν την περίπτωση καλείται φυσικό αέριο από θύλακα αερίου (gas cap gas).

Το φυσικό αέριο μπορεί ακόμα να μεταναστεύσει μακριά από το πετρέλαιο και να παγιδευτεί μόνο του κάτω από ένα αδιαπέραστο πέτρωμα σε ένα άλλο ανεξάρτητο θύλακα. Σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται μη-συνδεδεμένο αέριο (non-associated gas). Περίπου το 65% του φυσικού αερίου που ανακτάται στις Η.Π.Α. ανήκει σε αυτήν την κατηγορία.

Ιδιότητες του φυσικού αερίου^a

Το φυσικό αέριο κυρίως αποτελείται από μεθάνιο, ένα άχρωμο και άοσμο, μη τοξικό αέριο. Συνήθως περιέχει και μικρές ποσότητες από άλλους ελαφρούς υδρογονάνθρακες (αιθάνιο, προπάνιο και βουτάνιο) και, σπάνια, σε ακόμη μικρότερες συγκεντρώσεις πεντάνιο και εξάνιο. Σε κανονικές θερμοκρασίες οι δύο τελευταίοι υδρογονάνθρακες είναι υγροί με χαμηλό σημείο ζέσεως. Όμως σε στις υψηλές θερμοκρασίες που απαντούν μέσα στη γη, είναι σε αέρια κατάσταση και αποτελούν τμήμα του φυσικού αερίου. Εκτός από υδρογονάνθρακες, τα φυσικό αέριο μπορεί να περιέχει διάφορα ανόργανα συστατικά, όπως άζωτο, αργό, ήλιο, διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο. Η σημαντική πρόοδος στις αναλυτικές συσκευές έχει κάνει δυνατή την ανίχνευση πολλών άλλων συστατικών σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Έχουν ανιχνευθεί υδράργυρος και ενώσεις αρσενικού σε επίπεδα συγκέντρωσης ppb (parts per billion).

Το φυσικό αέριο συχνά χαρακτηρίζεται από την παρουσία ή απουσία συγκεκριμένων συστατικών. Έτσι έχουμε τους χαρακτηρισμούς:

- ✓ Υγρό αέριο (wet): συνήθως το μη επεξεργασμένο αέριο που περιέχει συμπυκνώσιμους υδρογονάνθρακες (προπάνιο, βουτάνιο κ.α.). Το φυσικό αέριο γίνεται περισσότερο «υγρό», καθώς αυξάνει το βάθος από το οποίο προέρχεται.
- ✓ Ξηρό αέριο (dry): όταν δεν περιέχει συμπυκνώσιμους υδρογονάνθρακες και έχει απομακρυνθεί το νερό.
- ✓ Όξινο αέριο (sour): όταν περιέχει διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) (σε ποσοστό >2%), υδρόθειο και άλλες ενώσεις θείου, σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν συγκεκριμένα όρια.

- ✓ Γλυκό αέριο (sweet): όταν περιέχει διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) σε μικρές συγκεντρώσεις (<2%), ενώ οι συγκεντρώσεις του υδροθείου και άλλων ενώσεων θείου είναι μικρότερες από κάποια όρια.

Είναι προφανές και επιθυμητό ένα φυσικό αέριο να είναι ισχνό, ξηρό και γλυκό. Εάν δεν έχει αυτές τις ιδιότητες το φυσικό αέριο, τότε υφίσταται επεξεργασία ώστε να αποκτήσει αυτές τις ιδιότητες πριν οδηγηθεί στην κατανάλωση.

Η καύση του σε σχέση με αυτή άλλων καυσίμων έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον παράγοντας μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Αποτελεί την καθαρότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας μετά τις ανανεώσιμες μορφές. Τα μεγέθη των εκπεμπόμενων ρύπων είναι σαφώς μικρότερα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, ενώ η βελτίωση του βαθμού απόδοσης μειώνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου περιορίζοντας την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Παραγωγή και κατανάλωση φυσικού αερίου⁹

Η παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου αυξήθηκε κατά 3,1% το 2011 και σε γενικές γραμμές αναπτύσσεται με ρυθμό 2,4% ετησίως. Παρά το γεγονός ότι οι ΗΠΑ παρουσίασαν τη μεγαλύτερη αύξηση σε εθνικό επίπεδο, στη Μέση Ανατολή καταγράφηκε η μεγαλύτερη περιφερειακή αύξηση στην παραγωγή. Ο ρυθμός ανάπτυξης της παραγωγής στη Ρωσία και το Τουρκμενιστάν ήταν πρακτικά αποτέλεσμα της μεγάλης ύφεσης που παρουσιάστηκε στον τομέα της παραγωγής στην Ευρώπη. Ενώ η παραγωγή γενικώς έχει αυξηθεί ώστε να ανταπεξέλθει στην αυξημένη ζήτηση, στην Ευρωπαϊκή Ένωση παρουσίασε κάμψη από το 2000 και έπειτα φτάνοντας την μεγαλύτερη που έχει καταγραφεί ποτέ (-11,4%) οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο σε μεγαλύτερη εξάρτηση από εισαγωγές.

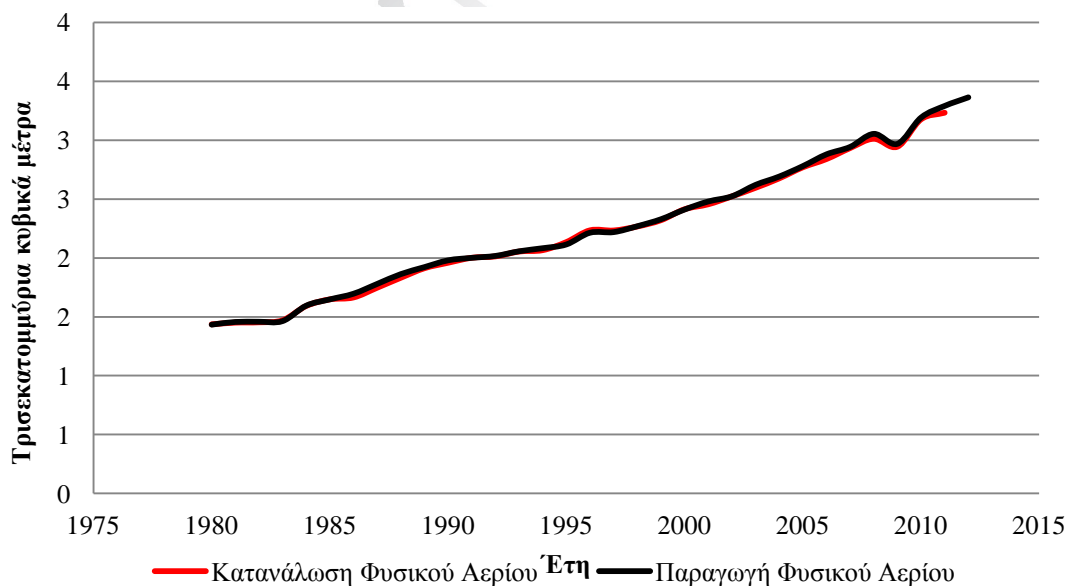
Η παγκόσμια κατανάλωση φυσικού αερίου αναμένεται να αυξηθεί περισσότερο σε απόλυτους αριθμούς από οποιαδήποτε άλλη πηγή ενέργειας, φθάνοντας περίπου τα 4,9 δισεκ. κυβικά πόδια το 2030. Υπολογίζεται ότι η ζήτηση θα αυξάνεται με ένα ετήσιο ρυθμό της τάξης του 2,3% ανά μέσο όρο και πως ο βιομηχανικός και ο τομέας παραγωγής ενέργειας θα είναι οι κύριοι καταναλωτές της ζήτησης σε παγκόσμιο επίπεδο. Το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης κατέχεται από τον τομέα της παραγωγής ενέργειας (ηλεκτρικής) και είναι περίπου το 59% του συνολικού ποσοστού που καταναλώνεται παγκοσμίως. Η ζήτηση στην Ευρώπη θα αυξάνει κατά 1,8% ετησίως ως το 2030, ενώ το μερίδιο που θα καταλαμβάνει στη γενική ενεργειακή ζήτηση εκτιμάται ότι θα ανέλθει στο 32%.

Το φυσικό αέριο αποτελεί πλέον ένα ιδιαίτερης σημασίας καύσιμο για την ασφάλεια παραγωγής ενέργειας για τρεις λόγους:

- Πρώτον, διευρύνεται συνεχώς η χρήση του στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (συμπεριλαμβανομένης και της συμπαραγωγής) αντικαθιστώντας σταδιακά το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με φυσικό αέριο απαιτούν χαμηλότερο κόστος επένδυσης που σημαίνει σύντομη περίοδο αποπληρωμής και μεγαλύτερη απόδοση.
- Δεύτερον, λόγω της χημικής του σύστασης το φυσικό αέριο εκπέμπει μικρότερες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με το πετρέλαιο και τον άνθρακα σε πολλά είδη ενεργειακών εφαρμογών.
- Τρίτον, πλεονεκτεί με το να είναι εύκολα μεταφερόμενο, ειδικά δε για την Ευρώπη αποθέματα φυσικού αερίου βρίσκονται στη γειτονία της (Αλγερία, Ρωσία και Νορβηγία).

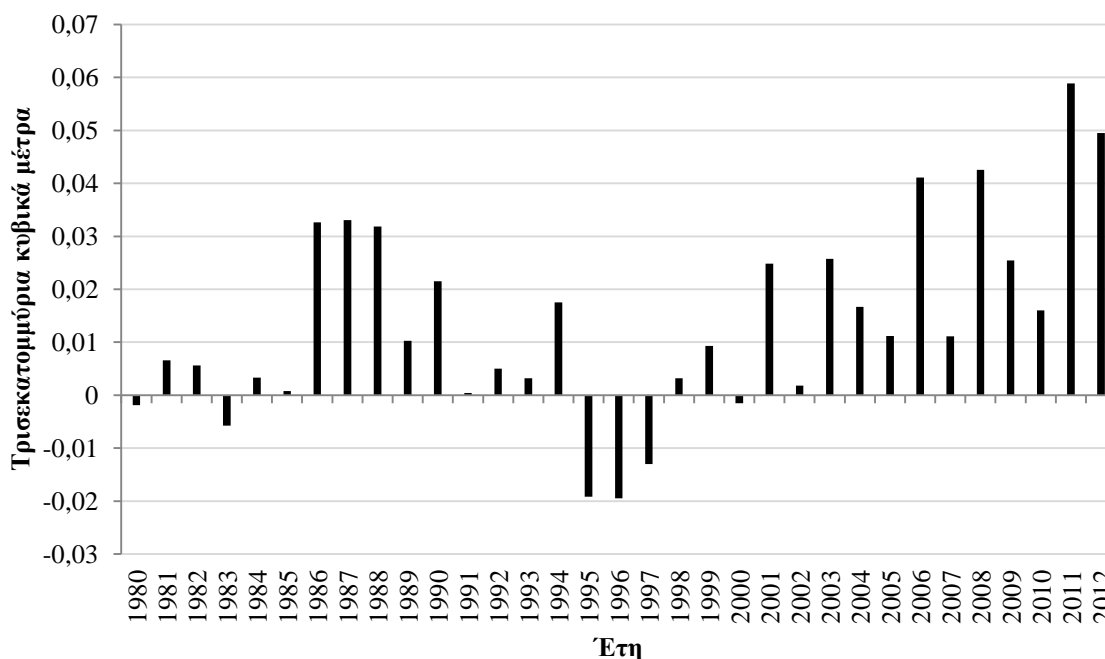
Η αλυσίδα αξίας του φυσικού αερίου είναι πολύ διαφορετική από αυτή του πετρελαίου. Λόγω της χαμηλής πυκνότητάς του σε σχέση με το πετρέλαιο, ένας αγωγός ή μία δεξαμενή φυσικού αερίου συγκεκριμένης χωρητικότητας/όγκου περιέχει μόνο το 20% της ενέργειας που αντιστοιχεί στην ίδια ποσότητα πετρελαίου. Αυτή η εγγενής διαφορά έχει σημαντικό αντίκτυπο στο κόστος αυτού του ενεργειακού αγαθού, μιας και η μεγαλύτερη ποσότητα μεταφέρεται παγκοσμίως μέσω αγωγών από το σημείο παραγωγής/αποθήκευσης στο σημείο κατανάλωσης.

Σύμφωνα με τα δεδομένα της αναφοράς της BP για το 2013, η παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου υπερέρχει αυτής της κατανάλωσης την τελευταία δεκαετία (2002-2012), σημειώνοντας τη μεγαλύτερη διαφορά το 2011 στα 0,058 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου, όπως παρουσιάζεται και στα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα 2: Παγκόσμια παραγωγή και κατανάλωση φυσικού αερίου για το χρονικό διάστημα 1980-2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))



Διάγραμμα 3: Διαφορά της παγκόσμιας ημερήσιας κατανάλωσης από την ημερήσια παραγωγή φυσικού αερίου για το χρονικό διάστημα 1980 - 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Αποθέματα φυσικού αερίου

Σύμφωνα με την έκθεση της BP για το έτος 2013, τα αποθέματα φυσικού αερίου συγκρινόμενα με αυτά του πετρελαίου είναι σε παγκόσμιο επίπεδο καλύτερα κατανομημένα. Η Μέση Ανατολή διαθέτει βεβαίως τα περισσότερα αποθέματα φυσικού αερίου (38,4%) με κυρίαρχες το Ιράν και το Κατάρ και οι χώρες της Πρώην Σοβιετικής Ένωσης καταλαμβάνουν τη δεύτερη θέση (35,8%) με κυρίαρχες τη Ρωσία και το Τουρκμενιστάν. Σημαντικές ποσότητες φυσικού αερίου υπάρχουν επίσης στην Ευρώπη. Τα εκτιμώμενα βέβαια αποθέματα αυξάνονται περίπου με ρυθμό 1% ετησίως.

Όσον αφορά την Ευρώπη, το 80% των παγκόσμιων αποθεμάτων βρίσκονται σε απόσταση σχετικά ευνοϊκή για την αξιοποίησή τους. Τα πιο ενδιαφέροντα αποθέματα για την Ευρωπαϊκή Ένωση βρίσκονται στη Βόρεια Θάλασσα, τη Νότια Αφρική, τις χώρες της Πρώην Σοβιετικής Ένωσης και τη Μέση Ανατολή. Η εκμετάλλευσή τους είναι οικονομικά συμφέρουσα και παρέχουν επαρκή ασφάλεια. Ωστόσο ο ανταγωνισμός μεταξύ των προμηθευτών θα αυξηθεί, καθώς η ζήτηση στη Μέση Ανατολή αυξάνεται.

Δίκτυο τροφοδοσίας φυσικού αερίου

Το μεγαλύτερο ποσοστό του φυσικού αερίου που καταναλώνεται στην Ευρώπη εισάγεται μέσω αγωγών από τη Ρωσία, την Κεντρική Ασία και την Αφρική. Το εισαγόμενο φυσικό αέριο μεταφέρεται μέσω ενός τεράστιου δικτύου αγωγών (pipelines).

Οι αγωγοί σε παγκόσμιο επίπεδο είναι οι εξής:

- Nabucco

Ο αγωγός Nabucco, που βρίσκεται ακόμα σε στάδιο σχεδιασμού, θα εκτείνεται σε απόσταση 3300 χιλιομέτρων και θα ξεκινάει από την Τουρκία, θα διασχίζει τη Βουλγαρία, την Ρουμανία και την Ουγγαρία και θα καταλήγει στην Αυστρία. Η πρώτη φάση κατασκευής αναμένεται να τελειώσει το 2014 και η δεύτερη το 2015.

- Nord Stream

Ο αγωγός Nord Stream που συνδέει τη Ρωσία με την Ευρώπη μέσω της Βαλτικής Θάλασσας διασχίζει περίπου 1220 χιλιόμετρα. Αποτελούμενος από δύο παράλληλες, δίδυμες γραμμές, ο Nord Stream διανέμει συνολικά 1942 bcf φυσικού αερίου το χρόνο. Η πρώτη γραμμή που εκτείνεται από το Vyborg της Ρωσίας ως τις ακτές της Γερμανίας ολοκληρώθηκε το 2011 ενώ η δεύτερη γραμμή ολοκληρώθηκε τον Απρίλιο του 2012.

- South Stream

Ο αγωγός South Stream του οποίου η κατασκευή είναι ακόμα υπό συζήτηση και αναμένεται να ξεκινήσει τον Δεκέμβριο του 2012, θα συνδέει τη Ρωσία με την ΕΕ μέσω την Μαύρης Θάλασσας. Ο υποθαλάσσιος αγωγός θα εκτείνεται σε απόσταση άνω των 900 χιλιομέτρων από τις ακτές της Ρωσίας ως τις ακτές της Βουλγαρίας.

- Blue Stream

Ο Blue Stream συνδέει επίσης τη Ρωσία με τις ευρωπαϊκές αγορές (Τουρκία) μέσω της Μαύρης Θάλασσας. Από τα 1207 χιλιόμετρα που αποτελούν τον αγωγό, τα 396 χιλ. είναι κάτω από τη Μαύρη Θάλασσα. Ξεκινώντας τη λειτουργία του το 2003 έχει αυξήσει την δυναμικότητα μεταφοράς του στη μέγιστη τιμή των 16 bcf φυσικού αερίου ετησίως.

- Green Stream

Όντας ο μεγαλύτερος σε μήκος υποθαλάσσιος αγωγός της Μεσογείου, συνδέει το παραγόμενο φυσικό αέριο της Βόρειας Αφρικής με την ευρωπαϊκή αγορά. Ο αγωγός ξεκίνησε τη μεταφορά αερίου σχεδόν αμέσως μετά την ολοκλήρωσή του το 2004 με ετήσια δυναμικότητα 283 bcf αερίου.

- Langedled

Ο αγωγός Langedled έχει μήκος 1200 χιλιόμετρα και ενώνει την Νορβηγία με τις ανατολικές ακτές του Ηνωμένου Βασιλείου και λέγεται ότι είναι ο μακρύτερος υποθαλάσσιος αγωγός του κόσμου. Μεταφέρει το παραγόμενο αέριο από την Νορβηγική υφαλοκρηπίδα. Η δυναμικότητα του αγωγού κυμαίνεται μέχρι 2,5 bcf αερίου ημερησίως.

- Trans-Adriatic Pipeline (TAP)

Ο αγωγός TAP θα ξεκινήσει από την Ελλάδα, θα διασχίσει την Αλβανία και την Αδριατική Θάλασσα και θα καταλήξει στις ακτές της νότιας Ιταλίας. Η διασύνδεση του αγωγού με τα υφιστάμενα δίκτυα, τα οποία θα αναβαθμιστούν, αποτελεί την πιο άμεση και οικονομική διαδρομή σύνδεσης του κοιτάσματος Shah Deniz στο Αζερμπαϊτζάν με τις ευρωπαϊκές αγορές. Με μεταφορική ικανότητα 353 bcf ετησίως, και δυνατότητα επέκτασης έως τα 706 bcf το χρόνο εάν χρειαστεί, η Ευρώπη θα μπορεί να τροφοδοτείται με φυσικό αέριο από τον αγωγό από το 2017.

- Interconnector Turkey-Greece-Italy (ITGI)

Ο διασυνδεδετικός αγωγός Τουρκίας-Ελλάδας-Ιταλίας ITGI αποτελεί μία νέα οδό τροφοδοσίας του ευρωπαϊκού ενεργειακού συστήματος με φυσικό αέριο, ικανή να ενισχύσει την ασφάλεια εφοδιασμού και παράλληλα να αυξήσει τον ανταγωνισμό στην αγορά αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης διαφοροποιώντας τις πηγές τροφοδοσίας της. Ο αγωγός Ελλάδας-Τουρκίας (ITG) ως πρώτο μέρος του ευρύτερου αγωγού μεταξύ Τουρκίας-Ελλάδας-Ιταλίας, μήκους 300 χιλιομέτρων έχει σημείο εκκίνησης το Καρατσαμπέ της Τουρκίας και καταλήγει στην Κομοτηνή. Ο αγωγός λειτουργεί από το 2007 και η μέγιστη ετήσια μεταφορική ικανότητά του ανέρχεται στα 409,6 bcf.

Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)

Τα τελευταία χρόνια οι επενδύσεις, τόσο σε μονάδες υγροποίησης φυσικού αερίου όσο και σε ειδικό στόλο (πλοία LNG) και εγκαταστάσεις επαναεριοποίησης, έχουν παρουσιάσει ραγδαία αύξηση. Η υγροποίηση του φυσικού αερίου είναι η διαδικασία αποθήκευσής του σε υγρή μορφή σε θερμοκρασία μικρότερη των -162°C . Σε αυτή τη μορφή το υγρό αέριο καταλαμβάνει 600 φορές μικρότερο όγκο από τον αντίστοιχο σε αέρια μορφή. Πρόκειται για έναν ταχέως αναπτυσσόμενο τομέα στην αγορά αερίου που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον χάρη στην υψηλή του ημερήσια δυναμικότητα μεταφοράς σε σχετικά χαμηλό κόστος. Έχοντας εδραιώσει την ανταγωνιστική του θέση σε σύγκριση με το αέριο που διανέμεται μέσω αγωγών σε μεγάλες αποστάσεις, το LNG θα θέσει νέα παγκόσμια οπτική στην αγορά αερίου και θα διευρύνει τις πιθανές πηγές αερίου για την Ευρώπη.

Εισαγωγές φυσικού αερίου

Το 62% περίπου των ιρανικών αποθεμάτων βρίσκονται σε μη συγκοινωνούντα κοιτάσματα τα οποία δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί. Έτσι, παρά τον εντυπωσιακό όγκο των αποθεμάτων, το Ιράν παραμένει επί του παρόντος καθарός εισαγωγέας φυσικού αερίου. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι, κατά το 2005, το Ιράν παρήγαγε 3,5 τρισ. κυβ. μέτρα φυσικού αερίου και κατανάλωσε 3,6 τρισ. κυβ. μέτρα.

Το Ιράν έχει υπογράψει συμφωνία με το Τουρκμενιστάν για την εισαγωγή 177 έως 212 δις. κυβ. μέτρων φυσικού αερίου ετησίως για την διάρκεια μιας εικοσιπενταετίας. Το τουρκμενικό φυσικό αέριο χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση των βορείων περιοχών της χώρας οι οποίες βρίσκονται σε απόσταση από τα πλούσια κοιτάσματα του νότου.

Εξαγωγές φυσικού αερίου

Βεβαίως, το Ιράν έχει σημαντικότερα αποθέματα φυσικού αερίου και μεγάλο περιθώριο αναπτύξεως των εξαγωγών, διοχετεύοντας το φυσικό αέριο είτε μέσω αγωγών είτε με τη μορφή υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG). Δυνητικοί πελάτες του Ιράν είναι η Τουρκία, η Ουκρανία, η δυτική Ευρώπη, η Ινδία, το Πακιστάν, η Αρμενία, το Αζερμπαϊτζάν, η Γεωργία, η Ταϊβάν, η Νότιος Κορέα και η Κίνα.

Σύμφωνα με την αναφορά της BP (British Petroleum), η μεταφορά του φυσικού αερίου μέσω του δικτύου των αγωγών ανήλθε στο 68%, ενώ μέσω δεξαμενόπλοιων (tankers) το 32% για το έτος 2011. Η εικόνα δε διαφέρει για το 2012 με μία μικρή αύξηση στη μεταφορά του φυσικού αερίου μέσω αγωγών που ανήλθε στο 68,3%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τη μεταφορά μέσω δεξαμενόπλοιων ανήλθε στο 31,7%. Το 2013 παρατηρείται ακόμη μια αύξηση στο ποσοστό του φυσικού αερίου που μεταφέρθηκε μέσω αγωγών στο 68,6%, ενώ μέσω δεξαμενόπλοιων μεταφέρθηκε το 31,4%.

Πλεονεκτήματα Φυσικού Αερίου έναντι των συμβατικών υγρών καυσίμων

Η χημική σύσταση του φυσικού αερίου (και των ομοειδών του) καθώς και η σύσταση των καυσαερίων του, συνιστούν δυο συνθήκες με υψηλό ενδιαφέρον από την σκοπιά της λειτουργίας με υψηλό βαθμό απόδοσης και της εξοικονόμησης ενέργειας ιδίως στις οικιακές εφαρμογές:

- Εξαιτίας της απουσίας προσμίξεων επιβαρυντικών για τα μέρη των συσκευών και των εγκαταστάσεων (καυστήρες, θάλαμοι καύσης, απαγωγή καυσαερίων κλπ), είναι απολύτως εφικτή η διατήρηση σταθερού βαθμού απόδοσης για ιδιαίτερα μεγάλες περιόδους.
- Επειδή τα προϊόντα της καύσης του φυσικού αερίου αποτελούνται κυρίως από νερό (υδρατμούς), καθίσταται εύκολα δυνατή η αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας των καυσαερίων (διαδικασία συμπύκνωσης), με αποτέλεσμα την αύξηση (πάνω από 20%) της ωφέλιμης θερμότητας που λαμβάνεται από

δεδομένη ποσότητα καυσίμου - σημαντικό πλεονέκτημα για τον τελικό καταναλωτή αφού μπορεί να εξυπηρετήσει την εγκατάστασή του με λιγότερο καύσιμο.

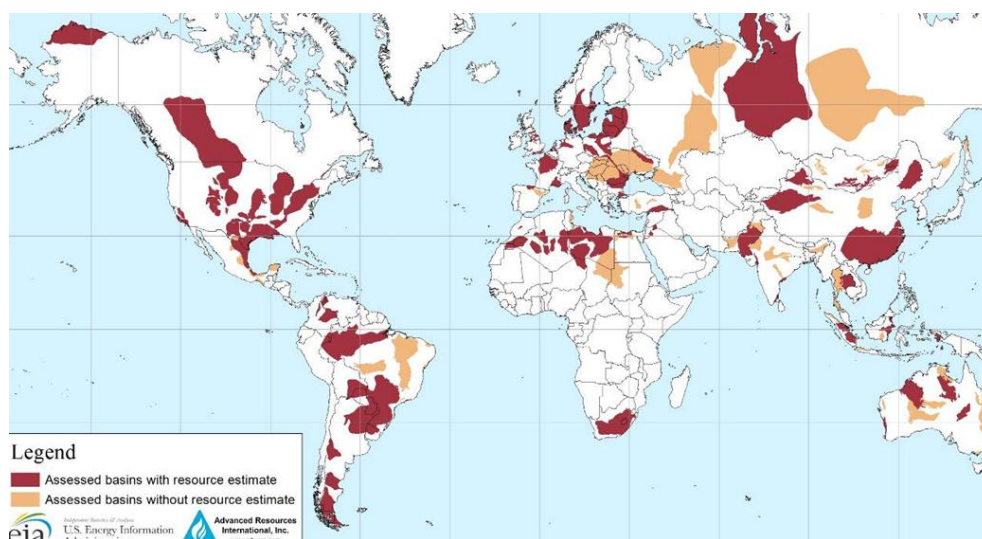
➤ Σχιστολιθικό φυσικό αέριο⁸

Το σχιστολιθικό φυσικό αέριο είναι το μεθάνιο που προέρχεται από κοιτάσματα γαιανθράκων, το οποίο περικλείεται στους πόρους κοιτασμάτων άνθρακα. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος, το αέριο περιέχει διαφορετικά συστατικά σε διαφορετικά ποσοστά, συμπεριλαμβανομένων μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου, ραδιενεργού ραδονίου κ.λπ.

Κοινά χαρακτηριστικά όλων των μη συμβατικών κοιτασμάτων είναι ότι η περιεκτικότητα σε αέριο ή πετρέλαιο κατ' όγκο πετρώματος είναι μικρή σε σύγκριση με εκείνη των συμβατικών κοιτασμάτων, ότι είναι διασκορπισμένα σε μεγάλη έκταση δεκάδων χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων και ότι η διαπερατότητα είναι πολύ χαμηλή. Επομένως, απαιτούνται ειδικές μέθοδοι για την εξόρυξη του συγκεκριμένου πετρελαίου ή αερίου. Επιπλέον, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας υδρογονανθράκων των μητρικών πετρωμάτων, η εξόρυξη ανά φρέαρ είναι πολύ μικρότερη από εκείνη των συμβατικών κοιτασμάτων, γεγονός που καθιστά την οικονομική παραγωγή τους πολύ πιο δύσκολη. Δεν είναι το ίδιο το αέριο που είναι μη συμβατικό, αλλά οι μέθοδοι εξόρυξης. Οι μέθοδοι αυτές απαιτούν εξειδικευμένες τεχνολογίες, μεγάλες ποσότητες νερού και την έγχυση προσθέτων, τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή για το περιβάλλον.

Δεν υπάρχει σαφής διάκριση πλέον μεταξύ συμβατικών και μη συμβατικών κοιτασμάτων αερίου ή πετρελαίου. Αντιθέτως, υπάρχει συνεχής μετάβαση από την παραγωγή συμβατικού αερίου ή πετρελαίου από κοιτάσματα με υψηλή ειδική περιεκτικότητα σε αέριο, υψηλό πορώδες και υψηλή διαπερατότητα σε κοιτάσματα έγκλειστου αερίου με χειρότερες παραμέτρους απόδοσης και σε εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου από κοιτάσματα με μικρή ειδική περιεκτικότητα σε αέριο, χαμηλό πορώδες και πολύ χαμηλή διαπερατότητα.

Οι αναπόφευκτες παράπλευρες συνέπειες όσον αφορά τη χρήση του ύδατος, τους περιβαλλοντικούς κινδύνους κ.λπ. αυξάνονται επίσης κατά μήκος αυτής της αλυσίδας μεθόδων εξόρυξης. Για παράδειγμα, η υδραυλική ρωγμάτωση, όπως αυτή θα αναλυθεί παρακάτω εκτενέστερα, σε σχηματισμούς έγκλειστου αερίου απαιτεί συνήθως αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες λίτρα νερού ανά φρέαρ για κάθε διαδικασία ρωγμάτωσης αναμειγμένου με πρόσθετα συγκράτησης ανοικτών ρωγμών και χημικές ουσίες, ενώ η υδραυλική ρωγμάτωση σε σχηματισμούς σχιστολιθικού αερίου καταναλώνει εκατομμύρια λίτρα νερού ανά φρέαρ.



Εικόνα 2: Λεκάνες σε παγκόσμια κλίμακα με αξιολογημένους σχηματισμούς σχιστολιθικού αερίου και σχιστολιθικού πετρελαίου

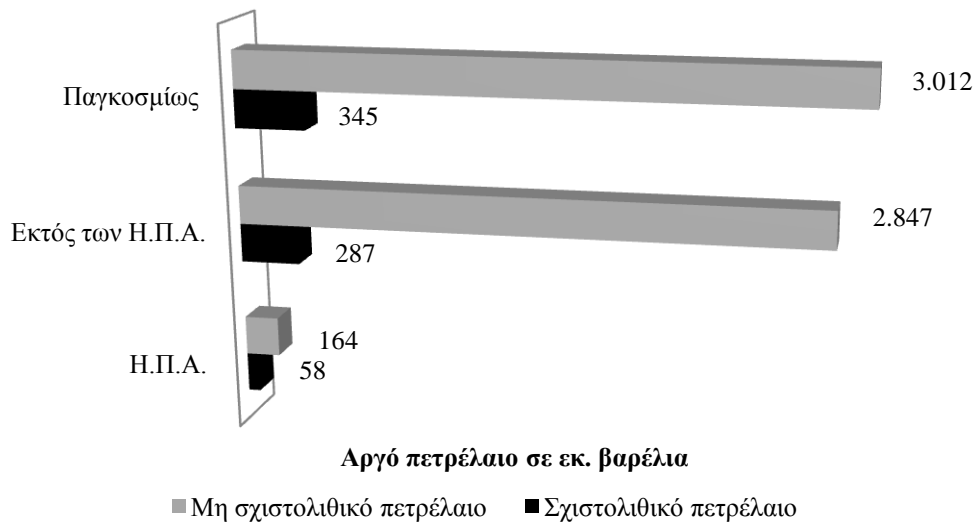
(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](http://www.eia.doe.gov))

Πίνακας 1: Στοιχεία των τεχνικά ανακτήσιμων πηγών σχιστολιθικού αερίου και σχιστολιθικού πετρελαίου στο πλαίσιο των συνολικών παγκόσμιων πόρων για το έτος 2013

| | Αργό Πετρέλαιο (εκ. βαρέλια) | Υγρό Φυσικό Αέριο (τρισεκατ. κυβικά πόδια) |
|--|------------------------------|--|
| Η.Π.Α.¹ | | |
| Σχιστολιθικό πετρέλαιο και αέριο | 58 | 665 |
| Μη σχιστολιθικό πετρέλαιο και αέριο | 164 | 1.766 |
| Σύνολο | 233 | 2.431 |
| Σχιστολιθικές πηγές ως ποσοστό του συνόλου | 25% | 27% |
| Εκτός των Η.Π.Α. | | |
| Σχιστολιθικό πετρέλαιο και αέριο ² | 287 | 6.634 |
| Μη σχιστολιθικό πετρέλαιο και αέριο ³ | 2.847 | 13.817 |
| Σύνολο | 3.134 | 20.451 |
| Σχιστολιθικές πηγές ως ποσοστό του συνόλου | 9% | 32% |
| Παγκοσμίως | | |
| Σχιστολιθικό πετρέλαιο και αέριο | 345 | 7.299 |
| Μη σχιστολιθικό πετρέλαιο και αέριο | 3.012 | 15.583 |
| Σύνολο | 3.357 | 22.882 |
| Σχιστολιθικές πηγές ως ποσοστό του συνόλου | 10% | 32% |

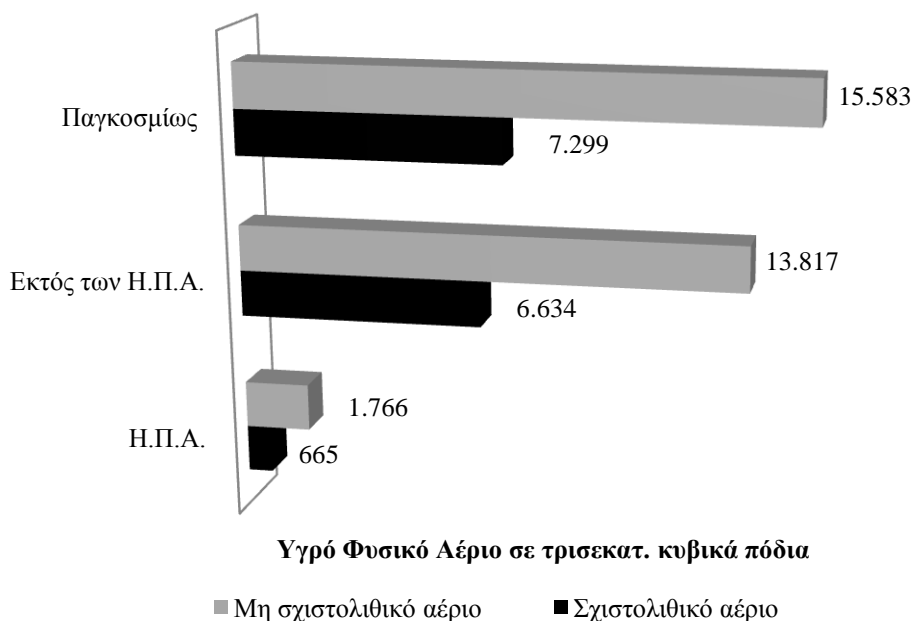
(Πηγές: 1. [U.S. Energy Information Administration, various reports](#)
 2. [Advanced Resources International, Inc \(ARI\) 2013](#)
 3. [Oil & Gas Journal, World de Report, December 3, 2012, U.S. Geological Survey, An Estimate of Undiscovered Conventional Oil and Gas Resources of the World, 2012, Fact Sheet 2012-3028, March 2012; U.S. Geological Survey, Assessment Potential Additions to Conventional Oil and Gas Resources of the World \(Outside the U.S.\) from Reserve Growth, 2012, Fact Sheet 2012-3052, April 2012](#))

Παρατηρείται από τα στοιχεία του Πίνακα 1 ότι οι Η.Π.Α. κατέχουν το 25% των πόρων τους σε σχιστολιθικό πετρέλαιο, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το σχιστολιθικό αέριο ανέρχεται στο 27%.



Διάγραμμα 4: Απεικόνιση των ανακτήσιμων αποθεμάτων (εκ. βαρέλια) σε συμβατικό και σχιστολιθικό πετρέλαιο για το έτος 2013

(Πηγή: Πίνακας 1)



Διάγραμμα 5: Απεικόνιση των ανακτήσιμων αποθεμάτων (τρισεκατ. κυβικά πόδια) σε φυσικό αέριο και σε σχιστολιθικό φυσικό αέριο για το έτος 2013

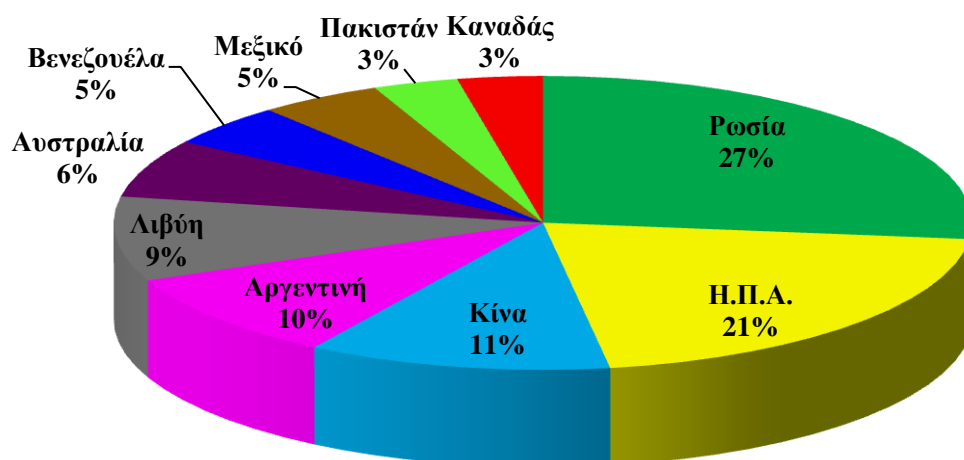
(Πηγή: Πίνακας 1)

Πίνακας 2: Οι δέκα κυριότερες χώρες παγκοσμίως με τεχνικά ανακτήσιμες πηγές σχιστολιθικού πετρελαίου για το έτος 2013

| | Σχιστολιθικό πετρέλαιο (εκ. βαρέλια) | Ποσοστό επί του συνόλου |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Ρωσία | 75 | 22% |
| Η.Π.Α. | 58 | 17% |
| Κίνα | 32 | 9% |
| Αργεντινή | 27 | 8% |
| Λιβύη | 26 | 8% |
| Αυστραλία | 18 | 5% |
| Βενεζουέλα | 13 | 4% |
| Μεξικό | 13 | 4% |
| Πακιστάν | 9 | 3% |
| Καναδάς | 9 | 3% |
| Παγκοσμίως | 345 | |

(Πηγή: [EIA, Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States, 2013, p. 10](#))

**Το % επί των παγόσμιων ανακτήσιμων πηγών
σχιστολιθικού πετρελαίου**



Διάγραμμα 6: Τα ποσοστά των δέκα κυριότερων χωρών παγκοσμίως με τεχνικά ανακτήσιμες πηγές σχιστολιθικού πετρελαίου επί του παγκόσμιου ποσοστού για το έτος 2013

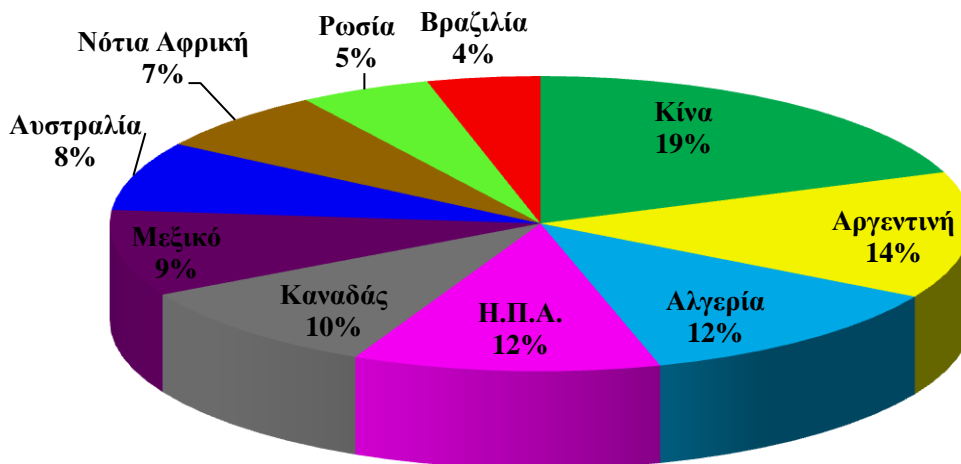
(Πηγή: Πίνακας 2)

Πίνακας 3: Οι δέκα κυριότερες χώρες παγκοσμίως με τεχνικά ανακτήσιμες πηγές σχιστολιθικού αερίου για το έτος 2013

| | Σχιστολιθικό αέριο (τρισεκ. κυβικά πόδια) | Ποσοστό επί του συνόλου |
|--------------|--|-------------------------|
| Κίνα | 1.115 | 15% |
| Αργεντινή | 802 | 11% |
| Αλγερία | 707 | 10% |
| Η.Π.Α. | 665 | 9% |
| Καναδάς | 573 | 8% |
| Μεξικό | 545 | 7% |
| Αυστραλία | 437 | 6% |
| Νότια Αφρική | 390 | 5% |
| Ρωσία | 285 | 4% |
| Βραζιλία | 245 | 3% |
| Παγκοσμίως | 7.299 | |

(Πηγή: [EIA, Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States, 2013, p. 10](#))

**Το % επί των παγόσμιων ανακτήσιμων πηγών
σχιστολιθικού αερίου**



Διάγραμμα 7: Τα ποσοστά των δέκα κυριότερων χωρών παγκοσμίως με τεχνικά ανακτήσιμες πηγές σχιστολιθικού αερίου επί του παγκόσμιου ποσοστού για το έτος 2013

(Πηγή: Πίνακας 3)

Η πρόσφατη ανάπτυξη της εξόρυξης μη συμβατικού αερίου^{7,11,12,}

- Η εμπειρία της Βόρειας Αμερικής¹³

Λόγω της εξάντλησης των συμβατικών κοιτασμάτων αερίου στις Η.Π.Α., οι εταιρείες αναγκάζονται ολοένα και περισσότερο να πραγματοποιούν γεωτρήσεις σε λιγότερο παραγωγικούς σχηματισμούς. Στην αρχή, οι εξέδρες φρεάτων επεκτείνονταν κοντά σε συμβατικούς σχηματισμούς, παράγοντας από ελαφρώς λιγότερο διαπερατούς σχηματισμούς. Κατά τη σταδιακή αυτή μετατόπιση, ο αριθμός των φρεάτων αυξήθηκε, ενώ η παραγωγή ανά φρέαρ μειώθηκε. Η έρευνα προχωρούσε σε διαρκώς λιγότερο διαπερατούς σχηματισμούς. Η φάση αυτή ξεκίνησε στη δεκαετία του '70. Τα φρέατα σε σχηματισμούς έγκλειστου αερίου δεν διαχωρίζονταν στα στατιστικά δεδομένα για το συμβατικό αέριο, καθώς δεν υπήρχε σαφές κριτήριο για τη διαφοροποίησή τους.

Η μείωση των εκπομπών μεθανίου αποτελεί στόχο από τότε που ξεκίνησε η συζήτηση σχετικά με την αλλαγή του κλίματος. Παρότι θεωρητικά το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων (CBM) υπάρχει σε τεράστιες ποσότητες, η συνεισφορά του αυξήθηκε αργά στις Η.Π.Α. κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες, σε περίπου 10% έως το 2010. Λόγω της ανομοιογενούς ανάπτυξης στα διάφορα καθεστώτα άνθρακα, μερικές πολιτείες των Η.Π.Α. ανακάλυψαν τη συγκεκριμένη πηγή ενέργειας ταχύτερα

από άλλες. Η πολιτεία του Νέου Μεξικού ήταν ο μεγαλύτερος παραγωγός μεθανίου από κοιτάσματα γαιανθράκων κατά τη δεκαετία του '90. Ωστόσο, πέρασε τη μέγιστη παραγωγή το 1997 και τη θέση του πήρε η πολιτεία του Κολοράντο – όπου η παραγωγή κορυφώθηκε το 2004 – και στη συνέχεια το Γουαϊόμινγκ, που είναι σήμερα ο μεγαλύτερος παραγωγός CBM.

Τα απαιτητικότερα κοιτάσματα αερίου αναπτύσσονται τελευταία πρόκειται για τα κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου, τα οποία είναι σχεδόν στεγανά ή τουλάχιστον λιγότερο διαπερατά από άλλες δομές που περιέχουν αέριο. Η ανάπτυξή τους πυροδοτήθηκε από την τεχνολογική πρόοδο στις οριζόντιες γεωτρήσεις και στην υδραυλική ρωγμάτωση με τη χρήση χημικών προσθέτων, αλλά πιθανώς ακόμη σημαντικότερο ρόλο διαδραμάτισε η εξαίρεση των δραστηριοτήτων υδραυλικής ρωγμάτωσης της βιομηχανίας υδρογονανθράκων από τον Νόμο για το ασφαλές πόσιμο νερό, όπως επικυρώθηκε από τον Νόμο 109–58 για την ενεργειακή πολιτική του 2005. Στο άρθρο 322 του Νόμου 109–58 για την ενεργειακή πολιτική του 2005 η υδραυλική ρωγμάτωση εξαιρέθηκε από σημαντικούς κανονισμούς του Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (EPA).

Οι πρώτες δραστηριότητες άρχισαν ήδη πριν από δεκαετίες με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού σχηματισμού του Bossier κατά τη δεκαετία του '70 και του σχιστολιθικού σχηματισμού του Antrim κατά τη δεκαετία του '90. Όμως, η ταχεία πρόσβαση σε κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου ξεκίνησε περίπου το 2005 με την ανάπτυξη του σχιστολιθικού σχηματισμού του Barnett στην πολιτεία του Τέξας. Σε διάστημα 5 ετών διανοίχτηκαν εκεί περί τα 15.000 φρέατα. Παράπλευρη συνέπεια αυτής της οικονομικής επιτυχίας είναι η επιλογή μικρών εταιρειών όπως οι Chesapeake, XTO και άλλες, για την πραγματοποίηση των γεωτρήσεων. Η άνθηση αυτή έδωσε ώθηση στις εταιρείες αυτές, που απέκτησαν αξία πολλών δισεκατομμυρίων δολαρίων και προσέλκυσαν το ενδιαφέρον μεγάλων επιχειρήσεων όπως η ExxonMobil και η BHP Billiton.

Η XTO αγοράστηκε για περισσότερα από 40 δισεκατομμύρια δολάρια από την Exxon Mobil το 2009, η δε Chesapeake πούλησε τα περιουσιακά της στοιχεία στο Fayetteville έναντι 5 δισεκατομμυρίων δολαρίων το 2011.

Στο διάστημα αυτό, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον γίνονταν ολοένα εμφανέστερες για τους πολίτες και τους τοπικούς πολιτικούς. Ιδιαίτερα συζητήθηκε η εκμετάλλευση του σχιστολιθικού κοιτάσματος του Marcellus, το οποίο καλύπτει μεγάλες εκτάσεις της πολιτείας της Νέας Υόρκης. Η εκμετάλλευση αυτή υπάρχει υποψία ότι έρχεται σε σύγκρουση με την προστασία περιοχών που εφοδιάζουν με νερό την πόλη της Νέας Υόρκης.

- Η εκμετάλλευση στην Ευρώπη ^{15.16}

Η Ευρώπη, σε ότι αφορά την εκμετάλλευση αυτή, βρίσκεται δεκαετίες πίσω από τις Η.Π.Α.. Εκμετάλλευση έγκλειστου αερίου με υδραυλική ρωγμάτωση γίνεται στη Γερμανία εδώ και περίπου 15 χρόνια (Söhlingen), μολονότι σε πολύ χαμηλό επίπεδο. Ο συνολικός όγκος της ευρωπαϊκής παραγωγής μη συμβατικού αερίου είναι της τάξης μερικών εκατομμυρίων m³ ετησίως σε σύγκριση με αρκετές εκατοντάδες δισεκατομμύρια m³ ετησίως στις Η.Π.Α.. Ωστόσο, από τα τέλη του 2009 οι δραστηριότητες εντείνονται. Οι περισσότερες άδειες για έρευνα χορηγούνται στην Πολωνία, αλλά αντίστοιχες δραστηριότητες ξεκίνησαν επίσης στην Αυστρία (λεκανοπέδιο Βιέννης), στη Γαλλία (λεκανοπέδιο Παρισιού και νοτιοανατολικό λεκανοπέδιο), στη Γερμανία και στις Κάτω Χώρες (Βόρεια Θάλασσα – γερμανικό λεκανοπέδιο), στη Σουηδία (περιοχή Σκανδιναβίας) και στο Ηνωμένο Βασίλειο (βόρειο και νότιο κοίτασμα πετρελαίου). Για παράδειγμα, τον Οκτώβριο του 2010, η κρατική εξορυκτική αρχή του γερμανικού κρατιδίου της Βόρειας Ρηνανίας - Βεστφαλίας χορήγησε άδειες έρευνας για μια έκταση 17.000 km², ήτοι το μισό της έκτασης του κρατιδίου.

Γρήγορα οι πληροφορίες που έφταναν από τις Η.Π.Α. προκάλεσαν την αντίθεση της κοινής γνώμης στα έργα αυτά. Για παράδειγμα, στη Γαλλία, η Εθνοσυνέλευση ανέστειλε τις σχετικές δραστηριότητες γεώτρησης και απαγόρευσε την υδραυλική ρωγμάτωση.

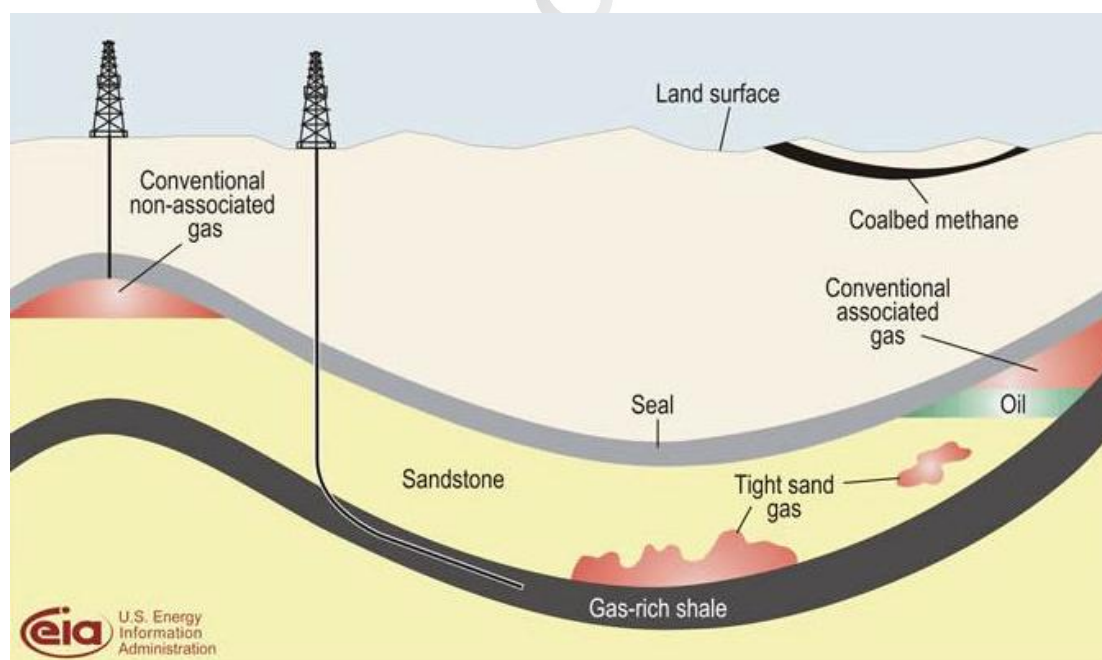
Στο γερμανικό ομόσπονδο κράτος της Βόρειας Ρηνανίας-Βεστφαλίας, θιγόμενοι πολίτες, τοπικοί πολιτικοί από σχεδόν όλα τα κόμματα και εκπρόσωποι αρχών υδροδότησης και επιχειρήσεων εμφιάλωσης νερού εξέφρασαν τις ανησυχίες τους και την αντίθεσή τους στην υδραυλική ρωγμάτωση. Η βουλή του ομόσπονδου κράτους της Βόρειας Ρηνανίας- Βεστφαλίας υποσχέθηκε επίσης την αναστολή των δραστηριοτήτων έως ότου υπάρξουν βελτιωμένες πληροφορίες. Ένα πρώτο βήμα ήταν να τεθεί η προστασία των υδάτων στο ίδιο επίπεδο με τους εξορυκτικούς νόμους και να διασφαλισθεί ότι δεν θα χορηγούνται άδειες έως ότου συμφωνήσουν οι αρχές υδροδότησης. Επίσης, η εταιρεία με τη μεγαλύτερη εμπλοκή, η ExxonMobil, ξεκίνησε μια διαδικασία ανοικτού διαλόγου προκειμένου να συζητηθούν οι ανησυχίες των πολιτών και να εκτιμηθούν οι ενδεχόμενες επιπτώσεις.

1.2.1 Η υδραυλική ρωγμάτωση ^{8.17}

Η υδραυλική ρωγμάτωση, η οποία αναπτύχθηκε αρχικά το 1940 σύμφωνα το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (ΔΟΕ), αποτελεί μια αποτελεσματική και ευρύτατα διαδεδομένη τεχνολογία για εγκαταστάσεις αποθήκευσης χαμηλής διαπερατότητας. Όταν η διαπερατότητα των πετρωμάτων είναι εξαιρετικά χαμηλή, όπως στην περίπτωση του σχιστολιθικού φυσικού αερίου ή του έγκλειστου πετρελαίου, συχνά απαιτείται ο συνδυασμός οριζόντιων φρεάτων και υδραυλικής ρωγμάτωσης, ούτως

ώστε να επιτευχθούν εμπορικά προσοδοφόρα επίπεδα παραγωγής. (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας - ΔΟΕ).

Στη διεργασία εξόρυξης φυσικού αερίου από σχιστολιθικά πετρώματα, πρώτο στάδιο αποτελεί η κάθετη γεώτρηση έως ότου επιτευχθεί το σχιστολιθικό στρώμα, το οποίο, κατά κανόνα, βρίσκεται 2-3 χιλιόμετρα ή και περισσότερο κάτω από την επιφάνεια. Στη συνέχεια, η γεώτρηση συνεχίζεται στον οριζόντιο άξονα, ο οποίος εκτείνεται στο ένα χιλιόμετρο ή και παραπάνω από τον κάθετο άξονα, ενώ τα κάθετα και τα οριζόντια τμήματα της γεώτρησης επενδύονται κατόπιν με χαλύβδινο περιβλήμα, το οποίο τσιμεντώνεται επί τόπου. Έπειτα, η οριζόντια επέκταση του περιβλήματος διατρύπεται με τη χρήση εκρηκτικών υλών, και, στη συνέχεια, ακολουθεί η έγχυση νερού, που περιέχει άμμο και πρόσθετες χημικές ουσίες, με πολύ υψηλή πίεση μέσα στο φρέαρ. Το νερό έρχεται σε επαφή με το σχιστολιθικό στρώμα μέσω των σχισμών, δημιουργώντας μια σειρά μικρών ρωγμών στο πέτρωμα (εξού και ο όρο «ρωγμάτωση»): οι κόκκοι άμμου που περιέχονται στο νερό συγκρατούν ανοικτές τις ρωγμές, ενώ οι χημικές ουσίες διευκολύνουν την εξόρυξη φυσικού αερίου από τον σχιστόλιθο. Το υπερπεπιεσμένο ύδωρ επιστρέφει στην επιφάνεια όταν, μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας ρωγμάτωσης, ελευθερωθεί η πίεση εντός του φρέατος. Τότε, το φρέαρ ξεκινά την έκλυση φυσικού αερίου.



Σχήμα 7: Απεικόνιση εξόρυξης του σχιστολιθικού φυσικού αερίου με τη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης

(Πηγή: [EIA - U.S. Energy Information Administration](http://www.eia.doe.gov))

Για την προετοιμασία μίας και μόνο τοποθεσίας παραγωγής, μπορεί να χρειαστούν έως και 25 στάδια ρωγμάτωσης (ανά οριζόντιο φρέαρ), καθένα από τα οποία απαιτεί την έγχυση περισσότερων από 1,6 εκατομμυρίων λίτρων νερού - η συνολική ποσότητα του απαιτούμενου ύδατος μπορεί να υπερβεί τα 38 εκατομμύρια λίτρα, προτού το φρέαρ καταστεί πλήρως λειτουργικό. Ένα μέρος του νερού που διοχετεύτηκε επιστρέφει στην επιφάνεια και είναι μολυσμένο με χημικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν για τη ρωγμάτωση, καθώς και άλλα υλικά που απορρόφησε από τον σχιστολιθικό σχηματισμό.

Για να επιτευχθεί η πλήρης εκμετάλλευση ενός σχηματισμού σχιστολιθικού φυσικού αερίου πρέπει να διανοιχθούν με γεώτρηση και να εγκατασταθούν πολλαπλές κεφαλές φρεάτων.

Υδραυλική ρωγμάτωση και ενδεχόμενες επιπτώσεις στο περιβάλλον¹⁸

Κοινό χαρακτηριστικό των πυκνών γεωλογικών σχηματισμών που περιέχουν υδρογονάνθρακες είναι η χαμηλή διαπερατότητά τους. Για τον λόγο αυτόν, οι μέθοδοι παραγωγής για την εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου, έγκλειστου αερίου, ακόμη και μεθανίου προερχόμενου από κοιτάσματα γαιανθράκων, είναι αρκετά παρόμοιες. Παρ' όλα αυτά, διαφέρουν από ποσοτική άποψη. Καθώς οι σχηματισμοί σχιστολιθικού αερίου είναι μακράν οι πλέον στεγανές δομές, η προσπάθεια που απαιτείται για την πρόσβαση στους πόρους αερίου είναι η μεγαλύτερη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον υψηλότερο κίνδυνο περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εκμετάλλευση των εν λόγω σχηματισμών. Ωστόσο, υπάρχει συνεχής μετάβαση από τις διαπερατές δομές που περιέχουν συμβατικό αέριο στο έγκλειστο αέριο και στα σχεδόν στεγανά κοιτάσματα σχιστολιθικού αερίου.

Κοινό χαρακτηριστικό είναι ότι η επαφή μεταξύ των φρεάτων της γεώτρησης και των πόρων πρέπει να βελτιωθεί με τεχνητό τρόπο. Αυτό πραγματοποιείται με τη λεγόμενη υδραυλική ρωγμάτωση ή υδρορωγμάτωση.

Το Σχήμα 7 απεικονίζει την εγκάρσια τομή ενός τυπικού φρεάτος. Το γεωτρήσιμο τρυπά κάθετα το στρώμα που περιέχει το αέριο. Ανάλογα με το πάχος του συγκεκριμένου στρώματος ανοίγονται μόνον κάθετα φρέατα ή αυτά μετατρέπονται σε οριζόντια φρέατα προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η επαφή με το στρώμα αερίου.

Μέσα στο στρώμα χρησιμοποιούνται εκρηκτικές ύλες για τη δημιουργία μικρών ρωγμών, με διάτρηση του περιβλήματος. Οι ρωγμές αυτές διευρύνονται με τεχνητό τρόπο μέσω της πλήρωσής τους με νερό πολύ υψηλής πίεσης. Ο αριθμός των τεχνητών ρωγμών, το μήκος και η θέση τους στο στρώμα (οριζόντια ή κάθετη) εξαρτώνται από τις λεπτομέρειες του σχηματισμού.

Οι λεπτομέρειες αυτές έχουν αντίκτυπο στο μήκος των τεχνητών ρωγμών, στην απόσταση μεταξύ φρεάτων (η γεώτρηση κάθετων φρεάτων είναι πυκνότερη από εκείνη των οριζόντιων φρεάτων) και στην κατανάλωση νερού.

Το υπερπεπαισμένο ύδωρ ανοίγει τις ρωγμές αποκτώντας πρόσβαση σε όσο το δυνατόν περισσότερους πόρους. Όταν μειωθεί η πίεση, τα λύματα, αναμειγμένα με βαρέα ή ραδιενεργά μέταλλα από το πέτρωμα, επιστρέφουν στην επιφάνεια μαζί με το αέριο. Το νερό αναμειγνύεται με πρόσθετα για τη διατήρηση των ανοικτών ρωγμών, συνήθως κόκκους άμμου. Αυτά λειτουργούν σαν σφήνες οι οποίες κρατούν τις ρωγμές ανοικτές επιτρέποντας περαιτέρω εξόρυξη αερίου. Στο μείγμα προστίθενται χημικές ουσίες για την επίτευξη ομοιόμορφης κατανομής του προσθέτου συγκράτησης ανοικτών ρωγμών με αποτέλεσμα το τελικό μίγμα να μειώνει την τριβή και τελικά διαρρηγνύεται στο τέλος της διαδικασίας ρωγμάτωσης, ώστε να γίνει η αναρροή του υγρού.

Το Σχήμα 8 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των ενδεχόμενων επιπτώσεων στο περιβάλλον κατά τη διεργασία αυτή. Οι επιπτώσεις είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Καταστροφή φυσικού τοπίου, γιατί οι εξέδρες των γεωτρήσεων χρειάζονται χώρο για τεχνικό εξοπλισμό, αποθήκευση υγρού και οδική πρόσβαση για τον εφοδιασμό.
- ✓ Ατμοσφαιρική ρύπανση και ηχορύπανση, γιατί τα μηχανήματα λειτουργούν με κινητήρες καύσης, τα υγρά (καθώς και τα λύματα) μπορεί να επιτρέπουν την εξάτμιση επιβλαβών ουσιών στον αέρα, τα φορτηγά με τη συχνή δραστηριότητα μεταφορών μπορεί να εκπέμπουν πτητικές οργανικές ενώσεις και άλλους ατμοσφαιρικούς ρύπους, και να προκαλούν θόρυβο.
- ✓ Το νερό μπορεί να μολυνθεί με χημικές ουσίες από τη διαδικασία ρωγμάτωσης, αλλά και με λύματα από το κοίτασμα τα οποία περιέχουν βαρέα μέταλλα (π.χ. αρσενικό ή υδράργυρο) ή ραδιενεργά σωματίδια. Ενδεχόμενοι διάλυτοι μεταφορές στα υπόγεια και στα επιφανειακά ύδατα μπορεί να είναι ατυχήματα κατά τη μεταφορά με φορτηγά, διαρροές αγωγών απόληψης, δεξαμενών λυμάτων, συμπιεστών κ.λπ., εκροές από ατυχήματα (π.χ. έκρηξη με πίδακα υγρού ρωγμάτωσης ή λυμάτων), ζημιές στην τσιμέντωση και στο περίβλημα ή απλώς ανεξέλεγκτες υπόγειες ροές μέσω τεχνητών ή φυσικών ρωγμών στους σχηματισμούς.
- ✓ Πρόκληση σεισμών από τη διαδικασία υδραυλικής ρωγμάτωσης ή έγχυσης λυμάτων.
- ✓ Κινητοποίηση υπόγειων ραδιενεργών σωματιδίων.

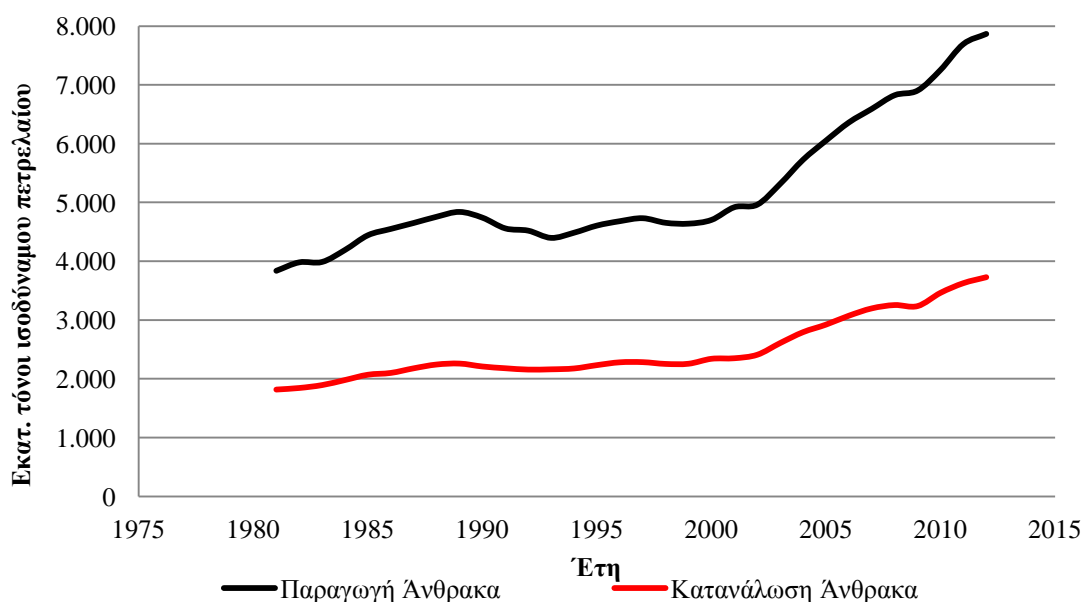
Υπολογίζεται ότι άρχισε να σχηματίζεται 300-500 εκατομμύρια χρόνια πριν και ολοκληρώθηκε ο σχηματισμός του μέσα σε 85 εκατομμύρια χρόνια περίπου πριν από 250 εκατομμύρια χρόνια. Επειδή αποτελείται κύρια από άνθρακα και υδρογόνο έχει ικανοποιητική θερμογόνο δύναμη (Kcal/Kg) άρα είναι σημαντική καύσιμη υλη και γ'αυτό επέδρασε καθοριστικά στην πορεία της βιομηχανικής επανάστασης.

Χρησιμοποιήθηκε για περισσότερο από έναν αιώνα, τροφοδοτώντας με ενέργεια τόσο την βιομηχανία, βιοτεχνία όσο και τις μεταφορές συμβάλλοντας στην οικονομική ανάπτυξη των βιομηχανικών χωρών.

Με τον όρο κάρβουνο, χαρακτηρίζουμε διάφορα ορυκτά καύσιμα που διαφοροποιούνται μεταξύ τους τόσο στη υφή όσο και στη θερμογόνο δύναμη τους. Αυτή η διαφοροποίηση οφείλεται στην διαφορετική προέλευση και ηλικία τους. Κατά την ανθρακοποίηση δημιουργούνται κατά σειρά τα παρακάτω:

- ✓ η τύρφη, με περιεκτικότητα σε καθαρό άνθρακα λιγότερη από 50%,
- ✓ ο λιγνίτης, με περιεκτικότητα σε καθαρό άνθρακα 50-70%,
- ✓ οι πισσούχοι άνθρακες ή ασφαλτικό ή μαλακό κάρβουνο, με περιεκτικότητα σε καθαρό άνθρακα 70-90% και
- ✓ ο ανθρακίτης, με περιεκτικότητα σε καθαρό άνθρακα πάνω από 90%.

Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα η παγκόσμια παραγωγή άνθρακα υπερέρχει αυτή της κατανάλωσης κατά τη διάρκεια των ετών 1980-2012, όπου δύνονται τα στοιχεία απ την αναφορά της BP για το 2013.



Διάγραμμα 8: Παγκόσμια παραγωγή και κατανάλωση άνθρακα για το χρονικό διάστημα 1980-2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΙΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

Για να κατανοήσουμε τη λογική της τιμολόγησης του πετρελαίου σήμερα είναι αναγκαίο να επανεξεταστεί η ιστορία της ισορροπίας των δυνάμεων υπογραμμίζοντας τη ρύθμιση των τιμών. Αντιδρώντας στους νόμους της προσφοράς και της ζήτησης, οι τιμές του πετρελαίου μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Από το τέλος του 19^{ου} αιώνα μέχρι τις μέρες μας η μέση τιμή του πετρελαίου ήταν περίπου στα \$30,9 ανά βαρέλι, αλλά στην πιο πρόσφατη περίοδο 1970-2011 η μέση τιμή του πετρελαίου αυξήθηκε απότομα στα \$48 ανά βαρέλι το οποίο υποδηλώνει μια σημαντική μεταβολή στη δυναμική της ρύθμιση των τιμών.

2.1 Ιστορική αναδρομή κατά περιόδους ^{19,20}

Μεταπολεμική περίοδος

Κατά τη μεταπολεμική περίοδο από το 1948 έως και το τέλος της δεκαετίας του '60 οι τιμές του αργού πετρελαίου κυμαίνονταν μεταξύ \$2,5 και \$3,0 το βαρέλι. Η τιμή του πετρελαίου αυξήθηκε το 1948 από \$2,5 σε \$3,0 το 1957. Μετά το 1957 έως και το 1970, πριν την 1^η πετρελαϊκή κρίση οι τιμές του αργού ήταν περίπου στα \$3,0 ανά βαρέλι.

Πετρελαϊκές κρίσεις

Η ιστορία του πετρελαίου στιγματίζεται από εντάσεις στη Μέση Ανατολή, εφοδιαστικά σοκ και παγκόσμιες υφέσεις, με το αραβικό εμπάργκο πετρελαίου του 1972, την ιρανική επανάσταση του 1978 και την εισβολή του Σαντάμ Χουσεΐν στο Κουβέιτ το 1990. Μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο πόλεμο οι περισσότερες οικονομίες γέυτηκαν τη μακρύτερη περίοδο ανάπτυξης στην ιστορία των κοινωνιών της αγοράς. Από το 1950 μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του '70 οι οικονομίες αναπτύσσονταν με χαμηλά ποσοστά ανεργίας και πληθωρισμού. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70 έκαναν την εμφάνισή τους δύο πετρελαϊκές κρίσεις.

Ως επίσημη ημερομηνία έναρξης της πρώτης κρίσης καταγράφεται η 17^η Οκτωβρίου του 1973, όταν τα μέλη του ΟΑΠΕΚ (Οργανισμού Εξαγωγέων Πετρελαίου Αραβικών Πετρελαιοπαραγωγών Κρατών) ανακοίνωσαν ότι δεν θα προμήθευαν πλέον με πετρέλαιο τις χώρες που υποστήριζαν το Ισραήλ στη διαμάχη του με τη Συρία και την Αίγυπτο, μετά τον πόλεμο του Yom Kippur.

Σε αυτές τις χώρες συμπεριλαμβάνονταν οι Η.Π.Α., οι σύμμαχοί τους στη Δυτική Ευρώπη και η Ιαπωνία. Η δραματική αυτή άνοδος των τιμών (από 3 δολάρια το βαρέλι το 1973 σε 20 δολάρια το Μάρτιο του 1974) είχε άμεσο αντίκτυπο στις τιμές άλλων προϊόντων. Αποτέλεσμα να δοθεί τέλος σε μια σχετικά μακρά περίοδο σταθερότητας των τιμών, αλλά και των γενικότερων συνθηκών της αγοράς.

Πρώτη πετρελαϊκή κρίση το 1973

Ανήμερα της μεγαλύτερης εβραϊκής γιορτής, του Yom Kippur (Ημέρα της Εξιλέωσης), το Ισραήλ δέχεται ταυτόχρονη επίθεση από δυνάμεις της Αιγύπτου που περνούν το Κανάλι του Σουέζ και της Συρίας που εισχωρεί στα υψίπεδα του Γκολάν. Στην επίθεση συνδράμουν τουλάχιστον άλλες δέκα αραβικές χώρες. Στόχος, η ανάκτηση εδαφών που χάθηκαν στον Πόλεμο των Έξι Ημερών, το 1967. Το Ισραήλ αιφνιδιάζεται και στις εχθροπραξίες που ακολουθούν γνωρίζει αλλεπάλληλες ήττες.

Η τροπή του πολέμου αλλάζει στις 10 Οκτωβρίου, όταν οι Ισραηλινοί οργανώνονται και ολοκληρώνουν την επιστράτευσή τους. Περνούν στην αντεπίθεση και αναγκάζουν τους Σύρους να υποχωρήσουν βαθιά μέσα στο έδαφός τους. Στις 22 Οκτωβρίου 1973, κατόπιν αμερικανοσοβιετικού ψηφίσματος, που υιοθετήθηκε από το Συμβούλιο Ασφαλείας του ΟΗΕ, η Συρία αποδέχεται κατάπαυση του πυρός και επανέρχεται στα προ του πολέμου σύνορά της με το Ισραήλ. Ανάλογη συνθήκη υπογράφει στις 24 Οκτωβρίου και η Αίγυπτος, η οποία όμως βγαίνει ωφελημένη, καθώς ανακτά τον πλήρη έλεγχο και στις δύο όχθες του Καναλιού του Σουέζ.

Η συμφωνία θεωρήθηκε ήττα στο Ισραήλ και οι Εργατικοί που κυριαρχούσαν στην πολιτική σκηνή της χώρας από το 1948 άρχισαν να υποχωρούν προς όφελος των Συντηρητικών του "Λικούντ".

Ο πόλεμος είχε σοβαρές αρνητικές συνέπειες καθώς οι Άραβες πραγματοποίησαν εμπάργκο κατά τη διάρκεια του πολέμου που διατάραξε τη ροή του αργού πετρελαίου, προκαλώντας πλήγμα στην αγορά. Η τιμή του αργού πετρελαίου φτάνει στα 12 δολάρια το βαρέλι από τα 2,5 δολάρια, μία αύξηση περίπου 300%. Η πραγματοποίηση αυτού του εμπάργκο θα έχει μεγαλύτερες επιπτώσεις στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία, οι οποίες εξαρτώνται κατά 75% και 80% αντίστοιχα από το Αραβικό πετρέλαιο.

Δεύτερη πετρελαϊκή κρίση το 1979- Η ιρανική επανάσταση

Έξι χρόνια μετά, το 1979, ακολούθησε η δεύτερη πετρελαϊκή κρίση, ως αποτέλεσμα και των ανακατατάξεων και ταραχών της επανάστασης στο Ιράν. Μετά την πολιτική κρίση και τον Ayatollah Khomeini να ανακτά τον έλεγχο του Ιράν, οι διαμαρτυρίες γκρέμισαν τον πετρελαϊκό τομέα του Ιράν με αποτέλεσμα να πυροδοτηθεί το δεύτερο στη σειρά πετρελαϊκό επεισόδιο μέσα σε λιγότερο από μια δεκαετία. Η τιμή του αργού πετρελαίου έφθασε στα 35-40 δολάρια το βαρέλι. Οι κρίσεις αυτές οδήγησαν στην απότομη αύξηση της τιμής του πετρελαίου και προκάλεσαν ύφεση στην οικονομική δραστηριότητα σε όλο τον κόσμο και επηρέασαν και την Ευρώπη. Η πρώτη Σύνοδος Κορυφής του ΟΠΕΚ με ηγεμόνες και αρχηγούς κρατών διοργανώθηκε στην Αλγερία το Μάρτιο του 1975. Παρόλο που το νέο καθεστώς επανέλαβε τις εξαγωγές πετρελαίου, ήταν ασυνεπείς και λιγότερες οδηγώντας τις τιμές να εκτοξευθούν στα ύψη.

Η Ιρανική επανάσταση, ή αλλιώς γνωστή ως Ισλαμική επανάσταση, ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 1978, με τις πρώτες μεγάλες διαδηλώσεις ενάντια στην εξουσία του Σάχη. Μετά από συνεχόμενες απεργίες και διαμαρτυρίες που παρέλυαν την οικονομία της χώρας, ο Σάχης εγκατέλειψε το Ιράν τον Ιανουάριο του 1979, και ο Ayatollah Khomeini επέστρεψε στην Τεχεράνη από την εξορία. Η δυναστεία των Παχλαβί κατέρρευσε δέκα ημέρες αργότερα, στις 11 Φεβρουαρίου, όταν ο στρατός του Ιράν παρέμεινε ουδέτερος στην πολιτική διαμάχη, μετά από συρράξεις ανταρτών και στρατιωτών πιστών στο Σάχη. Την 1^η Απριλίου του 1979, το Ιράν έγινε και επίσημα ισλαμική δημοκρατία με τη διεξαγωγή εθνικού δημοψηφίσματος.

Το Δεκέμβριο του 1979, η χώρα ενέκρινε ένα θεοκρατικό σύνταγμα, με το οποίο ο Khomeini έγινε ανώτατος αρχηγός της χώρας. Η ταχύτητα και η επιτυχία της επανάστασης προκάλεσε εντύπωση σε όλο τον κόσμο, καθώς δεν συνοδεύτηκε από πολεμικές αποτυχίες, οικονομική κρίση ή αγροτική επανάσταση. Αν και τόσο οι εθνικιστές όσο και οι μαρξιστές συμμετείχαν με παραδοσιακούς ισλαμιστές στην εκθρόνιση του Σάχη, αρκετές χιλιάδες σκοτώθηκαν ή εκτελέστηκαν από το ισλαμικό καθεστώς στη συνέχεια, καθώς η ισλαμική δημοκρατία εξελίχθηκε σε μία άτυπη μονοκρατορία του Khomeini.

Οι σχέσεις του Ιράν με τις Η.Π.Α. διαβρώθηκαν ταχύτατα κατά την επανάσταση, καθώς στις 4 Νοεμβρίου του 1979 μία ομάδα Ιρανών φοιτητών κατέλαβαν την αμερικανική πρεσβεία στην Τεχεράνη. Με την κατηγορία ότι υπηρετούσαν στην CIA με στόχο την ανατροπή του καθεστώτος στο Ιράν, το προσωπικό της πρεσβείας κρατήθηκαν όμηροι, ενώ ο Khomeini, αν και δεν είχε εμπλακεί στην υλοποίηση της κατάληψης, υποστήριξε τους φοιτητές μετά την επιτυχία τους.

Μετά το 1980 οι τιμές του πετρελαίου έπεφταν για έξι συνεχόμενα έτη και κορυφώθηκαν το 1986 με μία πτώση 46%. Αυτό ήταν αποτέλεσμα της μειωμένης ζήτησης και της υπερβολικής παραγωγής, οδηγώντας τον ΟΠΕΚ στο να χάσει την ενότητα του. Εξαγωγείς πετρελαίου, όπως το Μεξικό, η Νιγηρία και η Βενεζουέλα επεκτάθηκαν σημαντικά, ενώ οι Η.Π.Α. και η Ευρώπη πήραν περισσότερο πετρέλαιο από το Prudhoe Bay και τη Βόρειο Θάλασσα. Η περίοδος αυτή τερματίστηκε στις αρχές του 1986, όταν η Σαουδική Αραβία εγκατέλειψε την πολιτική περιορισμού της παραγωγής της. Στα μέσα της δεκαετίας του '90, ο ρυθμός της οικονομικής ανάπτυξης και κατά συνέπεια η παγκόσμια ζήτηση για πετρέλαιο και ενέργεια γενικότερα κορυφωνόταν.

Πόλεμος του Κόλπου το 1990

Το τρίτο, και πιο σύντομο, πετρελαϊκό σοκ εκδηλώθηκε στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του '90 ως αποτέλεσμα της κρίσης στον Περσικό Κόλπο, καθώς εκδηλώθηκαν φόβοι για προβλήματα στην προμήθεια και διανομή του πετρελαίου. Φόβοι όμως, οι οποίοι δεν ευδοκίμησαν τελικά, με αποτέλεσμα πολύ σύντομα οι τιμές να επανέλθουν στα προ της κρίσης επίπεδα. Το τρίτο επεισόδιο (1990–1991)

κράτησε μόλις 6 μήνες και ακόμη και στην έξαρσή του είχε ως αποτέλεσμα μόλις τον διπλασιασμό της τιμής του, ενώ το τέταρτο επεισόδιο (1999-2000) κορυφώθηκε με την άνοδο της τιμής του πετρελαίου περισσότερο από δύο φορές. Ο Πόλεμος ξεκίνησε με την εισβολή του Ιράκ στις 2 Αυγούστου 1990, με την δικαιολογία ότι το Κουβέιτ κάνει γεωτρήσεις για πετρέλαιο υπό κλίση και έτσι "κλέβει" ιρακινό πετρέλαιο. Αμέσως μετά την εισβολή υποβλήθηκαν οικονομικές κυρώσεις από τον Ο.Η.Ε. (Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών) και τελικώς οι εχθροπραξίες άρχισαν τον Ιανουάριο του 1991, οι οποίες και κατέληξαν στην ολοκληρωτική νίκη των συμμαχικών δυνάμεων.

Στις 29 Νοεμβρίου 1990, το Συμβούλιο Ασφαλείας άναψε το «πράσινο φως» για στρατιωτική επέμβαση στο Κουβέιτ, δίνοντας προθεσμία έως τις 15 Ιανουαρίου 1991 στο Ιράκ να αποσύρει τις δυνάμεις του από το εμιράτο. Μέχρι τις 15 Ιανουαρίου 1991 που έληγε το τελεσίγραφο του Ο.Η.Ε. έγιναν ειρηνευτικές προσπάθειες, αλλά προσέκρουσαν στην άρνηση του Ιράκ, που ήθελε να εξαργυρώσει τη δική του αποχώρηση από το Κουβέιτ με την απόσυρση των Ισραηλινών από τα κατεχόμενα συριακά και παλαιστινιακά εδάφη.

Ο Σαντάμ επεδίωκε να φανεί ως ήρωας στα μάτια των Αράβων. Στις 12 Ιανουαρίου 1991 ο πρόεδρος Τζορτζ Μπους ο πρεσβύτερος έλαβε από το Κογκρέσο την εξουσιοδότηση για την ανάμιξη των αμερικανικών δυνάμεων στον επικείμενο πόλεμο, ο οποίος έλαβε τέλος στις 27 Φεβρουαρίου 1991.

Σεπτέμβριος 2001- Επίθεση στους δίδυμους πύργους

Το 2001, η αδύναμη οικονομία των Η.Π.Α. σε συνάρτηση με την αύξηση παραγωγής πετρελαίου από χώρες εκτός ΟΠΕΚ είχε ως αποτέλεσμα να ασκήσουν πίεση στη πτώση τιμών του αργού. Ο ΟΠΕΚ από την πλευρά του μείωσε τις ποσοστώσεις των μελών του κατά 3,5 εκατ. βαρέλια από την 1^η Σεπτεμβρίου του 2001. Εάν απουσίαζαν οι τρομοκρατικές επιθέσεις της 11^{ης} Σεπτεμβρίου του 2001 θα ήταν πολύ πιθανό να μετριαζόταν ή και ακόμα να αντιστρεφόταν η πτωτική τάση των τιμών του αργού.

Ιούλιος 2008 - Ιστορική εκτίναξη της τιμής του αργού πετρελαίου

Σε αντίθεση με προηγούμενες πετρελαϊκές κρίσεις, η απότομη πτώση των τιμών μεταξύ του Ιανουαρίου του 2007 και του Ιουλίου του 2008 δεν οφειλόταν σε σημαντική μείωση της παραγωγής, δεδομένου ότι η παγκόσμια παραγωγή και η παραγωγή του ΟΠΕΚ ήταν σταθερή από το 2004. Όμως, στον απόηχο του 2005 και την ανησυχητική μείωση της πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα, ο ΟΠΕΚ δεν αυξήσει την παραγωγή να ανακόψει την τάση των τιμών, παρόλο που από το 1970 ότι είχε διαδραματίσει μοναδικό ρόλο στη ρύθμιση της τιμής του βαρελιού ο τυφώνας Κατρίνα επέφερε πτώση στην παραγωγή των Η.Π.Α. στον Κόλπο του Μεξικού και έκλεισαν πολλά διυλιστήρια με αποτέλεσμα η τιμή του βαρελιού να αυξηθεί πάνω από \$60 για πρώτη φορά.

Η τιμή του βαρελιού του πετρελαίου ξεπέρασε για πρώτη φορά το ιστορικό όριο των 145 δολαρίων στις ηλεκτρονικές συναλλαγές στην Ασία τον Ιούλιο του 2008, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3. Η διαφορά μεταξύ παραγωγής και ζήτησης πετρελαίου είχε μειωθεί επικίνδυνα και δεν άφηνε περιθώρια εφησυχασμού, αφού το αναπάντεχο γεγονός του τυφώνα θα δημιουργούσε κρίσιμο έλλειμμα στο εύθραυστο πετρελαϊκό ισοζύγιο.



Εικόνα 3: Συνολική παραγωγή υγρών καυσίμων (παγκοσμίως και ΟΠΕΚ) και η τιμή του ανά βαρέλι για το χρονικό διάστημα 2004-2008

(Πηγή: [Europe facing peak oil-A study from The Greens | EFA Group in the European Parliament, November 2012](#), Fig.15)

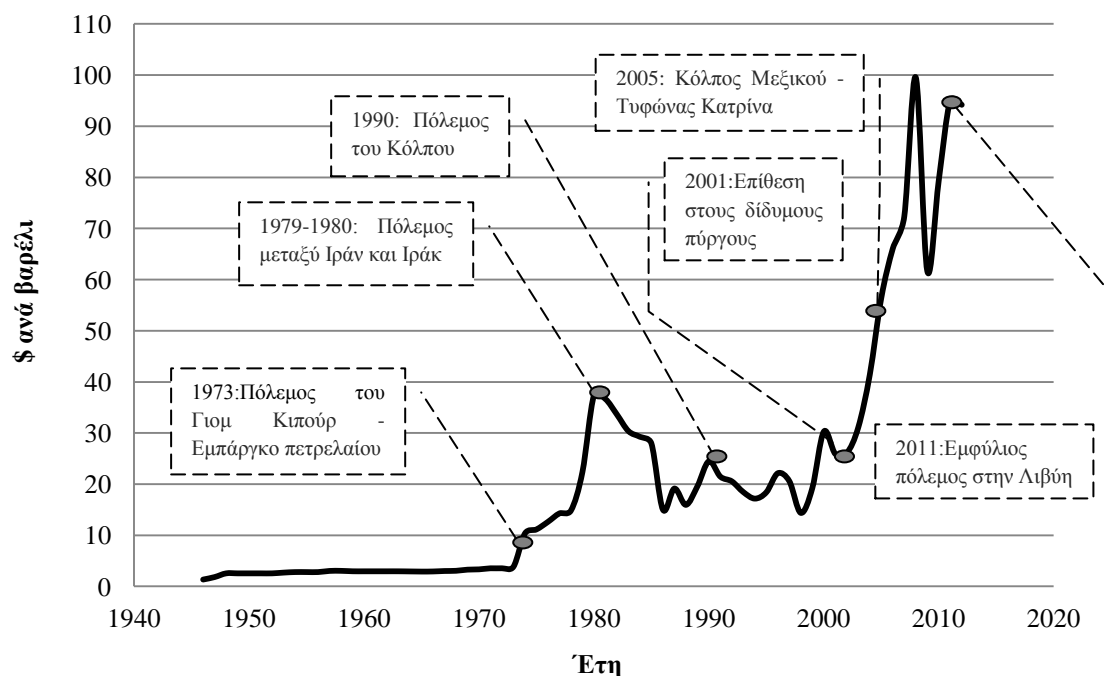
Φεβρουάριος 2011 - Εμφύλιος πόλεμος στην Λιβύη

Στα τέλη του Φεβρουαρίου του 2011, οι τιμές του αργού αυξήθηκαν ως συνέπεια της απώλειας εξαγωγών του αργού από την Λιβύη λόγω εμφυλίου πολέμου. Επιπρόσθετα λόγω αυξημένης ανησυχίας για ύπαρξη αναταραχών σε άλλες παραγωγές χώρες αργού στην Μέση Ανατολή και στην Βόρεια Αφρική είχε ως αποτέλεσμα να παραμένει η τιμή του αργού σε υψηλά επίπεδα.

Ιούνιος 2014- Πόλεμος στο Ιράκ

Οι τιμές του πετρελαίου στις διεθνείς αγορές εμπορευμάτων καταγράφουν αλματώδη άνοδο, με τους επενδυτές να κινούνται υπό τον φόβο της επικίνδυνης κλιμάκωσης των εντάσεων στο Ιράκ, οι οποίες δημιουργούν φόβους για διαταραχή της διεθνούς προσφοράς του μαύρου χρυσού. Ειδικότερα, τα συμβόλαια παράδοσης Ιουλίου του αργού κερδίζουν 1,15 δολάρια, στα 107,68 δολάρια το βαρέλι, ενώ ο όγκος συναλλαγών έχει τετραπλασιαστεί σε σχέση με το μέσο όρο των τελευταίων 100

ημερών. Στην Ευρώπη, το συμβόλαιο της ποικιλίας Brent ενισχύεται σχεδόν 2 δολ. στα 111,85 δολ. ανά βαρέλι. Η τιμή έχει κλείσει πάνω από τα \$111 μόνο μια φορά στην φετινή χρονιά. Η κατάσταση στο Ιράκ είναι φοβερά σοβαρή στον πετρελαϊκό κόσμο της επανάστασης του σχιστολιθικού πετρελαίου και φυσικού αερίου.



Διάγραμμα 9: Τιμές Αργού Πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1945-2012

(Πηγή: [Dow Jones & Company, Copyright, 2014](#))

Πανεπιστήμιο

2.2 Ανάλυση Προσφοράς - Ζήτησης και επιπτώσεις της τιμής του πετρελαίου^{21,22,23,24}

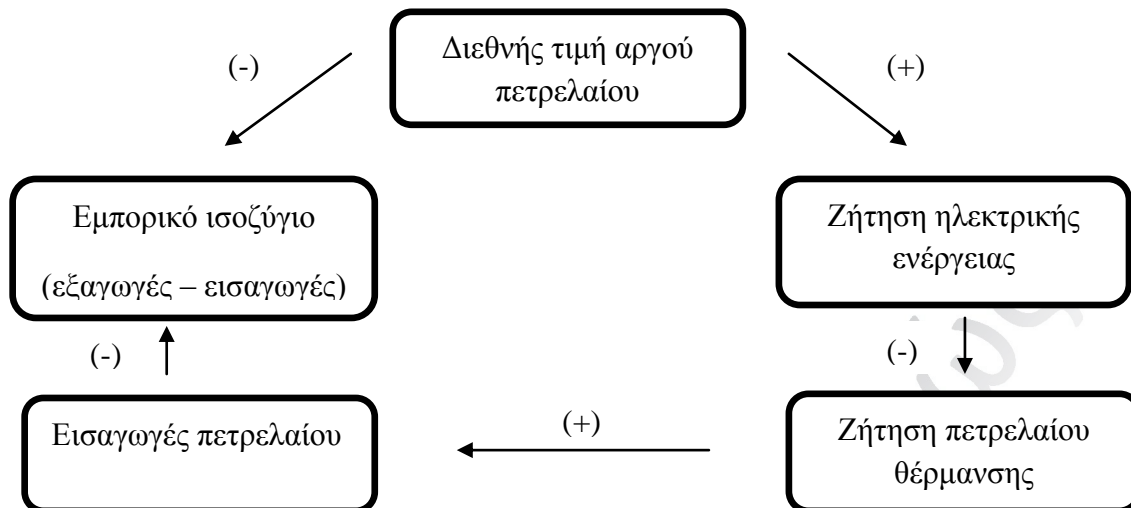
Οι πετρελαϊκές κρίσεις είχαν ως απόρροια να υπάρξουν σημαντικές επιπτώσεις στην προσφορά του πετρελαίου κάτι που συνεπάγεται εκτίναξη της τιμής αυτού αλλά και γενικότερα διαταραχές επί των μακροοικονομικών και χρηματιστηριακών μεγεθών.

Μια μικρή ποσότητα αργού εάν βγει από το σύστημα ζήτησης- προσφοράς, αρκεί να προκαλέσει σημαντικές οικονομικές συνέπειες στο θέμα της ασφάλειας της ενέργειας.

Μια σχετικά ποσοστιαία μεταβολή στην προσφερόμενη ποσότητα πετρελαίου, έχει τεράστια σημασία, π.χ. πτώση κατά 3% στο ρυθμό αύξησης του ΑΕΠ στις Η.Π.Α. που προήλθε από το Αραβικό εμπάργκο το 1973, είχε ως επακόλουθο την καταστροφική οικονομική ύφεση των Η.Π.Α.

Σύμφωνα με μια πρόσφατη έρευνα για τις χώρες του G7 βρέθηκε ότι μια αύξηση 1% στη κατανάλωση ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνει το πραγματικό ΑΕΠ κατά 0,12-0,13%, τη στιγμή που μια ισόποση αύξηση 1% στο κεφάλαιο οδηγεί σε μικρότερη αντίστοιχη αύξηση του πραγματικού ΑΕΠ κατά 0,1-0,28%. Δηλαδή, η αδιάλειπτη ροή της προσφοράς του πετρελαίου είναι σημαντική για την οικονομική ευημερία του πλανήτη.

Οι επιπτώσεις από τη μεταβολή της τιμής του πετρελαίου στη διεθνή αγορά έχει άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις τόσο στις εθνικές οικονομίες όσο και στις επιχειρήσεις. Βέβαια οι επιπτώσεις αυτές ποικίλουν ανάλογα με το βαθμό βραχυχρόνιας και μεσο-μακροχρόνιας εξάρτησης της χώρας ή της επιχείρησης από το πετρέλαιο. Για παράδειγμα εάν μια χώρα όπως είναι η Ελλάδα δεν εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το πετρέλαιο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τότε μια αύξηση στην τιμή του πετρελαίου θα έχει ως αποτέλεσμα είτε την επιβάρυνση του εμπορικού ισοζυγίου, δηλ. μείωση της διαφοράς (εξαγωγές – εισαγωγές) λόγω αύξησης των εισαγωγών, είτε τη μεταξύ άλλων, αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, άρα μείωση της ζήτησης πετρελαίου έναντι της ζήτησης που θα υπήρχε αν δεν είχε αυξηθεί η τιμή του. Αυτό συνεπάγεται μείωση των εισαγωγών πετρελαίου, άρα βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου. Με άλλα λόγια ασκείται μια εξισοροποιητική δράση από τη μεταβολή ενός οικονομικού μεγέθους μικρής κλίμακας, όπως η ζήτηση ενέργειας, προς ένα καθαρά μακροοικονομικό μέγεθος, όπως το εμπορικό ισοζύγιο. Στο ακόλουθο σχήμα απεικονίζεται μια τέτοια κυκλική αλληλεπίδραση, όπου το (+) σημαίνει αύξουσα ή ομόρροπη εξάρτηση και το (-) σημαίνει φθίνουσα ή αντίρροπη εξάρτηση.



Σχήμα 9: Ενδεικτικές βραχυχρόνιες οικονομικές επιδράσεις από τη μεταβολή της τιμής του πετρελαίου σε μια οικονομία που βασίζεται κυρίως σε άλλες πηγές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

(Πηγή: Φραγκίσκος Μπατζιάς, Διοίκηση Ολικής Ποιότητας και Διαχείριση Περιβάλλοντος, Τόμος Γ, Διαχείριση Φυσικών Πόρων, ΕΑΠ Πάτρα 2002 σελ. 38)

Το αργό αλλά και τα υποπροϊόντα του αποτελεί σημαντικότερη πηγή καυσίμου παγκοσμίως έχοντας ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στον τομέα των μεταφορών, όμως είναι ένας πεπερασμένος /εξαντλούμενος πόρος. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που έχουν δημιουργηθεί ανησυχίες και αντιπαραθέσεις για το πότε θα κορυφωθεί η παραγωγή του. Το ζήτημα αυτό έχει απασχολήσει την ανθρωπότητα ήδη από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα.

2.3 ΟΠΕΚ (Οργανισμός εξαγωγών πετρελαιοπαραγωγών χωρών)^d

Ο ΟΠΕΚ συγκροτήθηκε στην πρωτεύουσα του Ιράκ στην Βαγδάτη το 1960 με τη συμμετοχή κρατών μελών που ήταν το Ιράν, το Ιράκ, το Κουβέιτ, η Σαουδική Αραβία και η Βενεζουέλα. Ο κύριος σκοπός της ίδρυσης του ΟΠΕΚ ήταν η καθιέρωση μιας ενιαίας πετρελαϊκής πολιτικής μεταξύ των κρατών μελών και η ύπαρξη μέτρων προστασίας των συμφερόντων τους με σταθεροποιητικές τιμές της διεθνούς αγοράς σε μια προοπτική αφενός αποφυγής βλαβερών συνεπειών για τα ίδια τα μέλη - κράτη και αφετέρου σε μία δίκαιη και ομαλή πετρελαϊκή βιομηχανική ανάπτυξη.

Η φιλοσοφία δημιουργίας του ΟΠΕΚ προσέλκυσε και άλλα κράτη να αποτελέσουν μέλη του όπως και συνέβη το 1985, όπου στον ΟΠΕΚ εντάχθηκαν η Αγκόλα, η Αλγερία, η Γκαμπόν και ο Ισημερινός. Από τότε ο Οργανισμός παραμένει

ανοικτός και για οποιαδήποτε άλλα πετρελαιοπαραγωγά κράτη, χωρίς να αποκλείεται κανένα, ανεξάρτητα πολιτικού καθεστώτος, θρησκείας, γεωγραφικού χώρου και εφόσον διατηρεί βασικά αντίστοιχα συμφέροντα των ήδη χωρών - μελών.



Εικόνα 4: Τα κράτη-μέλη του ΟΠΕΚ

(Πηγή: [IAGS-Institute for the Analysis of Global Security](#))

2.3.1 Ο ρόλος του ΟΠΕΚ στη διαμόρφωση των τιμών του αργού πετρελαίου^d

Ο ΟΠΕΚ είναι καρτέλ πετρελαίου όπου ο βασικότερος στόχος του είναι η διασφάλιση σταθερών εσόδων στα μέλη του μέσω του μηχανισμού επιρροής των τιμών. Ο ΟΠΕΚ όμως σπάνια υπήρξε αποτελεσματικός στον έλεγχο των τιμών επειδή δεν διέθετε έναν ισχυρό μηχανισμό επιβολής των ποσοστώσεων επί της παραγωγής στα μέλη του σε αντίθεση με τον Αμερικανό προκάτοχό του, την Επιτροπή Σιδηροδρόμου του Τέξας. Ο μόνος μηχανισμός επιβολής υπήρξε η αδρανής παραγωγική δυναμικότητα της Σαουδικής Αραβίας που αποτελεί τη μεγαλύτερη πετρελαιοπαραγωγό χώρα παγκοσμίως.

Το 1979-1980 όπου οι τιμές του αργού πετρελαίου εκτοξεύθηκαν στα ύψη ο αρμόδιος υπουργός πετρελαίου της Σαουδικής Αραβίας Ahmed Yamani χτύπησε τον κώδωνα του κινδύνου στα υπόλοιπα μέλη του ΟΠΕΚ, ότι η συνεχής αύξηση των τιμών θα οδηγήσει σε μείωση της ζήτησης του αργού. Όμως τα κράτη – μέλη δεν έδωσαν την πρέπουσα σημασία με αποτέλεσμα οι καταναλωτές να αντιδράσουν σε αυτή την αύξηση των τιμών με αποτέλεσμα να μειωθεί αισθητά η ζήτηση του πετρελαίου. Η οικονομική δυσπραγία υπήρξε προσωρινή για τον ΟΠΕΚ, όμως τα μέτρα εξοικονόμηση που άρχισαν σιγά-σιγά οι καταναλωτές να υιοθετούν έμελε να είναι

μόνιμα. Παρόλο που μετά το 1980 οι τιμές άρχισαν να πέφτουν δεν οδήγησαν σε αντίστοιχη αύξηση της κατανάλωσης. Οι υψηλές τιμές αύξησαν το ενδιαφέρον για εξερεύνηση και παραγωγή πετρελαίου εκτός ΟΠΕΚ με αποτέλεσμα η παραγωγή εκτός των κρατών-μελών του ΟΠΕΚ να αυξηθεί κατά δέκα εκ. βαρέλια ημερησίως το διάστημα 1980-1986. Το αποτέλεσμα όλων αυτών των συμβάντων ήταν η ζήτηση πετρελαίου από τον ΟΠΕΚ μειώθηκε αισθητά και η προσφορά εκτός ΟΠΕΚ αυξήθηκε ραγδαία.

Το 1990 άρχισαν να αυξάνουν οι τιμές του πετρελαίου επειδή η παραγωγή μειωνόταν, συνέβη και ο Πόλεμος του Κόλπου. Η εγγύτητα με τη Σαουδική Αραβία που αποτελούσε τη μεγαλύτερη πετρελαιοπαραγωγό χώρα στον κόσμο, υποδαύλιζε τις διεθνείς ανησυχίες με αποτέλεσμα να προκαλέσει την Αμερικανική αντίδραση. Εάν οι Αμερικάνοι δεν αντιδρούσαν στην εισβολή του Σαντάμ Χουσεΐν στο Κουβέιτ θα είχε ως αποτέλεσμα να ελέγχει μαζί με τους Σοβιετικούς το 45% των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου (10% Ιράκ, 10% Κουβέιτ και 25% Σαουδική Αραβία). Έπειτα από το Πόλεμο του Κόλπου υπήρξε μια περίοδος σταθερής πτώσης των τιμών του πετρελαίου έως το 1994 όπου οι αποπληθωρισμένες τιμές έφτασαν στο χαμηλότερο επίπεδο από το 1973.

Την περίοδο 1990-1997 η παγκόσμια κατανάλωση πετρελαίου αυξήθηκε κατά 6,2 εκ βαρέλια ημερησίως. Η Ασία υπολογίστηκε ότι κατανάλωνε 300 χιλ βαρέλια ημερησίως. Η μειωμένη παραγωγή πετρελαίου στη Ρωσία συντέλεσε στην ανάκαμψη των τιμών και συγκεκριμένα από το 1990 έως και το 1996 η παραγωγή μειώθηκε κατά πέντε εκ. βαρέλια ημερησίως.

Η άνοδος των τιμών αντιστράφηκε το 1998 όταν τα επακόλουθα της οικονομικής κρίσης στην Ασία είτε αγνοήθηκαν, είτε υποτιμήθηκαν από τον ΟΠΕΚ. Το 1998 ήταν η χρονιά όπου για πρώτη φορά από το 1982 σημειώνεται μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου και ο συνδυασμός χαμηλότερης ζήτησης με υψηλότερη προσφορά από τον ΟΠΕΚ είχε ως αποτέλεσμα οι τιμές του πετρελαίου να μειωθούν απότομα.

Οι τιμές του πετρελαίου άρχισαν να ανακάμπτουν από το 1999 όπου ο ΟΠΕΚ μείωσε την παραγωγή του. Παράλληλα σημειώνεται ανάκαμψη της Ρωσικής παραγωγής πετρελαίου που σημειώθηκε να είναι η μεγαλύτερη εκτός ΟΠΕΚ αύξηση από τις αρχές του αιώνα. Βέβαια η αστοχία του ΟΠΕΚ διαφαίνεται για ακόμη μία φορά. Η αποδυνάμωση της Αμερικανικής οικονομίας το 2001 και η αυξημένη εκτός ΟΠΕΚ παραγωγής πετρελαίου επέφεραν πίεση επί των τιμών αυτού. Η αντίδραση του Αραβικού καρτέλ ήταν να μειώσει την παραγωγή πετρελαίου έως και το Σεπτέμβριο του 2001 γεγονός που θα αρκούσε στη συγκράτηση ή ίσως και στην αντιστροφή της πορείας των τιμών. Η τρομοκρατική επίθεση στις Η.Π.Α. το 2001 είχε ως αποτέλεσμα το κατρακύλισμα των τιμών του πετρελαίου, το WTI μειώθηκε κατά 35% έως τα μέσα του Νοεμβρίου.

Στα τέλη του 2002 σημειώθηκαν απεργιακές κινητοποιήσεις στη Βενεζουέλα μειώνοντας την παραγωγή κατά 900 χιλ βαρέλια ημερησίως ωθώντας περισσότερο τις

τιμές και ενώ στις αρχές του 2003 άρχισε να ανακάμπτει η παραγωγή της Βενεζουέλας ξεκίνησε η πολεμική ανάφλεξη στο Ιράκ. Παράλληλα με την πολεμική ανάφλεξη στο Ιράκ το 2003 ο χειμώνας ήταν βαρύς μείωσε τα αποθέματα στις Η.Π.Α. αλλά και σε άλλες χώρες του Ο.Ο.Α.Σ.Α. (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης). Η απώλεια παραγωγής στο Ιράκ και στη Βενεζουέλα σε συνδυασμό με τις αυξημένες ποσοτώσεις παραγωγής από τις υπόλοιπες χώρες του ΟΠΕΚ έτσι ώστε να αυξηθεί η ραγδαία αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση (ενδυνάμωση της Αμερικάνικης Οικονομίας και ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης στις αναδυόμενες οικονομίες της Ασίας) είχε ως αποτέλεσμα τόσο τη συνέχιση της ανοδικής πορείας των τιμών του πετρελαίου αλλά και τη διάβρωση της πλεονάζουσας παραγωγικής δυναμικότητας. Στα μέσα του 2002 η υπερβάλλουσα παραγωγική δυναμικότητα ήταν έξι εκ. βαρέλια ημερησίως, ενώ στα μέσα του 2003 ήταν κάτω από 2 εκ. βαρέλια ημερησίως. Κατά τη διετία 2004-2005 η αδρανής δυναμικότητα έπεσε κάτω του ενός εκατ. βαρελιών ημερησίως, ποσότητα μη ικανοποιητική για να καλύψει διακοπές στην προσφορά από πολλούς παραγωγούς του ΟΠΕΚ.

2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του αργού πετρελαίου^{25,26}

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν τις τιμές των καυσίμων, όπως είναι το κόστος του αργού πετρελαίου, οι διεθνείς τιμές διύλισης (MED PLATTS), το κόστος διύλισης, οι φόροι, τα λειτουργικά έξοδα των εταιρειών εμπορίας αλλά και ο ανταγωνισμός στην αγορά των πρατηρίων. Βέβαια η σχέση της τιμής του αργού πετρελαίου επηρεάζει και την τιμή των προϊόντων διύλισής του.

Οι τιμές του αργού πετρελαίου και των προϊόντων διύλισης υπακούν στους κανόνες της ελεύθερης αγοράς. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος του αργού πετρελαίου και των προϊόντων διύλισης είναι οι κάτωθι:

- Η αυξημένη ζήτηση για αργό πετρέλαιο και προϊόντα διύλισης. Ολοένα και αυξάνει η ζήτηση για αργό πετρέλαιο και τα προϊόντα διύλισής του από αναπτυσσόμενες χώρες όπως είναι η Κίνα και η Ινδία.
- Τα επίπεδα των αποθεμάτων του πετρελαίου και των ανακαλύψεων νέων πετρελαιοπηγών.
- Ο ρυθμός της παγκόσμιας οικονομικής ανάπτυξης.
- Περιορισμοί στην παγκόσμια ικανότητα διύλισης πετρελαίου. Η αύξηση στη ζήτηση πετρελαίου αλλά και των προϊόντων διύλισης αυτού καθιστά τα υπάρχοντα διυλιστήρια σε όλον τον κόσμο να λειτουργούν σχεδόν με τη μέγιστη διυλιστική τους ικανότητα. Βέβαια η ανάγκη για κατασκευή νέων και πιο σύγχρονων διυλιστηρίων στο μέλλον κρίνεται άμεσα αναγκαία,

ώστε να καλύψουν την αυξημένη ζήτηση. Όμως η κατασκευή διυλιστηρίων έχει κάποιους περιορισμούς όπως είναι οι υψηλές επενδύσεις που απαιτούνται για την κατασκευή και λειτουργία τους, οι οποίες επίσης αυξάνονται ακόμη περισσότερο λόγω της επιβολής όλο και αυστηρότερων διεθνών περιβαλλοντικών προτύπων, τα οποία αφορούν τόσο στην περιβαλλοντική επίδοση των διυλιστηρίων όσο και στην παραγωγή καθαρότερων καυσίμων.

- Ασφάλεια στην προσφορά αργού πετρελαίου.
Η πολιτική αστάθεια στη Μέση Ανατολή συνεχίζει να προκαλεί αβεβαιότητα γύρω από τη διαθεσιμότητα του αργού πετρελαίου και έχει σοβαρό αντίκτυπο στη μεταβλητότητα της τιμής του.
- Η προθυμία του παγκόσμιου χρηματοπιστωτικού συστήματος να επενδύσει σε επενδύσεις αυξημένου ρίσκου, όπως είναι σε απομακρυσμένες και εχθρικές περιοχές, σε πολιτικά ασταθείς χώρες.
- Απρόβλεπτα/ακραία καιρικά φαινόμενα.
Τα ακραία καιρικά φαινόμενα (π.χ. τυφώνες στις Η.Π.Α.) είναι δυνατόν να μειώσουν προσωρινά την παγκόσμια διύλιση αργού πετρελαίου. Αυτή η μείωση, σε συνδυασμό με τις εικασίες σχετικά με το βαθμό διαθεσιμότητας των προϊόντων διύλισης, έχουν ως αποτέλεσμα τη μεταβλητότητα των τιμών τους διεθνώς.
- Εποχικές επιδράσεις.
Οι τιμές των προϊόντων διύλισης επηρεάζονται από τις εποχικές αλλαγές στη ζήτηση συγκεκριμένων προϊόντων στις μεγαλύτερες αγορές του βορείου ημισφαιρίου (Η.Π.Α., Ευρώπη και Ιαπωνία) κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα για θέρμανση κατοικιών, γραφείων νοσοκομείων κ.λπ. Αντίθετα το καλοκαίρι η ζήτηση σε βενζίνη αυξάνει στο βόρειο ημισφαίριο λόγω μετακινήσεων με το αυτοκίνητο εξαιτίας της τουριστικής κίνησης.
- Διακυμάνσεις της αγοράς.
Το αργό πετρέλαιο και τα προϊόντα διύλισης που διατίθενται στην ελεύθερη αγορά, αποτελούν χρηματιστηριακά προϊόντα και επομένως ενδέχεται να αποτελέσουν αντικείμενο κερδοσκοπίας, γεγονός που επηρεάζει και τις διεθνείς τιμές τους. Τα τελευταία έτη παρατηρείται αυξημένο ενδιαφέρον γύρω από το χρηματιστήριο εμπορευμάτων (hedge funds) κάτι που επηρεάζει τη μεταβλητότητα των τιμών τους.
- Νομισματικές διακυμάνσεις.
Το μεγαλύτερο μέρος των παγκόσμιων συναλλαγών της αγοράς αργού πετρελαίου και των προϊόντων διύλισης γίνεται σε δολάρια Η.Π.Α.. Αυτό

συνεπάγεται πως κάθε αλλαγή στην ισοτιμία του νομίσματος μιας χώρας έναντι του αμερικανικού δολαρίου επηρεάζει άμεσα το κόστος αγοράς του αργού πετρελαίου και των προϊόντων διύλισης.

Οι παράγοντες που επιδρούν στις μελλοντικές τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο είναι ένα αναδυόμενο προϊόν εδώ και δεκαετίες και αναμένεται τα επόμενα χρόνια να αντικαταστήσει τον άνθρακα ως το δεύτερο προϊόν ενέργειας σε ζήτηση παγκοσμίως. Παρόλα αυτά οι διακυμάνσεις του είναι κατά πολύ μικρότερες από αυτές του πετρελαίου, όπως άλλωστε και οι αποδόσεις του.

Οι τιμές στην παγκόσμια αγορά ενεργειακών πρώτων υλών διαμορφώνονται από τα επίπεδα της ζήτησης και από τη δυνατότητα της προσφοράς να καλύψει αυτή τη ζήτηση. Παράγοντες που επιδρούν στη ζήτηση είναι πολλοί και ποικίλουν ανάλογα με την οικονομική δραστηριότητα κάθε περιοχής. Ειδικά για το 2011 ρόλο έπαιξε η συνεχιζόμενη οικονομική ανάπτυξη από τις αναδυόμενες αγορές και η αύξηση των νοικοκυριών στην Ασία.

Η Ευρώπη λόγω της συνεχιζόμενης ύφεσης είχε χαμηλή ζήτηση για ενέργεια αλλά και μελλοντικά αναμένεται να διαμορφωθεί σε σταθερά επίπεδα. Κατά συνέπεια η τιμή για πρώτες ύλες στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στις χώρες που ανήκουν γεωγραφικά στην ίδια περιοχή θα εξαρτηθούν από την προσφορά και το κόστος εξόρυξης και μεταφοράς. Ο πληθωρισμός άλλωστε στη ζώνη του ευρώ αναμένεται σύμφωνα με το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο να είναι κατά μέσο όρο 1,7% ετησίως μέχρι το 2017, κάτω δηλαδή από τον παγκόσμιο μέσο όρο, 3,4% για την ίδια περίοδο.

Πιθανές μεταβολές από την επίδραση γεωπολιτικών παραγόντων αναμένεται να είναι σοβαρές και να επιδράσουν αρνητικά στην προσφορά. Πρόσφατο παράδειγμα αποτελεί η Αραβική άνοιξη με της προαναφερθείσες επιπτώσεις, όπως και η Ιρανική επανάσταση το 1979 που οδήγησε σε διπλασιασμό των τιμών.

Τέτοιες περιπτώσεις δεν μπορούν να προβλεφθούν και θα είχαν επιπτώσεις για το ΑΕΠ περιοχών όπως η Ευρώπη που αποτελεί βασικό καταναλωτή ενέργειας. Η διόγκωση του ΑΕΠ αυξάνει τη ζήτηση για ενέργεια αλλά και ο υψηλός πληθωρισμός εγγυάται υψηλές τιμές και αυξημένα περιθώρια κέρδους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – Α.Π.Ε.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΕΙΣΑΓΩΓΗ²⁷

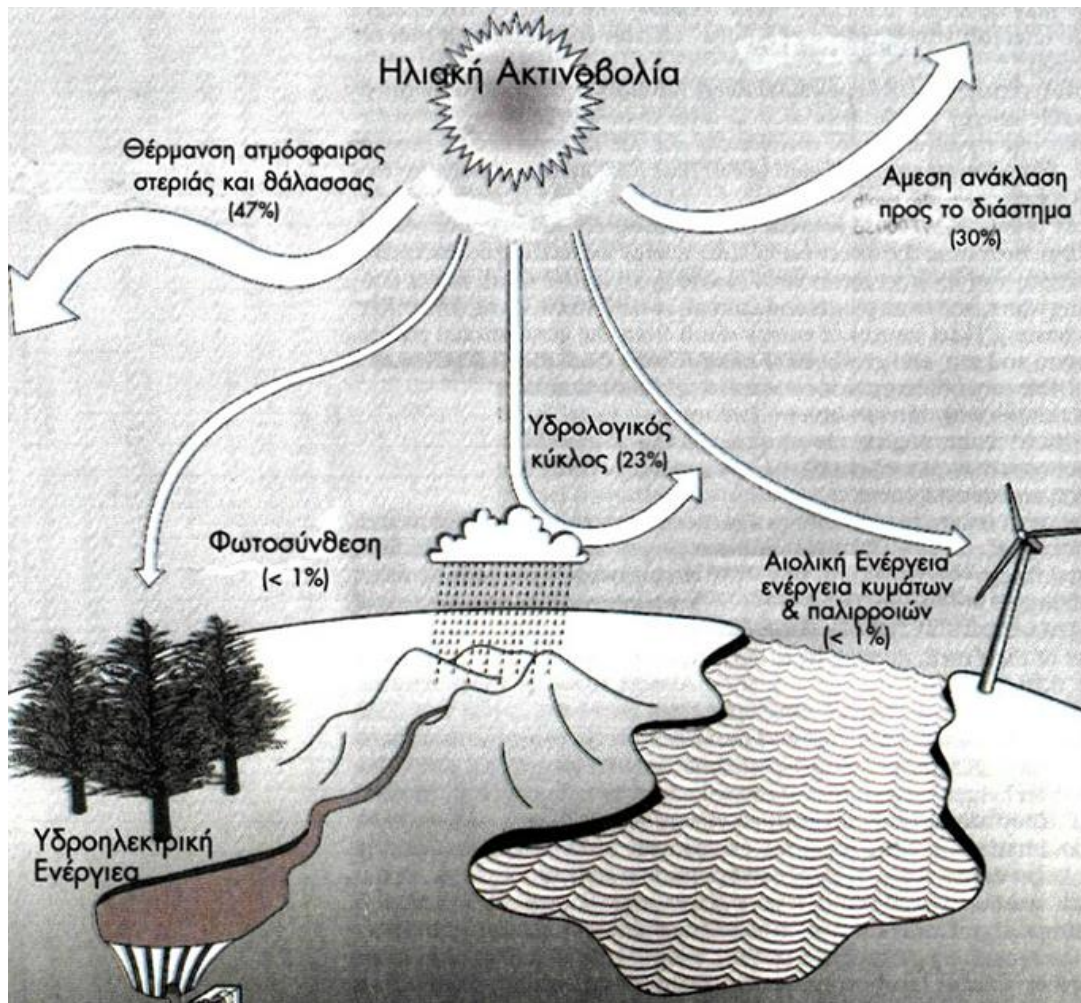
Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (Α.Π.Ε.) ονομάζεται εκείνη η μορφή ενέργειας η οποία δεν εξαντλείται στο απώτερο ορατό μέλλον της ανθρωπότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σταθερό και αξιόπιστο τρόπο.

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ορίζονται οι ακόλουθες πηγές ενέργειας:

- Ηλιακή ενέργεια
- Υδροηλεκτρική ενέργεια ή υδροϊσχύς
- Αιολική ενέργεια
- Καύσιμες ανανεώσιμες πηγές και απορρίμματα (combustible renewables and waste, CRW), βασικά η βιομάζα.
- Γεωθερμία (και οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας)
- Ενέργεια της θάλασσας (Παλιρροϊκή ενέργεια, Ενέργεια από τα κύματα και Θερμότητα από τους ωκεανούς)

Αποθηκευμένη ενέργεια οποιασδήποτε μορφής, που μπορεί να μετατραπεί σε θερμότητα η οποία τελικά χάνεται στο διάστημα, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως «μη-ανανεώσιμος ενεργειακός πόρος». Ο όρος «ανανεώσιμος ενεργειακός πόρος» χρησιμοποιείται για ροές ενέργειας οι οποίες αναπληρώνονται την ίδια ώρα που χρησιμοποιούνται. Η κύρια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι έτσι η ηλιακή ακτινοβολία η οποία εμποδίζεται από τη γη, αφού αυτή επανακτινοβολεί στο διάστημα ένα ποσό θερμότητας ίσο με το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσλαμβάνει. Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται η σύνοψη των ποσοτήτων σε ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης και τους τρόπους με τους οποίους αυτή η ενέργεια μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας στην ατμόσφαιρα, τη γη και τη θάλασσα.

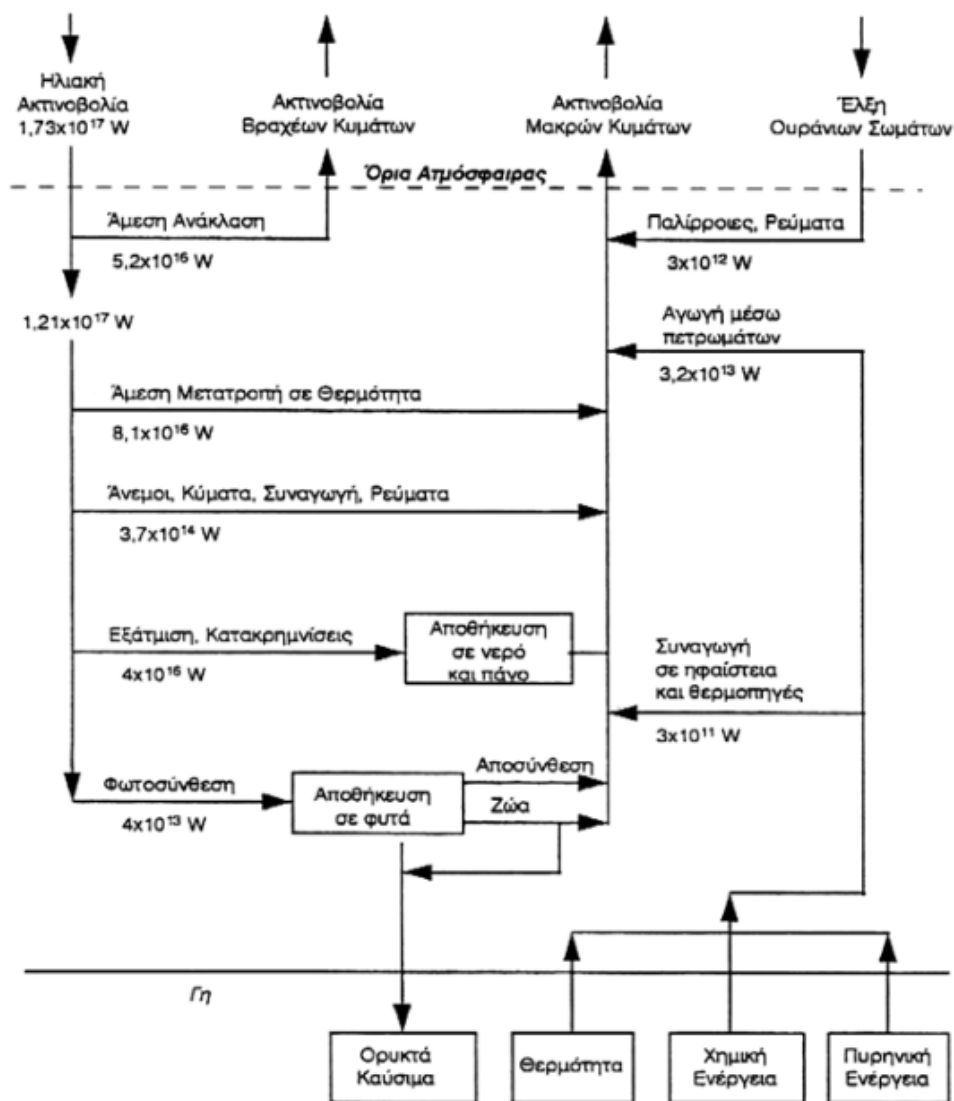
Το να χρησιμοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια σημαίνει ως εκ τούτου μετατροπή σε θερμότητα με κατάλληλο τρόπο για τον άνθρωπο. Τέτοια χρήση μπορεί να περιλαμβάνει καθυστέρηση στην επιστροφή της θερμότητας, είτε λόγω ανθρώπινης ανάμιξης, είτε λόγω φυσικής διεργασίας. Για αυτό το λόγο αποθήκες ενέργειας, οι οποίες αποτελούν τμήμα φυσικής διεργασίας μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε επανακτινοβολία θερμότητας, θεωρούνται επίσης «ανανεώσιμοι» ενεργειακοί πόροι.



Σχήμα 10: Μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας στις διάφορες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας

(Πηγή: Renewable Energy Renewable Energy, Power for a Sustainable Future, 3rd Edition, Oxford University Press, 2012)

Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη γη (από προσπίπτουσα ακτινοβολία, απορρόφηση και επανάκλαση) είναι περίπου $5,4 \cdot 10^{24} \text{J}$ ανά έτος. Οι ροές ενέργειας εκτός ηλιακής προέλευσης, οι οποίες εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης είναι ποσοτικά πολύ μικρότερες. Για παράδειγμα, η ροή θερμότητας από το εσωτερικό της γης είναι περίπου $9,5 \cdot 10^{20} \text{J}$ ανά έτος, ενώ η ενέργεια που χάνεται λόγω της επιβράδυνσης της περιστροφής της γης (λόγω παλιρροιακής έλξης από άλλες μάζες του ηλιακού συστήματος) είναι της τάξης των 10^{20}J ανά έτος. Πάντως οι δυσκολίες που αντιμετωπίζονται μέχρι να γίνει διαθέσιμη η ενέργεια στην απαιτούμενη ποσότητα και μορφή που χρειάζεται ο άνθρωπος, συνιστούν το ενεργειακό πρόβλημα.



Σχήμα 11: Διάγραμμα ροής ενέργειας στη γη

(Πηγή: Χριστοφής Ι Κορωναίος, [Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, 2012](#))

Όλες οι Α.Π.Ε., με εξαίρεση τη γεωθερμία και την παλιρροϊκή ενέργεια, αποτελούν έμμεση ηλιακή ενέργεια, μιας και ο κύκλος του νερού, η δύναμη του ανέμου και η ανάπτυξη των φυτών οφείλονται στην ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στη γη.

Οι συμβατικές μορφές ενέργειας καλύπτουν σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας όλων σχεδόν των χωρών και θα εξακολουθήσουν να καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό για αρκετές δεκαετίες ακόμα.

Σήμερα, βασικός περιορισμός για την αξιοποίηση και περαιτέρω διεύδυση όλων σχεδόν των Α.Π.Ε. αποτελεί το υψηλό αρχικό κόστος, το οποίο σχετίζεται ασφαλώς

με το επίπεδο της τεχνολογίας. Βεβαίως, τα τελευταία 10-15 χρόνια το κόστος της ανανεώσιμης ενέργειας μειώθηκε σημαντικά και πολλές ανανεώσιμες τεχνολογίες είναι ανταγωνιστικές ως προς τα ορυκτά καύσιμα, ιδιαίτερα όταν ληφθούν υπόψη και ορισμένες «κρυφές» παράμετροι (περιβάλλον, ασφάλεια, ενεργειακή απεξάρτηση κ.ά.).

Πίνακας 4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Α.Π.Ε.

| Μορφές Α.Π.Ε. | Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα |
|---------------------------------|--|---|
| Ηλιακή ενέργεια | Τεράστιο δυναμικό Πάντοτε παρούσα Δεν ρυπαίνει | Μικρή απόδοση Υψηλό αρχικό κόστος Πρόβλημα αποθήκευσης Υψηλό κόστος στον καταναλωτή Διαφέρει με την ώρα και τη θέση |
| Αιολική | Ευέλικτη, ακόμη και σε μεμονωμένα σπίτια Ιδιαίτερη συνεισφορά σε «ανεμοδαρμένες» περιοχές | Μεταβλητή λειτουργία Μικρή απόδοση (30%) Οπτική ρύπανση |
| Υδρο-ενέργεια | Υψηλή απόδοση (>80%) Ελάχιστη απορριπτόμενη θερμότητα Το μικρότερο κόστος ανά kWh Ρυθμίζεται εύκολα Δυνατότητα μερικής αποθήκευσης | Αποθέσεις/ιζήματα Αποτυχία φραγμάτων Μεταβολή τοπικού κλίματος Ορισμένα είδη ψαριών σε κίνδυνο |
| Γεωθερμική | Υψηλή απόδοση Όχι τόσο μεγάλο πάγιο κόστος Συνεχής παραγωγή ενέργειας | Μερικώς ανανεώσιμη Τοπικός πόρος – τοπική ανάπτυξη Κάποιες μορφές ρύπανσης |
| Θερμική ενέργεια ωκεανών | Μεγάλο δυναμικό Αξιοποίηση μεγάλης κλίμακας | Τεχνολογικά προβλήματα Τεράστιο κόστος |
| Παλιρροϊκή | Σταθερή πηγή Μπορούν να αξιοποιηθούν πολλά συστήματα εκβολών ποταμών | Κύκλος μικρού καθήκοντος Αλλαγή της ακτογραμμής Υψηλό κόστος |
| Καύση βιομάζας | Φυσικό προϊόν Και για συμπαραγωγή και για μεμονωμένη χρήση | Σωματιδιακή ρύπανση Περιορισμός στη μεταφορά |

(Πηγή: [N. Ανδρίτσος, «Ενέργεια και Περιβάλλον», 2008](#))

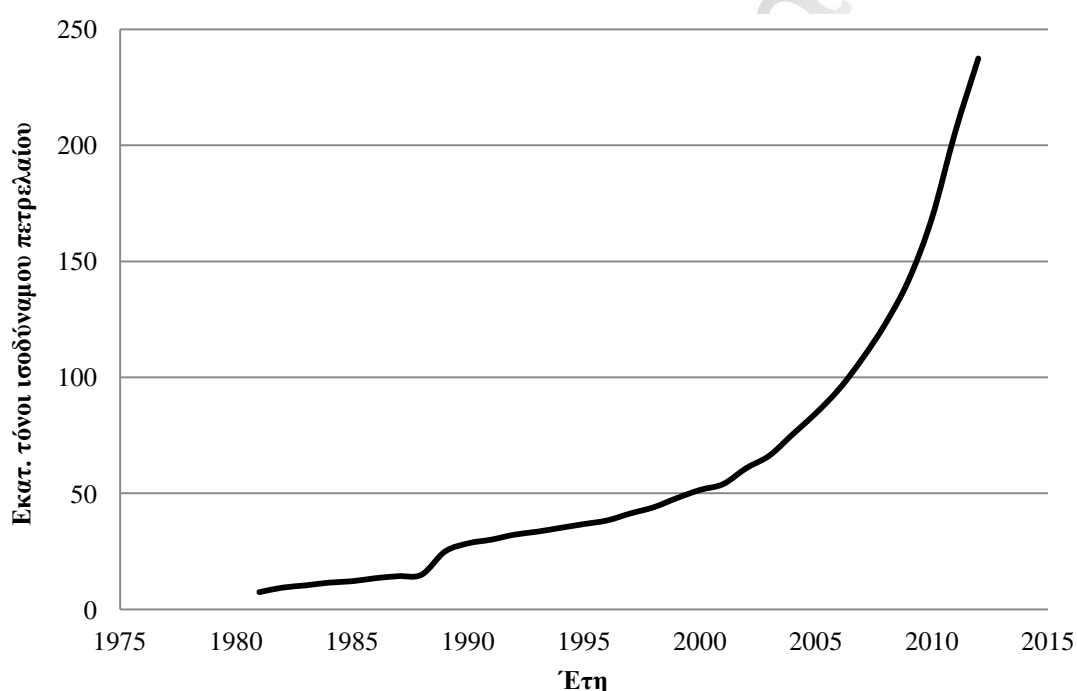
Μια ολοκληρωμένη εικόνα για τις δυνατότητες και τους περιορισμούς αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι η ακόλουθη:

- ο Εξ ορισμού ανανεώσιμη πηγή ενέργειας σημαίνει ανεξάντλητη πηγή ενέργειας σε αντίθεση με το σύνολο των συμβατικών καυσίμων, των οποίων

τα βεβαιωμένα αποθέματα του πλανήτη μας αναμένεται να εξαντληθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα.

- Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν μια καθαρή μορφή ενέργειας, ήπια προς το περιβάλλον. Η χρήση τους δεν επιβαρύνει τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης και παράλληλα αντικαθιστά ιδιαίτερα ρυπογόνες πηγές ενέργειας, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και την πυρηνική ενέργεια. Τα σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα των περισσότερων ανεπτυγμένων χωρών καθιστούν τις Α.Π.Ε. ιδιαίτερα ελκυστικές σε σχέση με την προστασία του περιβάλλοντος.

Με βάση το παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται πως η κατανάλωση ενέργειας από Α.Π.Ε. παγκοσμίως συνεχώς αυξάνει με επιταχυνόμενο ρυθμό.



Διάγραμμα 10: Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας από Α.Π.Ε. για το χρονικό διάστημα 1980-2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

3.1 Ηλιακή Ενέργεια²⁷

Ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που μεταφέρεται στη γη από τον ήλιο. Υπάρχει άμεση ηλιακή ενέργεια και έμμεση, με τη μορφή της βιομάζας, των ανέμων, της θερμότητας των ωκεανών κτλ. Η ενέργεια του ήλιου οφείλεται στις αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης που γίνονται στη μάζα του ήλιου, μετατρέποντας το υδρογόνο σε ήλιο με ρυθμό 4 εκατ. τόνους το δευτερόλεπτο. Η ανώτερη ατμόσφαιρα της γης

δέχεται ετησίως περίπου $1,5 \times 10^{18}$ kWh ηλιακής ακτινοβολίας, ενέργεια που είναι μεγαλύτερη κατά 23.000 φορές από την ενέργεια που καταναλίσκει όλος ο πλανήτης. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια της γης είναι μειωμένη κατά 60% περίπου, αλλά δεν παύει να είναι μια τεράστια ποσότητα ενέργειας. Η επιφάνεια της γης δέχεται άμεση και έμμεση ακτινοβολία (από σύννεφα, σκόνη κτλ), η οποία για την Ευρώπη αντιπροσωπεύει το 50% περίπου της συνολικής ακτινοβολίας.

Τα κυριότερα προβλήματα για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας αφορούν στη χρονική διακύμανση της ακτινοβολίας (κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους), κάτι που κάνει απαραίτητη προϋπόθεση την ύπαρξη αξιόπιστων και αποδοτικών μεθόδων αποθήκευσης της ενέργειας αυτής, και στη μικρή ενεργειακή της πυκνότητα που κάνει αναγκαία τη δέσμευση μεγάλων επιφανειών.

Αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας

Η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας και τεχνολογίας αποσκοπεί στην εύρεση των βέλτιστων μεθόδων για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και στην ανάπτυξη συστημάτων που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική.

Οι κυριότερες τεχνολογίες για την αξιοποίηση της άμεσης ηλιακής ενέργειας είναι:

- ✓ Παθητικά συστήματα θέρμανσης-δροσισμού.
Ουσιαστικά εννοείται ο σχεδιασμός του κτιρίου και η επιλογή των υλικών για την όσο το δυνατόν μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση.
- ✓ Μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα.
Τεχνολογίες για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, παραγωγής αφυαττωμένου νερού, θέρμανσης χώρων και νερού και μαγείρεμα. Χρησιμοποιούνται ηλιακοί συλλέκτες, συγκεντρωτικοί και μη συγκεντρωτικοί.
- ✓ Φωτοηλεκτρικές μέθοδοι.
Περιλαμβάνουν το φωτοβολταϊκό, το θερμοηλεκτρικό και το θερμοιονικό φαινόμενο.
- ✓ Φωτοκαταλυτικές μέθοδοι.
Φωτοκατάλυση (παραγωγή υδρογόνου), φωτοηλεκτρο-χημική μέθοδος.

3.2 Αιολική ενέργεια^{27.g}

Οι εναέριες μάζες της ατμόσφαιρας, κάτω από την επίδραση των συνεχών μεταβολών της ατμοσφαιρικής πίεσης, κινούνται και αποτέλεσμα αυτής της κίνησης είναι ο άνεμος. Στοιχεία που προσδιορίζουν τον άνεμο είναι η διεύθυνση και η ταχύτητά του. Δυο βασικά φαινόμενα συντελούν στη δημιουργία των ανέμων, η ηλιακή ακτινοβολία και η περιστροφή της γης. Λόγω της θέσης της ως προς τον ήλιο, η γη είναι πιο ζεστή γύρω από τον ισημερινό παρά κοντά στους πόλους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να πνέουν ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι από τους πόλους προς τον ισημερινό για να

αντικαταστήσουν το θερμό αέρα μικρότερης πυκνότητας των τροπικών ζωνών που ανεβαίνει σε ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα και από εκεί κινείται προς τους πόλους. Επίσης η περιστροφή της γης επιδρά στις κινήσεις της ατμόσφαιρας. Η αδράνεια τείνει να στρέψει τον ψυχρό αέρα που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της γης προς τα δυτικά και τον θερμό των ανωτέρω στρωμάτων προς τα ανατολικά. Ενώ θεωρητικά ο άνεμος πνέει από τις ζώνες υψηλής πίεσης προς τις ζώνες χαμηλής πίεσης, στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά μήκη η διεύθυνση του ανέμου, επηρεαζόμενη από την περιστροφή της γης, γίνεται παράλληλη με τις ισοβαρείς αντί να είναι κάθετη προς αυτές. Έτσι στο βόρειο ημισφαίριο ο άνεμος περιστρέφεται γύρω από τις περιοχές χαμηλής πίεσης με φορά αντίθετη αυτής των δεικτών του ρολογιού και γύρω από τις περιοχές υψηλής πίεσης με φορά αυτή των δεικτών του ρολογιού. Στο νότιο ημισφαίριο οι διευθύνσεις περιστροφής είναι αντίθετες.

Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου από τον άνθρωπο αποτελεί μία πρακτική που βρίσκει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι τα ιστιοφόρα και οι ανεμόμυλοι. Σήμερα, για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες (Α/Γ).

Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Οι Α/Γ χρησιμοποιούνται για την πλήρη κάλυψη ή και τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών. Το παραγόμενο από τις ανεμογεννήτριες ηλεκτρικό ρεύμα είτε καταναλώνεται επιτόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις Α/Γ, όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή.

Η αιολική ενέργεια είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η εκμετάλλευση του υψηλού της δυναμικού, σε συνδυασμό με τη ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών που ενσωματώνεται στις σύγχρονες αποδοτικές ανεμογεννήτριες, έχει τεράστια σημασία για τη βιώσιμη ανάπτυξη, την εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

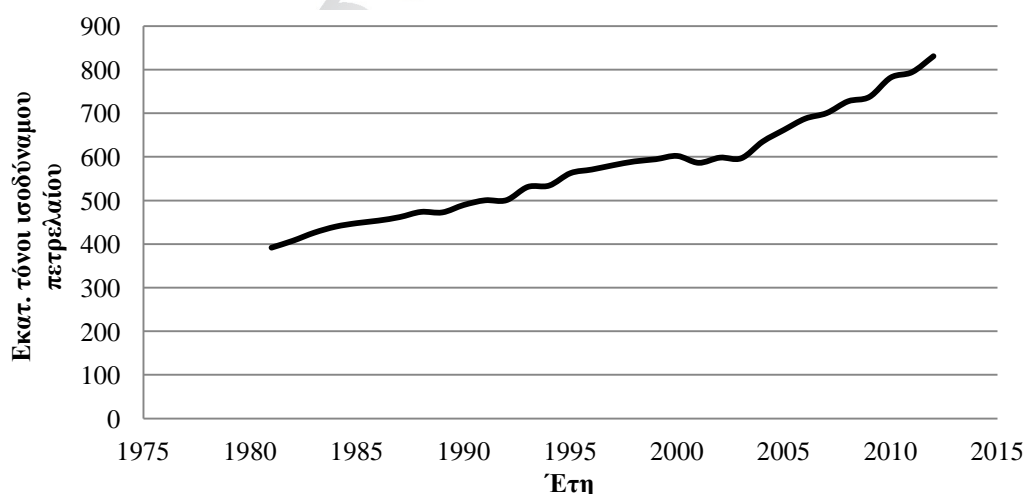
3.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια^{27.g}

Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια (Υ/Ε) είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής του στροβίλου, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το σύνολο των έργων και εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ).

Η δέσμευση/αποθήκευση ποσοτήτων ύδατος σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες, για ένα Υδροηλεκτρικό Σταθμό, ισοδυναμεί πρακτικά με αποταμίευση Υδροηλεκτρικής Ενέργειας. Η προγραμματισμένη αποδέσμευση αυτών των ποσοτήτων ύδατος και η εκτόνωσή τους στους υδροστροβίλους οδηγεί στην ελεγχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με δεδομένη την ύπαρξη κατάλληλων υδάτινων πόρων και τον επαρκή εφοδιασμό τους με τις απαραίτητες βροχοπτώσεις, η Υ/Ε καθίσταται μια σημαντικότερη εναλλακτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Τα περιβαλλοντικά οφέλη ενός Υδροηλεκτρικού Σταθμού είναι ποικίλα. Ακόμα και το μειονέκτημα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων εξ αιτίας των μεγάλης κλίμακας έργων, τα οποία ένα μεγάλο υδροηλεκτρικό έργο προϋποθέτει, με μια καλοσχεδιασμένη μελέτη, μπορεί να μετατραπεί σε πλεονέκτημα.

Σε παγκόσμια κλίμακα η κατανάλωση υδροηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει συνεχή άνοδο όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 11: Παγκόσμια κατανάλωση υδροηλεκτρικής ενέργειας για το χρονικό διάστημα 1980-2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

3.4 Η Ενέργεια της Θάλασσας²⁷

Η θάλασσα, η οποία αποτελεί ανεξάντλητη αλλά ταυτόχρονα ανεκμετάλλευτη πηγή ενέργειας, παρέχει τρεις τομείς ενεργειακής εκμετάλλευσης:

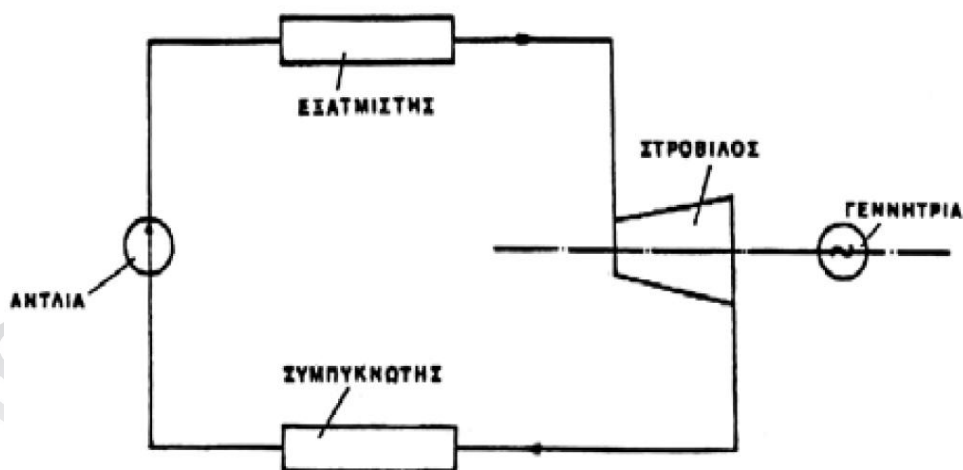
- ✓ τη θερμική ενέργεια των ωκεανών,
- ✓ την ενέργεια των κυμάτων,
- ✓ την ενέργεια των παλιρροιών.

- Η θερμική ενέργεια των ωκεανών

Το σύστημα μετατροπής της θερμικής ενέργειας των ωκεανών σε ηλεκτρισμό (σύστημα Otec), είναι μια θερμική μηχανή που αποτελείται από έναν εξατμιστή και ένα συμπυκνωτή. Ο εξατμιστής βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας, χρησιμοποιεί θερμό θαλάσσιο νερό (περίπου 26°C) για να εξατμίσει ένα υγρό (π.χ. προπάνιο, αμμωνία ή φρέον) με σημείο βρασμού πολύ χαμηλότερο του νερού και ο ατμός που παράγεται στον εξατμιστή κινεί το στρόβιλο, που με τη σειρά του θέτει σε λειτουργία μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Στη συνέχεια, ο ατμός διοχετεύεται στο συμπυκνωτή, που βρίσκεται βαθύτερα, όπου με τη βοήθεια του ψυχρού θαλάσσιου νερού (4,4°C σε 1.000m βάθος) ξαναγίνεται υγρό και αντλείται στην επιφάνεια για να επαναληφθεί ο προηγούμενος κύκλος.

Οι καλύτερες περιοχές για εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας των κυμάτων είναι οι τροπικές θάλασσες στη ζώνη μεταξύ 20° Βόρειου και 20° Νότιου πλάτους.



Σχήμα 12: Εκμετάλλευση θερμικής ενέργειας των ωκεανών (σύστημα Otec)

(Πηγή: [Χριστοφής Ι Κορωναίος, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, 2012](#))

- Η ενέργεια των κυμάτων

Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα που δημιουργούνται από την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας, έχει ως κύριο πρόβλημα την εύρεση κατάλληλου μηχανισμού για να γίνει δυνατή η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιήθηκαν μέχρι σήμερα είχαν μικρή παραγόμενη ισχύ. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιήθηκαν ή προτάθηκαν μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες (α) στους μηχανισμούς που λειτουργούν κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και (β) σε αυτούς που λειτουργούν στην επιφάνεια της θάλασσας.

- Η ενέργεια των παλίρροιών

Η παλίρροια, το φαινόμενο της περιοδικής διακύμανσης της στάθμης της θάλασσας, περιλαμβάνει δύο εναλλασσόμενες φάσεις:

- ✓ την πλημμυρίδα (άνοδος της στάθμης) και
- ✓ την άμπωτη (κάθοδος της στάθμης).

Δημιουργείται από την έλξη της σελήνης και του ήλιου πάνω στη μάζα της θάλασσας. Ο ήλιος ασκεί τρεις φορές μικρότερη έλξη από τη σελήνη, επειδή η απόστασή του από τη γη είναι πάρα πολύ μεγάλη. Οι μεγαλύτερες παλίρροιες παρουσιάζονται όταν η σελήνη και ο ήλιος βρίσκονται στην ίδια ευθεία (κατά προσέγγιση) με τη γη, ενώ οι μικρότερες παλίρροιες εμφανίζονται όταν ο ήλιος και η σελήνη σχηματίζουν γωνία 90° με τη γη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι και τα μετεωρολογικά φαινόμενα επιδρούν στις παλίρροιες. Οι τιμές του εύρους των παλίρροιών σε ανοικτή θάλασσα κυμαίνονται γύρω στο 1m. Στη Μεσόγειο φτάνουν μόλις τα 60cm κατά μέσο όρο, ενώ στις ακτές των ωκεανών και ιδιαίτερα στο βάθος των επιμηκών κόλπων φθάνει πολλές φορές και τα 20m.

Η χρησιμοποίηση της ενέργειας των παλίρροιών είναι εύκολη, από θεωρητική τουλάχιστον σκοπιά.

3.5 Βιομάζα²⁷

Ο όρος βιομάζα δεν είναι ακριβής χημικός όρος και χρησιμοποιείται συνήθως για να υποδηλώσει τις εξής κατηγορίες υλικών:

- ✓ Υποπροϊόντα και κατάλοιπα φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, (άχυρα, φύλλα, στελέχη, κοπριά, θάμνοι, καρποί).
- ✓ Παραπροϊόντα της βιομηχανικής επεξεργασίας των προϊόντων αυτών (φλούδες, πυρήνες, πίττες, απόβλητα σφαγείων, τυρόγαλα, απόβλητα χαρτοποιίας, απόβλητα βιομηχανίας επεξεργασίας ξύλου).
- ✓ Αστικά απόβλητα, στερεά (σκουπίδια) και υγρά (λύματα).

- ✓ Προϊόντα φυσικών δασών και ειδικών φυτειών δασικού ή γεωργικού τύπου με στόχο την παραγωγή ενέργειας (ενεργειακές φυτείες).

Πρόκειται δηλαδή για υλικά φυτικής ή ζωικής προέλευσης που αντιμετωπίζονται ως ενεργειακοί πόροι.

Η βιομάζα σχηματίζεται από τη φωτοσυνθετική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας και αφθονεί στον πλανήτη μας. Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο εκτιμάται σε $1,72 \cdot 10^{11}$ τόνους ξηρής ύλης με ενεργειακό περιεχόμενο $1,4 \cdot 10^{11}$ τόνο ισοδύναμου πετρελαίου. Η ενέργεια αυτή είναι δεκαπλάσια από την ενέργεια που καταναλώνεται σε ολόκληρο τον κόσμο και είναι ίση με τα γνωστά αποθέματα ορυκτών καυσίμων. Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος ανεκμετάλλευτο.

Μια άλλη σημαντική ιδιομορφία της βιομάζας είναι ότι οι περισσότερες μορφές της είναι κατάλοιπα – παραπροϊόντα, απόβλητα, της εν γένει δραστηριότητας του ανθρώπου και η αντιμετώπισή τους σαν ενεργειακός πόρος εντάσσεται σε ένα ευρύτερο και από πολλές πλευρές σημαντικότερο πεδίο, αυτό της προστασίας του περιβάλλοντος.

Η βιομάζα είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι το νερό και ο άνθρακας που είναι άφθονα στη φύση.

Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι είναι ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και ότι παρέχει αποθηκευμένη χημική ενέργεια. Η αξιοποίησή της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Επίσης στο ενεργητικό της καταλογίζεται και ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντικά προβλήματα.

Από την άλλη, ως μορφή ενέργειας, η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο (σε σύγκριση με πετρέλαιο και κάρβουνο) λόγω χαμηλής πυκνότητας και υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κλπ., ιδιότητες που συνεπάγονται δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Σαν συνέπεια το κόστος μετατροπής της σε μορφές ενέργειας κατάλληλες για πιο εύκολη και ευρεία χρησιμοποίηση παραμένει αρκετά υψηλό.

Αξιοποίηση της βιομάζας

Η βιομάζα για να αξιοποιηθεί ως πηγή ενέργειας πρέπει συνήθως να μετατραπεί σε μορφή κατάλληλη για τελική χρήση. Οι μέθοδοι μετατροπής διακρίνονται σε θερμοχημικές (ξηρές) και βιοχημικές (υγρές). Η επιλογή της μεθόδου μετατροπής προσδιορίζεται από τα βασικά στοιχεία, που είναι η σχέση άνθρακα/αζώτου (C/N) και η περιεχόμενη υγρασία των υπολειμμάτων την ώρα της συλλογής.

Οι θερμοχημικές διεργασίες χρησιμοποιούνται για τα είδη της βιομάζας με σχέση C/N > 30 και υγρασία < 50 %, δηλαδή για τα προϊόντα και τα υπολείμματα της κυτταρίνης. Στις διεργασίες αυτές περιλαμβάνονται:

- ✓ η πυρόλυση (θέρμανση απουσία οξυγόνου),
- ✓ η απευθείας καύση,
- ✓ η αεριοποίηση (θέρμανση παρουσία περιορισμένων ποσοτήτων οξυγόνου ή αέρα με σκοπό τη μέγιστη απελευθέρωση CO και H₂O) και
- ✓ η υδρογονοδιάσπαση (αντίδραση H₂ με τη βιομάζα προς παραγωγή μεθανίου και αιθανίου).

Οι βιοχημικές διεργασίες ονομάζονται έτσι επειδή είναι αποτέλεσμα μικροβιακής δράσης. Χρησιμοποιούνται για τα είδη της βιομάζας με σχέση C/N < 30 και υγρασία > 50 %, δηλαδή για προϊόντα και υπολείμματα κυρίως λαχανικών, κτηνοτροφικά απόβλητα, κλπ. Στις βιοχημικές διεργασίες περιλαμβάνονται:

- ✓ Η αερόβια ζύμωση (βιοχημική διεργασία, κατά την οποία αερόβιοι μικροοργανισμοί παρουσία αέρα, μετασχηματίζουν το οργανικό φορτίο των αποβλήτων κυρίως σε νέους μικροοργανισμούς).
- ✓ Η αναερόβια ζύμωση (βιοχημική διεργασία, κατά την οποία αναερόβιοι μικροοργανισμοί σε περιβάλλον ελλειμματικό σε οξυγόνο μετασχηματίζουν το οργανικό φορτίο των αποβλήτων σε αέρια προϊόντα, κυρίως μεθάνιο, και διοξείδιο του άνθρακα).
- ✓ Η αλκοολική ζύμωση (διάσπαση της γλυκόζης παρουσία ζαχαρομυκήτων και σχηματισμός αιθυλικής αλκοόλης).

Η πολυμορφία της βιομάζας επιβάλλει να γίνει κάποιου είδους ταξινόμηση των διαφόρων μορφών της που να βοηθά στην καλύτερη εξέτασή της. Με βάση την πηγή προέλευσης οι βασικότερες κατηγορίες βιομάζας είναι οι παρακάτω:

- ✓ κτηνοτροφικά απόβλητα,
- ✓ γεωργικά παραπροϊόντα,
- ✓ δασική βιομάζα και
- ✓ αστικά απορρίμματα

Το μέλλον της Βιομάζας²⁹

Η βιομάζα έχει τη δυνατότητα να συνεισφέρει σε σημαντικό βαθμό στην ενεργειακή κατανάλωση με οικονομικά και αειφόρο τρόπο. Συγχρόνως, μπορεί να βοηθήσει διάφορες χώρες να καλύψουν τους στόχους τους για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου.

Για τις βιομηχανικές χώρες οι κύριες τεχνολογίες της βιομάζας που αναμένεται να εφαρμόζονται στο μέλλον είναι η άμεση καύση φυτικών υπολειμμάτων και απορριμμάτων, η παραγωγή βιοαιθανόλης και βιοντίζελ και η συμπαραγωγή

θερμότητας και ηλεκτρικής ισχύος από ενεργειακές φυτείες. Το μέλλον της παραγωγής ηλεκτρισμού έγκειται στην ολοκλήρωση των συστημάτων με την τεχνολογία των αεριοστροβίλων, που δίνουν αυτή τη στιγμή τις υψηλότερες αποδόσεις.

Αναφορικά με τις αναπτυσσόμενες χώρες εκτιμάται ότι το 2050 ποσοστό 90% του παγκόσμιου πληθυσμού θα κατοικεί σε αυτές τις χώρες. Επειδή σε αυτές τις χώρες η βιομάζα παίζει και θα συνεχίσει να παίζει σημαντικό ρόλο (για θέρμανση και μαγείρεμα), είναι σημαντικό να ενισχυθούν οι προσπάθειες για περισσότερο αποδοτική παραγωγή και μετατροπή της βιομάζας.

3.6 Γεωθερμική ενέργεια²⁷

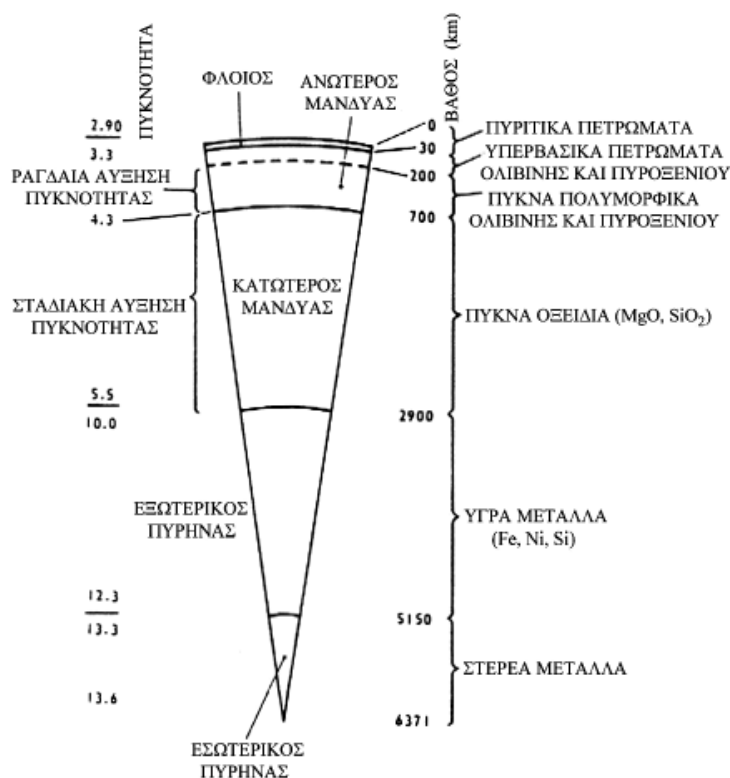
Η γη είναι ζεστή στο εσωτερικό της και η αύξηση της θερμοκρασίας της συναρτηθεί του βάθους σε κανονικές συνθήκες είναι περίπου σταθερή και ονομάζεται γεωθερμική βαθμίδα. Η φυσιολογική τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας στα πρώτα χιλιόμετρα της λιθόσφαιρας κυμαίνεται από 20 έως 50°C/km, ενώ η μέση τιμή της θεωρείται 33°C/km.

Η φυσική θερμική ενέργεια της γης η οποία, σύμφωνα με το φυσικό νόμο μετάδοσης της θερμότητας, μεταφέρεται από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς τη ψυχρότερη επιφάνεια, είτε με θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων, είτε με κατακόρυφη κίνηση ρευστών, ονομάζεται γεωθερμία. Το μεγαλύτερο μέρος της γεωθερμίας μεταδίδεται με ρυθμό 0,04 – 0,06 W/m².

Τα ηφαιστειακά και υδροθερμικά φαινόμενα από την άλλη μεριά, μεταδίδουν θερμότητα με ρεύματα μεταφοράς, αλλά προορίζονται στις ζώνες κοντά στα σύνορα των λιθόσφαιρικών πλακών. Στην περίπτωση αυτή λαμβάνει χώρα ροή θερμότητας με τιμές πολλαπλάσιες της μέσης γήινης. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί «γεωθερμική ανωμαλία» και η περιοχή χαρακτηρίζεται ως «γεωθερμικό πεδίο».

Η θερμότητα του εσωτερικού της γης οφείλεται στην αστρική προέλευση της γης με τη συνδρομή της ραδιενεργού μεταστοιχείωσης μερικών υλικών της. Ο πυρήνας της υπολογίζεται ότι έχει θερμοκρασία περίπου 4.000°C και ο μανδύας 1.200 – 1.500°C.

Από το ανώτερο τμήμα του μανδύα προέρχεται το λιωμένο πέτρωμα (μάγμα) που φθάνει μερικές φορές στην επιφάνεια της γης, δημιουργώντας τις εντυπωσιακές ηφαιστειακές εκρήξεις. Το υλικό που φθάνει στην επιφάνεια (μίγμα λειωμένων υλικών του μανδύα και της υπερκείμενης λιθόσφαιρας, αερίων και μερικών στερεοποιημένων πετρωμάτων) έχει θερμοκρασίες μεταξύ 600 και 1.100°C (ανάλογα με τη χημική σύσταση). Έτσι μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας, που σπάνια διαχέονται στην ατμόσφαιρα και την επιφάνεια, με την έκρηξη. Συνήθως εγκλωβίζονται σε μικρό βάθος και κινητοποιούν μεγάλες ποσότητες υπεδαφικών ρευστών που θερμαίνονται ως τους 400°C και παραπάνω.



Σχήμα 13: Σχηματική τομή του εσωτερικού της γης

(Πηγή: [Χριστοφής Ι Κορωνάιος, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, 2012](#))

Ενεργειακές βαθμίδες και τύποι γεωθερμικών πεδίων

Ανάλογα με το ενεργειακό περιεχόμενο του γεωθερμικού ρευστού (ενθαλπία – θερμοκρασία και πίεση) διακρίνονται τρεις βαθμίδες γεωθερμικής ενέργειας οι οποίες είναι οι εξής:

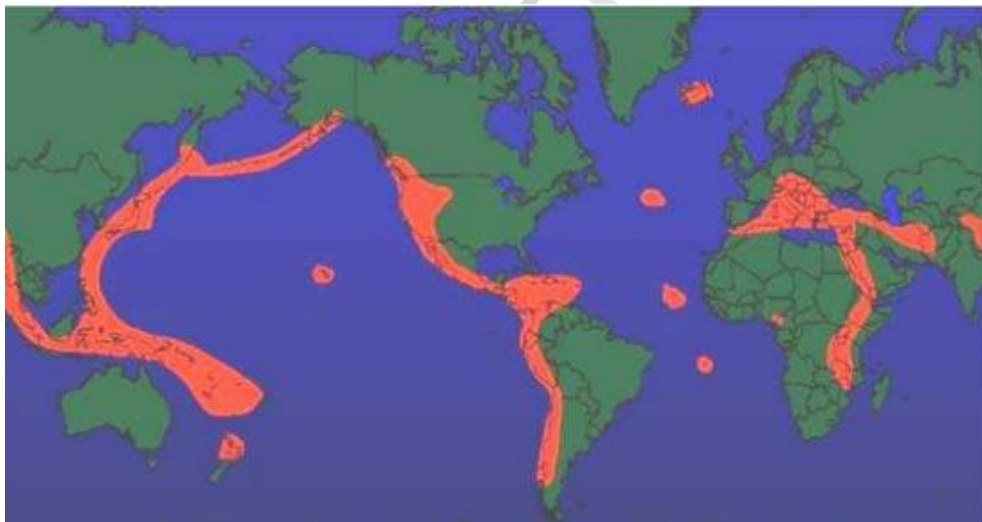
- Γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας: Σαν υψηλής ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150 °C, που είναι είτε υπέρθερμοι (ξηροί) ατμοί, είτε υγροί ατμοί (μίγμα ατμών και νερού). Χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Γεωθερμία μέσης ενθαλπίας: Σαν μέσης ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά θερμοκρασίας μεταξύ 80 και 150 °C. Χρησιμοποιούνται μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού με την χρησιμοποίηση ενδιάμεσου κλειστού κυκλώματος με εργαζόμενο μέσο, ουσία που σε κανονικές συνθήκες έχει χαμηλό σημείο ζέσης, π.χ. φρέον ή ισοβουτάνιο.
- Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας: Σαν χαμηλής ενθαλπίας χαρακτηρίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία από 25 έως 80 °C. Είναι άφθονα σε πολλές

περιοχές της γης και σε οικονομικά βάθη, αρκεί να υπάρχει ικανοποιητικός υπόγειος υδροφόρος σε κατάλληλο βάθος.

Τα γεωθερμικά πεδία παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία και πολλές ιδιαιτερότητες που οφείλονται στη θέση της πηγής θερμότητας, στα γεωλογικά χαρακτηριστικά του εδάφους, στους υδροφόρους ορίζοντες, κλπ.

Η γεωθερμία στον κόσμο^{30,31}

Το ποσό της γεωθερμικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένο στα ανώτερα 5 km του φλοιού της γης ισοδυναμεί με περίπου 40 εκ. φορές τα παγκόσμια αποθέματα αργού πετρελαίου, αλλά λόγω της διασποράς και του γεγονότος ότι μεγάλο ποσοστό είναι σε χαμηλές θερμοκρασίες, μόνο ένα απειροελάχιστο μέρος είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμο. Οι πιο πυκνές και ρηχές συγκεντρώσεις γεωθερμικής ενέργειας βρίσκονται κατά μήκος της δυτικής ακτής της Αμερικάνικης Ηπείρου και της Καραϊβικής, στα νησιά του ρήγματος του Ατλαντικού, στη ζώνη Άλπεων - Ιμαλαΐων, στην ανατολική Αφρική και δυτική Αραβία, στην κεντρική Ασία και στη ζώνη του ανατολικού Ειρηνικού.



Εικόνα 5: Απεικόνιση των θερμότερων γεωθερμικών περιοχών στον κόσμο

(Πηγή: <http://hellenicgeothermal.com/how.html>)

Η γεωθερμική ενέργεια αν και αποτελεί την τρίτη σημαντικότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στον κόσμο, προβάλλεται λιγότερο από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης σε σχέση με την αιολική ή την ηλιακή ενέργεια. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έδωσε ώθηση στην εκμετάλλευση του σημαντικού αυτού ενεργειακού πόρου.

Τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας συναντώνται σε πολύ πιο εκτεταμένες περιοχές ανά τον κόσμο και ιδιαίτερα σε μεγάλες ιζηματογενείς λεκάνες και ζώνες ενεργού τεκτονικής. Υπάρχει εκτεταμένη χρήση αυτών, με αυξητικές τάσεις, που προσδιορίζονται κύρια από τα σημαντικά μικρότερα κόσθη επένδυσης και χρήσης

των συστημάτων λειτουργίας, σε σχέση με τη μέση και υψηλή ενθαλπία, καθώς και την πιο προσιτή τεχνολογία που απαιτείται.

Το γεωθερμικό δυναμικό τα τελευταία 15 χρόνια αυξάνεται με συντηρητικούς αλλά κανονικούς ρυθμούς, 5% το έτος για την ηλεκτροπαραγωγή και 10% για την παραγωγή θερμότητας.

Μέχρι σήμερα πάνω από 50 χώρες στον κόσμο έχουν εμπλακεί άμεσα ή έμμεσα στη γεωθερμική έρευνα και εκμετάλλευση (Ισλανδία, Ουγγαρία, χώρες πρώην ΕΣΣΔ, Ιταλία, Η.Π.Α., Γαλλία, Ιαπωνία, Ν. Ζηλανδία, κλπ). Μπορεί να θεωρηθεί πρωτοπόρος η Ισλανδία που καλύπτει πάνω από το 40% των αναγκών της σε πρωτογενή ενέργεια με γεωθερμία. Η θέρμανση χώρων και νερού χρήσης αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό εφαρμογών, που μαζί με τις αντλίες θερμότητας, αντιστοιχούν περίπου στο 45% των χρήσεων στον κόσμο 36%, ενώ ένα σημαντικό ποσοστό 19% ανήκει στις ιαματικές και λουτρικές δραστηριότητες.

Στη γεωθερμία πρωτοπόρο ρόλο έχουν χώρες τεχνολογικά ανεπτυγμένες, όπως οι Η.Π.Α, η Ιταλία και η Ιαπωνία. Η Ιαπωνία κατέχει την κορυφαία θέση στη βιομηχανία γεωθερμικού εξοπλισμού στον κόσμο. Οι ιαπωνικές εταιρείες ελέγχουν περίπου το 70% της παγκόσμιας αγοράς, όσον αφορά την γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή.

3.7 Πολιτικό πλαίσιο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας^{29, 32,}

- **Η «Λευκή Βίβλος» της Ε.Ε.**

Η προώθηση των Α.Π.Ε. έχει αποτελέσει βασικό στόχο της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ. Στη Λευκή Βίβλο του 1997 για την κοινοτική στρατηγική και το σχέδιο δράσης «Ενέργεια για το μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε ένα φιλόδοξο ποσοτικά προσδιορισμένο στόχο για τις Α.Π.Ε.. Σε αυτό ορίζεται ως ενδεικτικός στόχος η συμμετοχή των Α.Π.Ε. στο 12% της συνολικής εγχώριας ενεργειακής κατανάλωσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το 2010. Η σημασία των Α.Π.Ε. στο πλαίσιο της ενεργειακής πολιτικής της Ευρώπης αντανάκλαται επίσης στον τομέα της έρευνας. Ενώ αρχικά στόχος της ενεργειακής πολιτικής της Ευρωπαϊκή Ένωση ήταν η μείωση της εξάρτησής της από την εισαγωγή ενέργειας μέσω της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και της αύξησης της ενεργειακής απόδοσης, μετά τη Σύμβαση του Ρίο ντε Τζανέιρο το 1992 για τη μείωση των εκπομπών CO₂ δόθηκε έμφαση στην προστασία του περιβάλλοντος. Το 1996 στην Πράσινη Βίβλο με τίτλο «Ενέργεια για το μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανέφερε τα κριτήρια που αφορούσαν στη δημιουργία θέσεων απασχόλησης, την περιφερειακή ανάπτυξη και την τόνωση των εξαγωγών ως πρόσθετους στόχους.

Σήμερα η Ευρωπαϊκή Ένωση (καλύτερα ορισμένες χώρες) διαθέτει στον τομέα των Α.Π.Ε. ένα ισχυρό δυναμικό, το οποίο όμως το εκμεταλλεύεται κατά τρόπο άνισο και ανεπαρκή. Η αναλογία των Α.Π.Ε. στη συνολική εγχώρια κατανάλωση ποικίλλει σημαντικά από χώρα σε χώρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρισμού από Α.Π.Ε., η αναλογία της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι περίπου 91%, της βιομάζας 6,5% και της αιολικής ενέργειας 1,5%. Η αναλογία άλλων πηγών είναι μικρότερη από 1%.

Η περαιτέρω ανάπτυξη των Α.Π.Ε. στην Ευρωπαϊκή Ένωση θα συμβάλει:

- ✓ στον περιορισμό των εκπομπών CO₂ και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου,
- ✓ στη μείωση της εξάρτησης από τις εισαγωγές συμβατικής ενέργειας,
- ✓ σε μεγαλύτερη ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού,
- ✓ στην ενίσχυση της στρατηγικής της αειφόρου ανάπτυξης και
- ✓ στην τοπική και περιφερειακή οικονομική ανάπτυξη καθώς και στην κοινωνικοοικονομική συνοχή.

Ο συνολικός στόχος που έχει καθορίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση απαιτεί ισχυρή συμμετοχή των κρατών- μελών τα οποία οφείλουν να ενθαρρύνουν τη διάδοση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναλόγως του δυναμικού που διαθέτουν. Ο καθορισμός στόχων σε κάθε κράτος θα τόνωνε τις προσπάθειες για:

- ✓ αύξηση της εκμετάλλευσης του διαθέσιμου δυναμικού,
- ✓ βελτίωση της συμβολής στη μείωση του CO₂,
- ✓ ανάπτυξη των εθνικών βιομηχανιών και
- ✓ δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.

Για την επίτευξη του συνολικού στόχου είναι απαραίτητες σημαντικές επενδύσεις. Από την αύξηση της χρήσης των Α.Π.Ε. αναμένονται σημαντικά οικονομικά οφέλη και διαγράφονται σημαντικές εξαγωγικές διέξοδοι λόγω της δυνατότητας της Ευρωπαϊκής Ένωση να προμηθεύσει εξοπλισμό και τεχνικοοικονομικές υπηρεσίες. Αναμένεται επίσης:

- ✓ να δημιουργηθούν 500.000 έως 900.000 θέσεις εργασίας,
- ✓ να εξοικονομούνται, από το 2010, 3 δισεκατομμύρια € ετησίως από τις δαπάνες για συμβατικά καύσιμα,
- ✓ να μειωθούν οι εισαγωγές καυσίμων κατά 17,4% και
- ✓ να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ κατά 402 εκατομμύρια τόνους ετησίως το 2010.

Στόχος του σχεδίου δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωση είναι να δοθούν στις Α.Π.Ε. ισότιμες δυνατότητες στις αγορές χωρίς υπερβολικούς οικονομικούς περιορισμούς. Για το σκοπό αυτό τέθηκαν οι εξής προτεραιότητες:

- ✓ η χωρίς διακρίσεις πρόσβαση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας,
- ✓ φορολογικά και οικονομικά μέτρα,

- ✓ νέες πρωτοβουλίες στον τομέα της βιοενέργειας για τις μεταφορές, την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας και, ιδίως, ειδικά μέτρα για την αύξηση του μεριδίου αγοράς των βιοκαυσίμων (π.χ. στο 2% του ενεργειακού περιεχομένου από το τέλος του 2005), για την προώθηση του βιοαερίου και για την ανάπτυξη των αγορών στερεής βιομάζας και
- ✓ διείσδυση των Α.Π.Ε. (όπως η παθητική ηλιακή ενέργεια) στον κατασκευαστικό κλάδο, τόσο για την ανακαίνιση κτηρίων όσο και για τον εξοπλισμό νέων κτηρίων.

- **Το Πρωτοκόλλο του Κιότο**

Η εισαγωγή του Πρωτοκόλλου του Κιότο στο διεθνές δίκαιο υπήρξε ένα απαραίτητο πρώτο βήμα ενάντια στην αλλαγή του κλίματος. Η Συνθήκη αυτή είναι η μόνη συμφωνία παγκοσμίως για τον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου. Είναι επίσης η βάση για την ολοένα και πιο αποδοτική δράση διεθνώς ενάντια στην αλλαγή του κλίματος για τις προσεχείς δεκαετίες.

Αυτό επιχειρείται να γίνει με τον πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο, ώστε να μην επιβαρυνθεί η παγκόσμια οικονομία. Έτσι, το Πρωτόκολλο του Κιότο περιλαμβάνει τρεις ευέλικτους μηχανισμούς:

- ✓ την εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών,
- ✓ την κοινή εφαρμογή και
- ✓ το μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005, ύστερα από την υπογραφή του από τη Ρωσία. Οι Η.Π.Α. αρνούνται συστηματικά να υπογράψουν το Πρωτόκολλο, παρόλο που αποτελούν τον μεγαλύτερο ρυπαντή παγκοσμίως.

Εν συντομία το Πρωτόκολλο του Κιότο:

- ✓ Εφαρμόζει τη Σύμβαση-Πλαίσιο του Ο.Η.Ε. για την Αλλαγή του Κλίματος (UNFCCC).
- ✓ Ορίζει δεσμευτικούς στόχους για μειώσεις των αερίων του θερμοκηπίου περίπου 5% κάτω από τα επίπεδα του 1990 μεταξύ 2008-2012.
- ✓ Συμφωνήθηκε στη Συνδιάσκεψη των Μελών της Σύμβασης – Πλαίσιο τον Δεκέμβριο του 1997 στο Κιότο της Ιαπωνίας.

Έχει επικυρωθεί συνολικά από 168 κράτη μέχρι σήμερα. Στην ομάδα αυτή συμμετέχουν ανεπτυγμένα κράτη, των οποίων οι εκπομπές αντιστοιχούν περίπου στο 61,6% των συνολικών εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

Οι βιομηχανικές χώρες δεσμεύονται να μειώσουν, στη διάρκεια της περιόδου 2008-2012, τις εκπομπές των έξι αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, CH₄, N₂O,

υδροφθοράνθρακες - HFCs, πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες - PFCs, εξαφθοριούχο θείο - SF₆) τουλάχιστον κατά 5% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990.

Κάθε κράτος ανέλαβε διαφορετικό ποσοστό μείωσης εκπομπών στο πλαίσιο του γενικού στόχου. Για να επιτευχθεί ο γενικός στόχος δημιουργήθηκε μια σειρά από «ευέλικτους μηχανισμούς», όπως το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών, ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης και η από κοινού υλοποίηση. Επίσης, κάθε χώρα μπορεί να αφαιρεί από το ποσοστό-στόχο της το CO₂ που απορροφάται από τις λεγόμενες «καταβόθρες CO₂», όπως είναι τα δάση και η καλλιεργήσιμη γη.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι χώρες που συμμετείχαν στο Πρωτόκολλο του Κιότο. Συγκεκριμένα με πράσινο χρώμα δηλώνονται οι χώρες που υπέγραψαν και επικύρωσαν το πρωτόκολλο, με κίτρινο όσες το υπέγραψαν και αναμένεται η επικύρωσή του, με κόκκινο οι χώρες που το υπέγραψαν αλλά δεν το επικύρωσαν και με γκρι χρώμα οι χώρες που δεν έχουν πάρει θέση.



Εικόνα 6: Παγκόσμια συμμετοχή στο Πρωτόκολλο του Κιότο

(Πηγή: [Η ιστορία του Πρωτοκόλλου του Κιότο](#))

Το Πρωτόκολλο του Κιότο δεν περιέχει δεσμευτικούς στόχους για τις αναπτυσσόμενες χώρες, σε αντιδιαστολή με τις χώρες του λεγόμενου ανεπτυγμένου ή εκβιομηχανισμένου κόσμου. Ωστόσο, παροτρύνονται και αυτές να λάβουν μέτρα για τη μείωση των εκπομπών τους. Αυτό συνάδει με τη συμφωνία ότι οι εκβιομηχανισμένες χώρες, ως η κύρια πηγή του φαινομένου του θερμοκηπίου, θα πρέπει να κάνουν το πρώτο βήμα στον έλεγχο των μειώσεων.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο και η Ευρωπαϊκή Ένωση

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, ο πλέον ένθερμος υποστηρικτής του Πρωτοκόλλου του Κιότο, αποφάσισε να εφαρμόσει πιλοτικά την εμπορία εκπομπών εντός της κοινότητας πριν από την επίσημη έναρξη του διεθνούς συστήματος και να ενσωματώσει το

Πρωτόκολλο του Κιότο στην κοινοτική νομοθεσία μέσα από τις Οδηγίες 2003/87/ΕΚ και 2004/101/ΕΚ. Σύμφωνα με αυτές, η πρώτη περίοδος του ευρωπαϊκού συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών είναι η τριετία 2005-2007, ενώ οι επόμενες περιόδους εμπορίας ταυτίζονται με τις πενταετείς περιόδους που προβλέπονται από το Πρωτόκολλο του Κιότο (2008-2012, 2013-2017, κ.ο.κ.). Τα κράτη μέλη οφείλουν μέσα σε συγκεκριμένα χρονοδιαγράμματα να εκπονήσουν εθνικά σχέδια κατανομής, στα οποία υπάρχει πρόβλεψη, μεταξύ άλλων, για:

- ✓ τη συνολική ποσότητα δικαιωμάτων,
- ✓ την κατανομή σε επίπεδο δραστηριότητας (κατά περίπτωση),
- ✓ την κατανομή σε επίπεδο εγκατάστασης,
- ✓ τη μεθοδολογία κατανομής (μαθηματικοί τύποι, διάφορες ειδικές διατάξεις, κτλ) και
- ✓ τη λίστα των υπόχρεων εγκαταστάσεων.

Πίνακας 5: Ποσοστά μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά χώρα ή ομάδα χωρών, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο

| Χώρες | Προβλεπόμενη μείωση των εκπομπών για την περίοδο 2008-2012 |
|--|---|
| ΕΕ15, Βουλγαρία, Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Ρουμανία, Σλοβακία, Τσεχία | -8% |
| Η.Π.Α. | -7% |
| Καναδάς, Ιαπωνία, Ουγγαρία, Πολωνία | -6% |
| Κροατία | -5% |
| Νέα Ζηλανδία, Ουκρανία, Ρωσία | 0 |
| Νορβηγία | +1% |
| Αυστραλία | +8% |
| Ισλανδία | +10% |

(Πηγή: <http://www.unfccc.int/>)

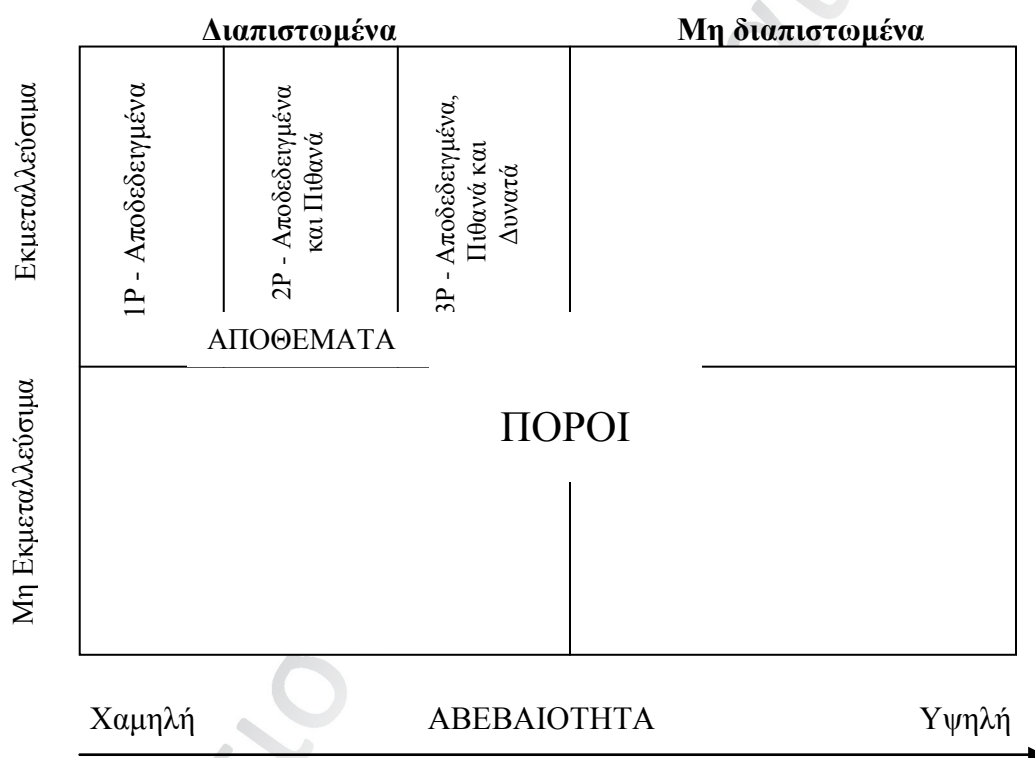
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΖΗΤΗΣΗ - ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ & ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

4.1 Αποθέματα πετρελαίου^{9,33,34}

Τα πετρελαϊκά αποθέματα είναι οι ποσότητες του πετρελαίου σε πεδία που είναι βέβαιο ότι υπάρχουν και τα οποία θεωρούνται τεχνικώς πιθανά και οικονομικώς εφικτά ώστε να εξαχθεί το πετρέλαιο υπό καθορισμένες συνθήκες. Βέβαια τα αποθέματα θα πρέπει να διαχωρίζονται από τους πόρους που αντιπροσωπεύουν τις συνολικές ποσότητες που εκτιμούνται ότι υπάρχουν συμπεριλαμβανομένων των πεδίων που είναι βέβαιο ότι υπάρχει πετρέλαιο αλλά δεν θεωρούνται οικονομικώς εφικτά να αντληθούν και εκείνων των πεδίων που δεν έχουν ακόμη ανακαλυφθεί. Αυτή η διάκριση συχνά απεικονίζεται από το λεγόμενο 'McKelvey Box'.



Σχήμα 14: Σύστημα ταξινόμησης πόρων, 'McKelvey Box'

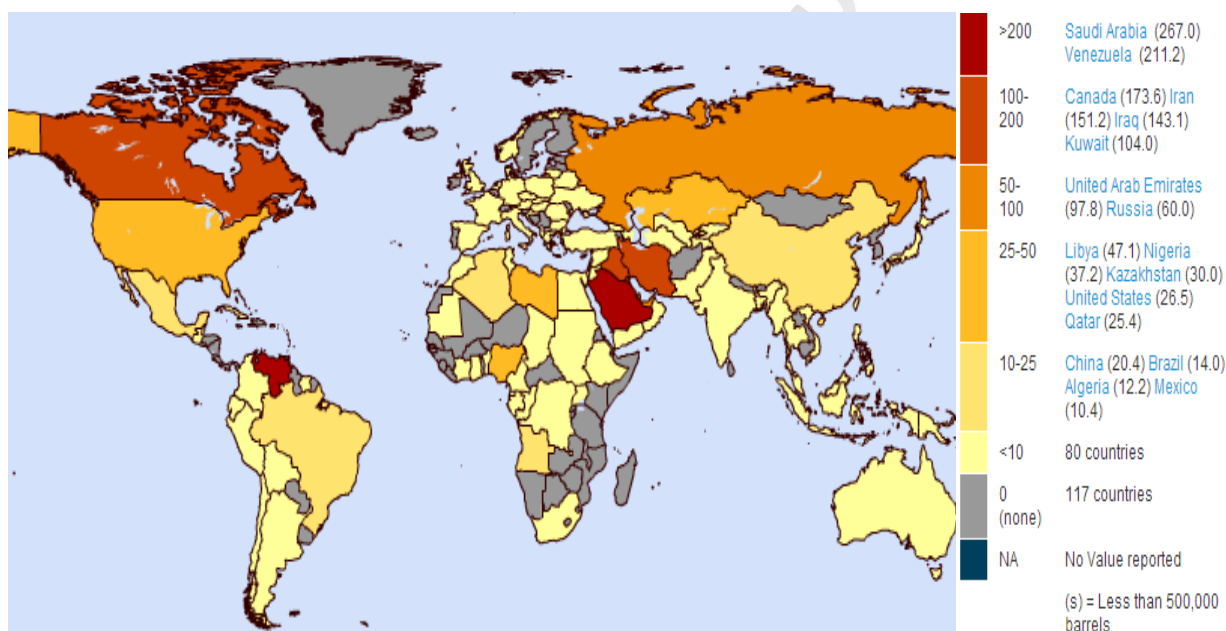
(Πηγή: [McKelvey, V. E. \(1972\). "Mineral resource estimates and public policy." American Scientist, 60, p. 12](#))

Οι εκτιμήσεις των αποθεμάτων του πετρελαίου είναι εγγενώς αβέβαιες, δεδομένου ότι βασίζονται σε πληροφορίες και παραδοχές σχετικά με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά ενός κοιτάσματος πετρελαίου, την τεχνολογία εξόρυξης πόρων και τα οικονομικά της παραγωγής πετρελαίου. Τα πολιτικά και τα χρηματοοικονομικά συμφέροντα είναι η κύρια αιτία που επηρεάζει την ορθή εκτίμηση των αποθεμάτων. Συχνά τα κράτη-μέλη του ΟΠΕΚ μεγεθύνουν τα αποθέματά τους για να έχουν τη δυνατότητα να αυξάνουν την παραγωγή τους υπερβαίνοντας το εμπόδιο των ποσοστάσεων. Επίσης ορισμένα

πετρελαιοπαραγωγικά κράτη απαριθμούν τα αποθέματά τους ίσα με τα αποθέματα των ανταγωνιστών τους, έτσι ώστε να είναι δύσκολη η επιβεβαίωση των αριθμών.

Οι εκτιμήσεις των αποθεμάτων είναι χωρισμένες σε τρία επίπεδα εμπιστοσύνη τα οποία είναι τα εξής:

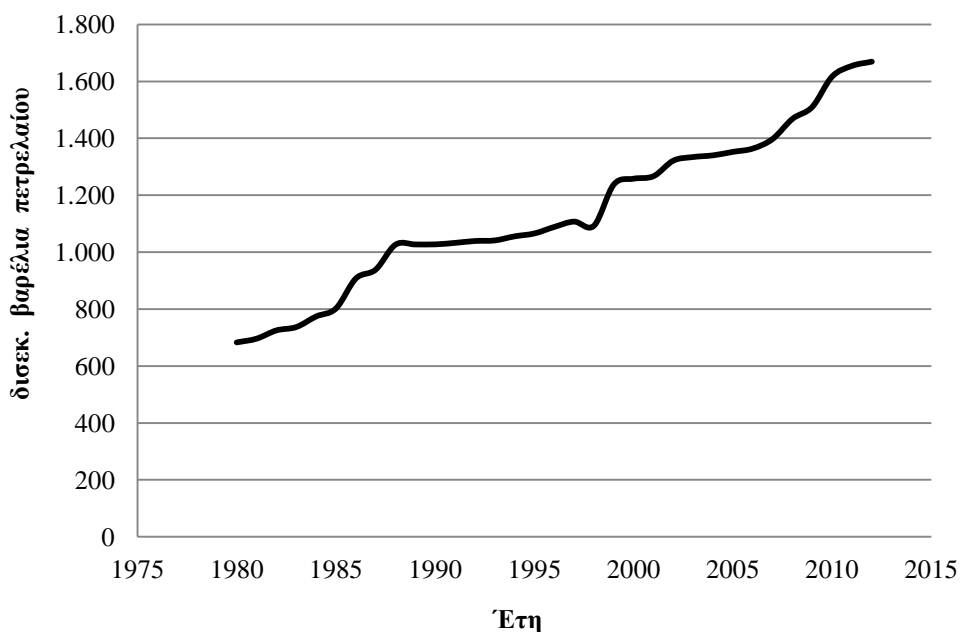
- αποδεδειγμένα αποθέματα (1P),
- αποδεδειγμένα και πιθανά αποθέματα (2P) και
- αποδεδειγμένα, πιθανά και δυνατά αποθέματα (3P)



Εικόνα 7: Απεικόνιση των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου (δισεκατ. βαρέλια) για το 2012

(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](#))

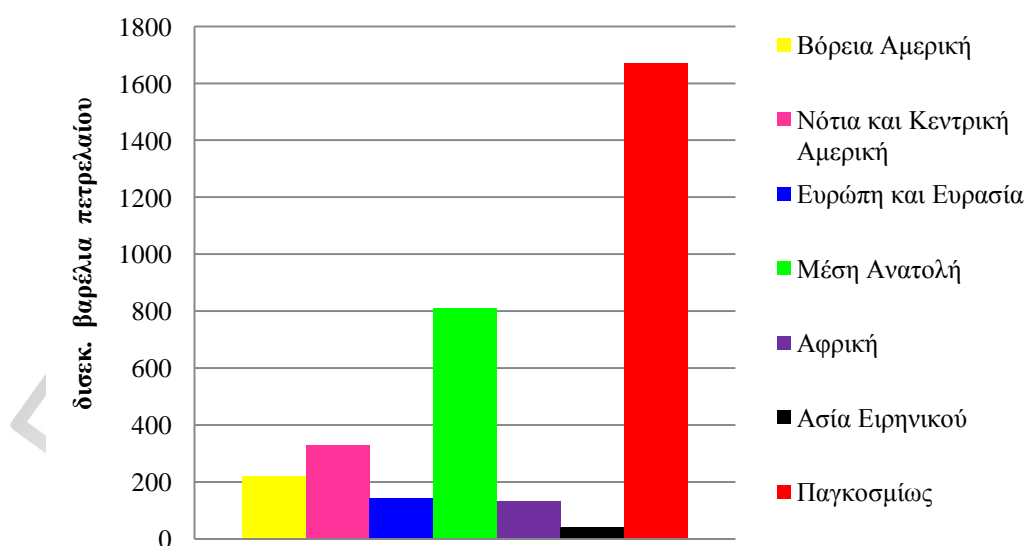
Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση της BP το 2013, τα παγκόσμια αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου στο τέλος του 2012 υπολογίστηκαν στα 1668,9 δισεκ. βαρέλια που αρκούν για να συνεχιστεί η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου για ακόμη 52,9 έτη, όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 15.



Διάγραμμα 12: Παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1980-2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

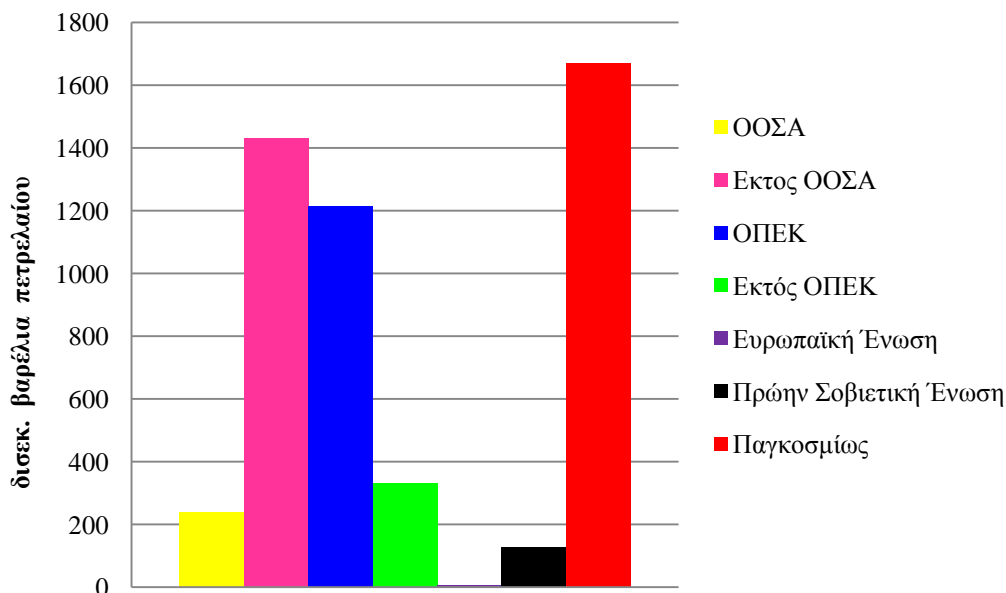
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι τα παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου συνεχώς αυξάνουν, όμως απ το 2010 και έπειτα η κλίση της καμπύλης των παγκόσμιων αποθεμάτων ολοένα και μειώνεται σε σχέση με τα προηγούμενα έτη. Επιπρόσθετα τα παγκόσμια αποθέματα έχουν σχεδόν τριπλασιαστεί από το 1980 παρόλο που η παραγωγή πετρελαίου αυξάνεται (Διάγραμμα10).



Διάγραμμα 13 : Αποθέματα πετρελαίου ανά περιοχή για το έτος 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

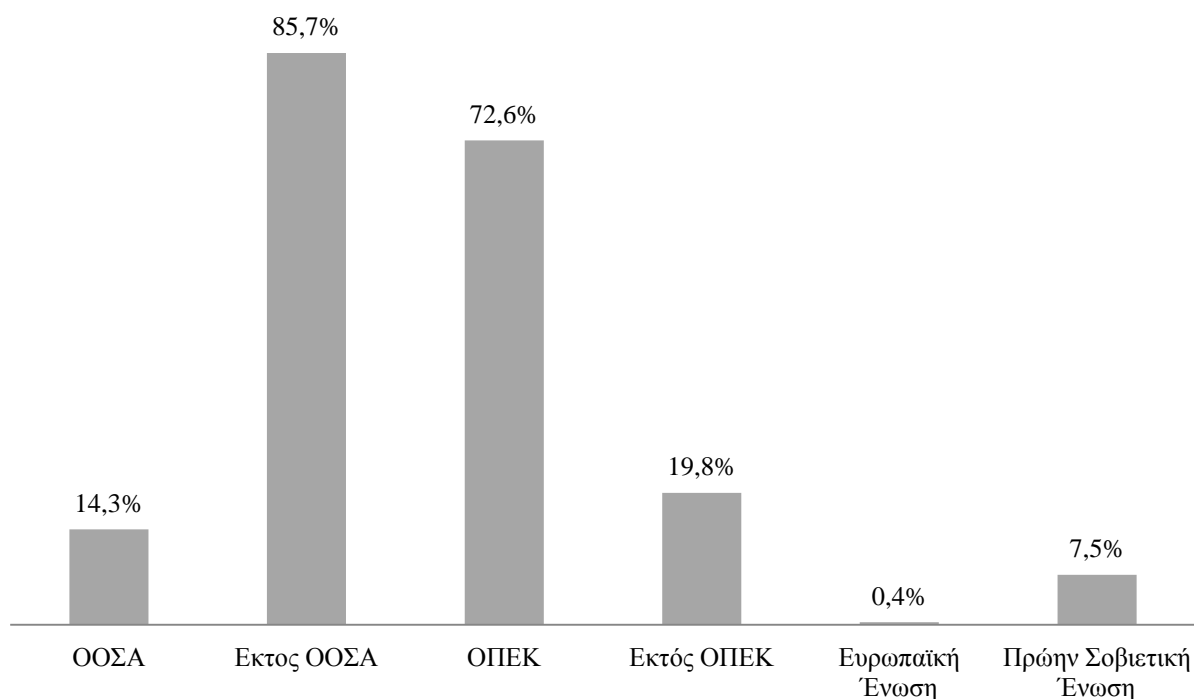
Παρατηρείται στο παραπάνω διάγραμμα πως η Μέση Ανατολή έχει τα περισσότερα αποθέματα πετρελαίου τα οποία ανέρχονται σε 807,7 δισεκ. βαρέλια όπου μετά ακολουθεί η Νότια και Κεντρική Αμερική με 328,4 δισεκ. βαρέλια και την τελευταία θέση καταλαμβάνει η Ασία με 41,5 δισεκ. βαρέλια.



Διάγραμμα 14: Αποθέματα πετρελαίου ανά οργανισμό και ένωση για το έτος 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Στο Διάγραμμα 12 παρατηρείται ότι οι χώρες που βρίσκονται εκτός του ΟΟΣΑ καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μερίδιο παγκοσμίως σε αποθέματα πετρελαίου με 1430,7 δισεκ. βαρέλια ενώ τη δεύτερη θέση έχουν τα κράτη μέλη του ΟΠΕΚ με 1211,9 δισεκ. βαρέλια. Τελευταία σε σειρά έρχεται η Ευρωπαϊκή Ένωση που υπολογίστηκε πως έχει μόλις 6,8 δισεκ. βαρέλια.



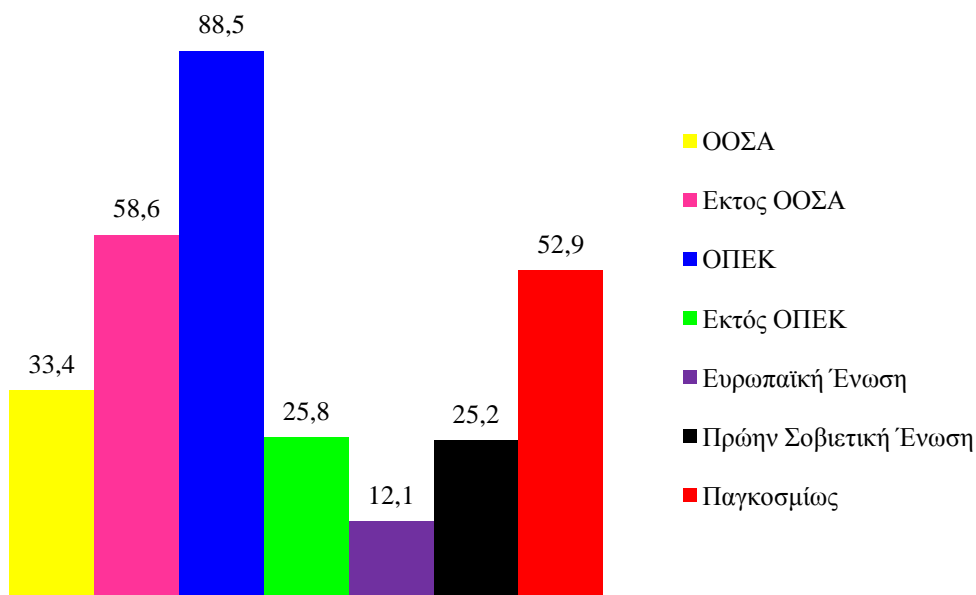
Διάγραμμα 15: Ποσοστό επί του συνόλου των αποθεμάτων πετρελαίου ανά οργανισμό και ένωση για το έτος 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Είναι φανερό πως τα κράτη μέλη του ΟΠΕΚ έχουν το 72,6% του παγκόσμιου συνόλου των πετρελαϊκών αποθεμάτων, ενώ η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει το χαμηλότερο ποσοστό. Αυτό δηλώνει την ενεργειακή εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωση από τις άλλες πετρελαιοπαραγωγές χώρες.

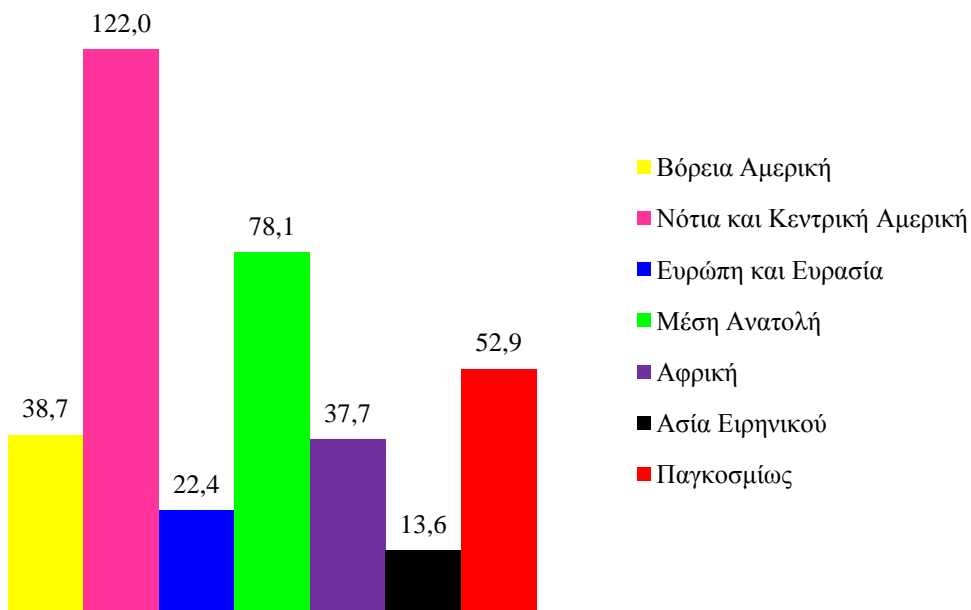
4.1.1 Λόγος αποθεμάτων προς παραγωγή (R/P)^{33,9}

Ο λόγος αποθεμάτων παραγωγής είναι ένας δείκτης με ιδιαίτερα σημαντική βαρύτητα στον πετρελαϊκό τομέα και αντιπροσωπεύει τα αποθέματα ως ποσοστό της παραγωγής κατ'έτος. Έχει ακόμη μια ερμηνεία ως τον αριθμό των ετών που το πετρέλαιο θα επαρκεί σε συνάρτηση με τα υφιστάμενα επίπεδα παραγωγής και αποθεμάτων. Συνεπώς εξασφαλίζεται πετρέλαιο για τα επόμενα περίπου 53 έτη όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 14, σύμφωνα με τα βέβαια-παγκόσμια αποθέματα προς άντληση, όπως αυτά εκτιμήθηκαν από την BP το 2013. Αξίζει να σημειωθεί πως οι χώρες μέλη του ΟΠΕΚ διαθέτουν τα μεγαλύτερα εχέγγυα αναφορικά με τα αποθέματα αφού φθάνουν τα 88,5 έτη επάρκειας πετρελαίου, ενώ η Ευρωπαϊκή Ένωση θα έχει μόλις 12 έτη επάρκειας. Σύμφωνα με το Διάγραμμα 15 η Νότια και Κεντρική Αμερική κατέχει την υψηλότερη τιμή του δείκτη, 122 έτη επάρκειας σε αποθέματα πετρελαίου, σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές καθώς έπειτα ακολουθεί η Μέση Ανατολή με 78,1 έτη.



Διάγραμμα 16: Λόγος αποθεμάτων προς παραγωγή, ανά οργανισμό, ένωση και παγκόσμια για το έτος 2012 (R/P)

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))



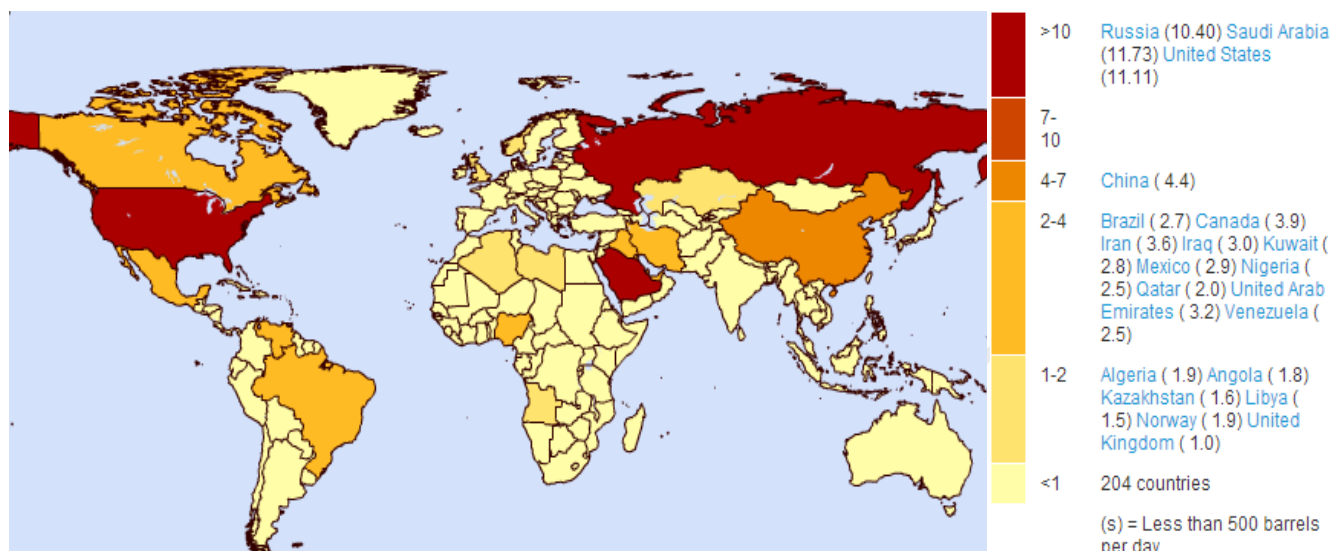
Διάγραμμα 17: Λόγος αποθεμάτων παραγωγής, ανά περιοχή και παγκόσμια για το έτος 2012 (R/P)

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Βέβαια ο δείκτης αυτός καθαυτός δεν θα πρέπει να αποτελεί το μοναδικό τρόπο μέτρησης για τη διαχρονική και γεωγραφική σύγκριση της επάρκειας των αποθεμάτων και αυτό γιατί τα αποθέματα πολλές φορές υπερεκτιμούνται για οικονομικούς και πολιτικούς σκοπούς. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από τους Meng και Bentley οι οποίοι κάνουν εκτεταμένη αναφορά στις προβλέψεις του παρελθόντος και τις λάθος εκτιμήσεις που έγιναν κατά καιρούς. Χαρακτηριστικά αναφέρουν πως οι παρελθοντικές προβλέψεις για την παραγωγή του πετρελαίου ήταν λάθος καθώς και ότι ο δείκτης αποτελεί παραπλανητικό στατιστικό στοιχείο. Συγκεκριμένα αναφέρουν ότι ο δείκτης, όσον αφορά ολόκληρο τον κόσμο υπολογίστηκε το 1948 στα 20 έτη, ενώ το 1972 αυξήθηκε στα 35 έτη και το 2003 υπολογίστηκε στα 40 έτη. Το 2012 ο δείκτης υπολογίστηκε στα 52,9 έτη (Διάγραμμα 15). Αμφισβητούν την εξέλιξη του δείκτη ως ένδειξη αυξημένης ασφάλειας της προσφοράς πετρελαίου διότι τα αποθέματα σε πολλές χώρες υπερεκτιμώνται. Καταγράφουν ως το βασικότερο μειονέκτημα του δείκτη το γεγονός ότι δεν λαμβάνει υπόψη τα τον μηχανισμό κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου. Δηλαδή οι υπολογισμοί του δείκτη για το 2003 ότι τα αποθέματα ασφαλείας του πετρελαίου παγκοσμίως υπολογίστηκαν στα 40 έτη (γύρω στα 3 τρις βαρέλια σύμφωνα με το Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών των Η.Π.Α. [USGS]) και έστω ότι είναι αληθής δεν λαμβάνουν υπόψη ότι θα αντληθεί αυτή η ποσότητα με μειωμένους ρυθμούς και ολοένα και μεγαλύτερο κόστος λόγω ότι η πίεση μειώνεται όταν η παραγωγή όταν φθάσει το μέγιστο ρυθμό της, δηλαδή φθάσει στη μισή ποσότητα του κοιτάσματος που έχει αντληθεί.

4.2 Παραγωγή πετρελαίου^{9.33}

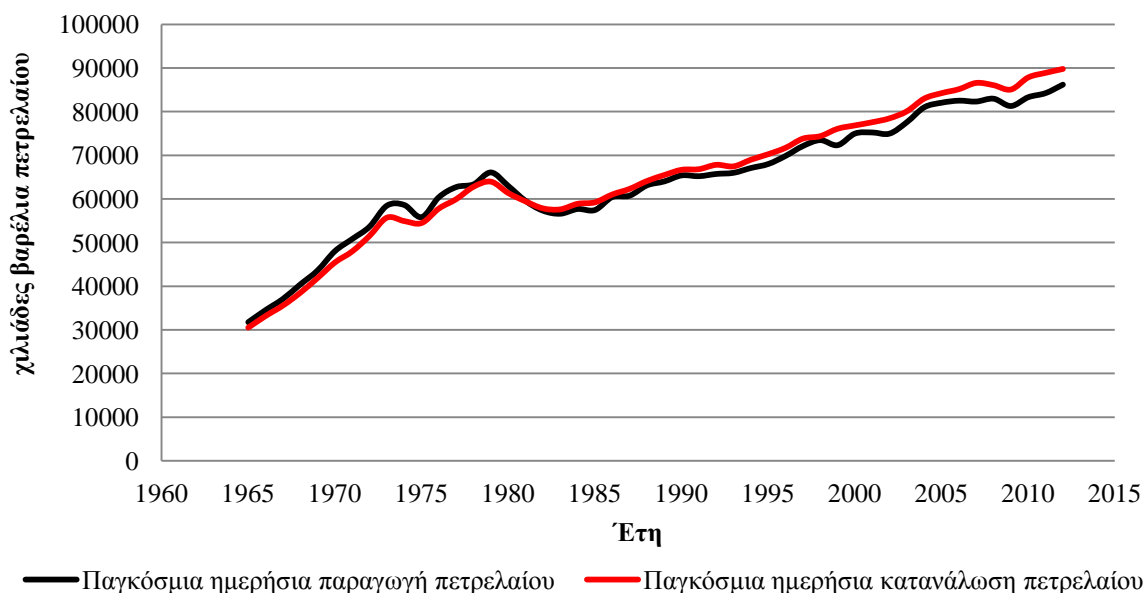
Το σημαντικότερο ζήτημα είναι να μπορούν οι πετρελαιοπαραγωγές χώρες να καλύπτουν την ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση. Η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου αυξήθηκε κατά 1,9 εκατ. βαρέλια ημερησίως το 2012, περισσότερο από το διπλάσιο της αύξησης της παγκόσμιας κατανάλωσης. Η ανάκαμψη της παραγωγής της Λιβύης οδήγησε σε ισχυρή ανάπτυξη της Αφρικής.



Εικόνα 8: Απεικόνιση της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου (εκ. βαρέλια ημερησίως) για το έτος 2012

(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](#))

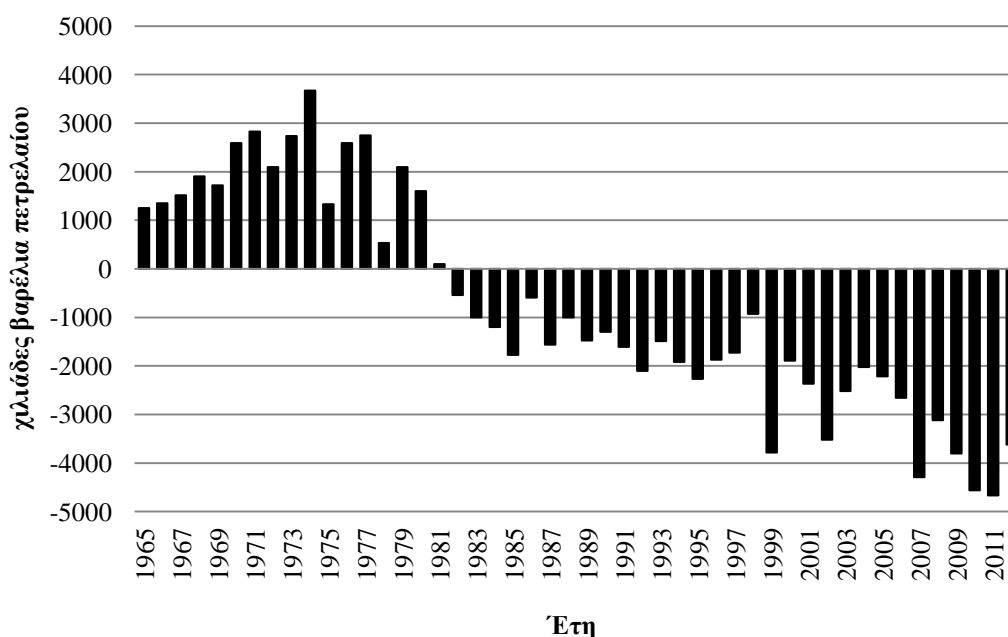
Οι χώρες που κρατούν τις πρώτες θέσεις στην παραγωγή πετρελαίου παγκοσμίως σύμφωνα με την Υπηρεσία Ενεργειακών Πληροφοριών των Η.Π.Α. για το 2012 είναι η Σαουδική Αραβία με 11,73 εκ. βαρέλια ημερησίως, οι Η.Π.Α. με 11,11 εκ. βαρέλια ημερησίως και η Ρωσία με 10,4 εκ. βαρέλια ημερησίως, (Εικόνα 8).



Διάγραμμα 18: Απεικόνιση της παγκόσμια ημερήσιας παραγωγής και κατανάλωσης πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Είναι φανερό ότι από το 1982 και έπειτα η κατανάλωση πετρελαίου υπερέχει της παραγωγής και τα τελευταία έτη γίνεται ολοένα και πιο ξεκάθαρο, σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα.

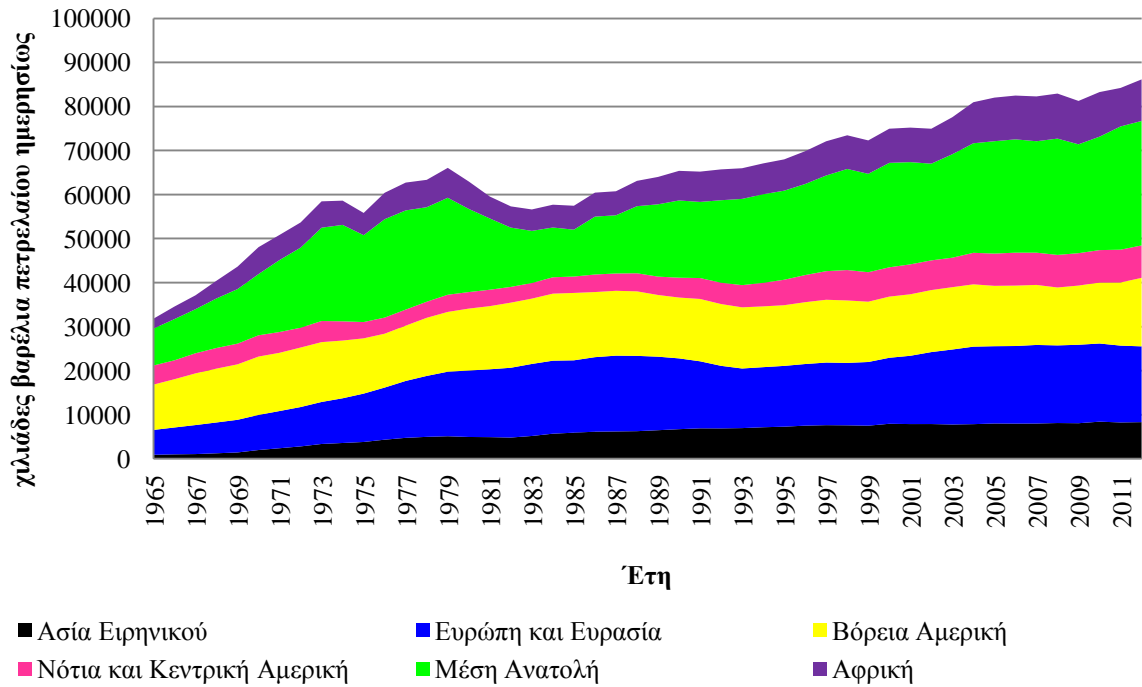


Διάγραμμα 19: Διαφορά της παγκόσμιας ημερήσιας κατανάλωσης από την ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

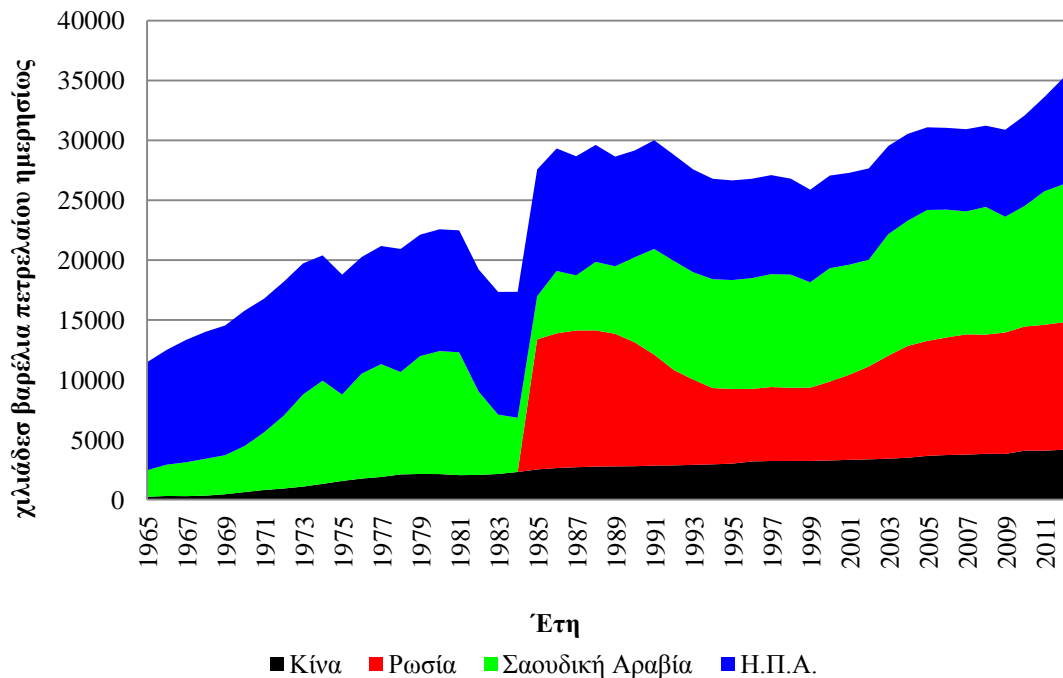
Το παραπάνω διάγραμμα καταστεί σαφές ότι τις τελευταίες τρεις δεκαετίες η παγκόσμια παραγωγή σε πετρέλαιο δεν ικανοποιεί την παγκόσμια κατανάλωση φθάνοντας στη μεγαλύτερη απόκλιση το 2011 της τάξης των 4.669,5 χιλιάδων βαρελιών. Αντίθετα το 2012 παρατηρείται μια σημαντική μείωση της ολοένα και αυξανόμενης κατανάλωσης σε σχέση με τα επίπεδα του 2009, 2010 και 2011.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται πως τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου την έχει η Μέση Ανατολή με 28.270 χιλιάδες βαρέλια ημερησίως, ενώ τη μικρότερη συνεισφορά την έχει η Ασία με 4.155 χιλιάδες βαρέλια ημερησίως για το 2012. Η Μέση Ανατολή, η Αφρική και Νότια και Κεντρική Αμερική έχουν ανοδική τάση στην παραγωγή πετρελαίου σε αντίθεση με την Ευρώπη και Ευρασία και Ασία που δείχνει να έχουν καμπή τα τελευταία έτη.



Διάγραμμα 20: Απεικόνιση της ημερήσιας παραγωγής πετρελαίου ανά περιοχή για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

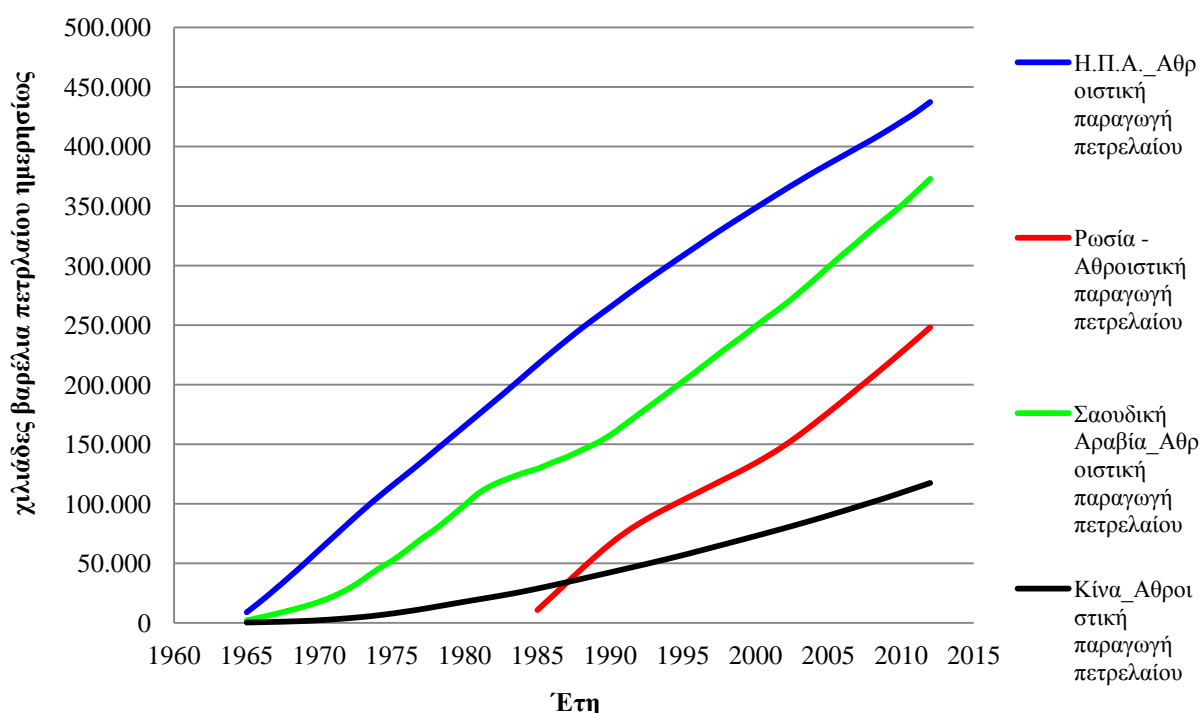
(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))



Διάγραμμα 21: Απεικόνιση των τεσσάρων χωρών με την μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Διαπιστώνεται από το παραπάνω διάγραμμα ότι η Σαουδική Αραβία τις δυο τελευταίες δεκαετίες κατέχει την πρώτη θέση σε ημερήσια παραγωγή πετρελαίου, ενώ η Κίνα έχει τη μικρότερη συνεισφορά στην παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου παρόλο που παρουσιάζει συνεχώς άνοδο από το 1983 και έπειτα.



Διάγραμμα 22: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής πετρελαίου των τεσσάρων χωρών με την μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

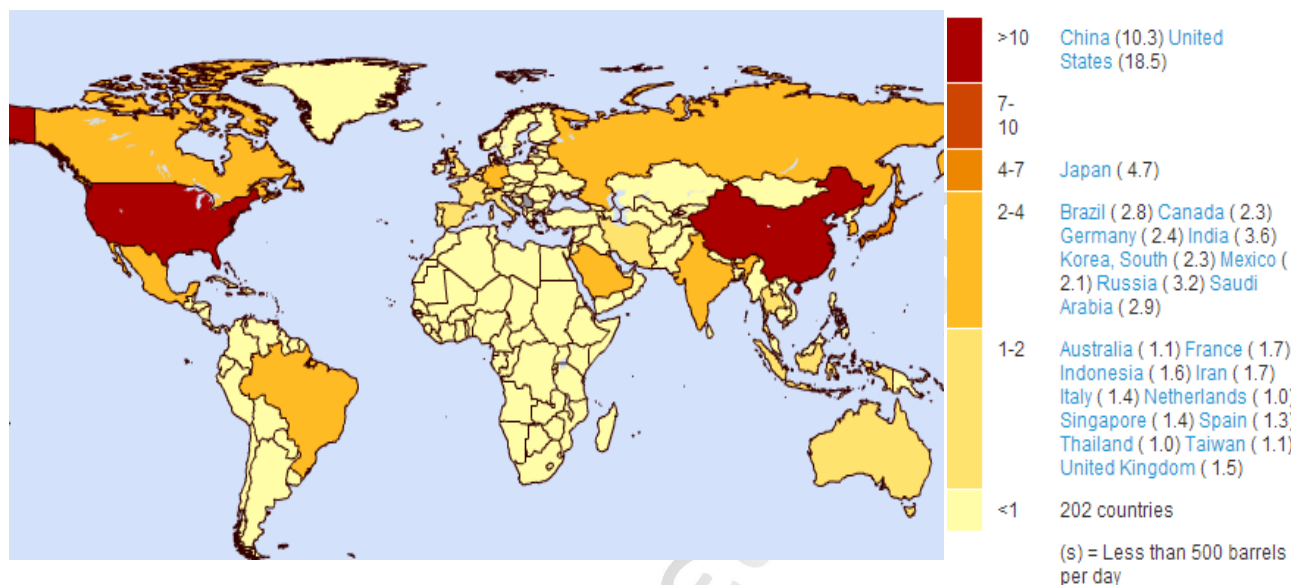
(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Τη μεγαλύτερη αθροιστική παραγωγή πετρελαίου την κατέχουν οι Η.Π.Α και ακολουθεί η Σαουδική Αραβία και η Ρωσία, ενώ η Κίνα κατέχει την τελευταία θέση. Ο ρυθμός αύξησης της αθροιστικής παραγωγής για τις Η.Π.Α., τη Σαουδική Αραβία και τη Ρωσία είναι περίπου ίδιος, ενώ για την Κίνα αυξάνει με μικρότερο ρυθμό και αυτό διαπιστώνεται και από τη κλίση των καμπυλών.

4.3 Κατανάλωση πετρελαίου^{9.33}

Όπως διαπιστώθηκε από το Διάγραμμα 18 παρατηρήσαμε ότι η κατανάλωση υπερಿಸχύει της παραγωγής πετρελαίου τα τελευταία 30 έτη. Η παγκόσμια

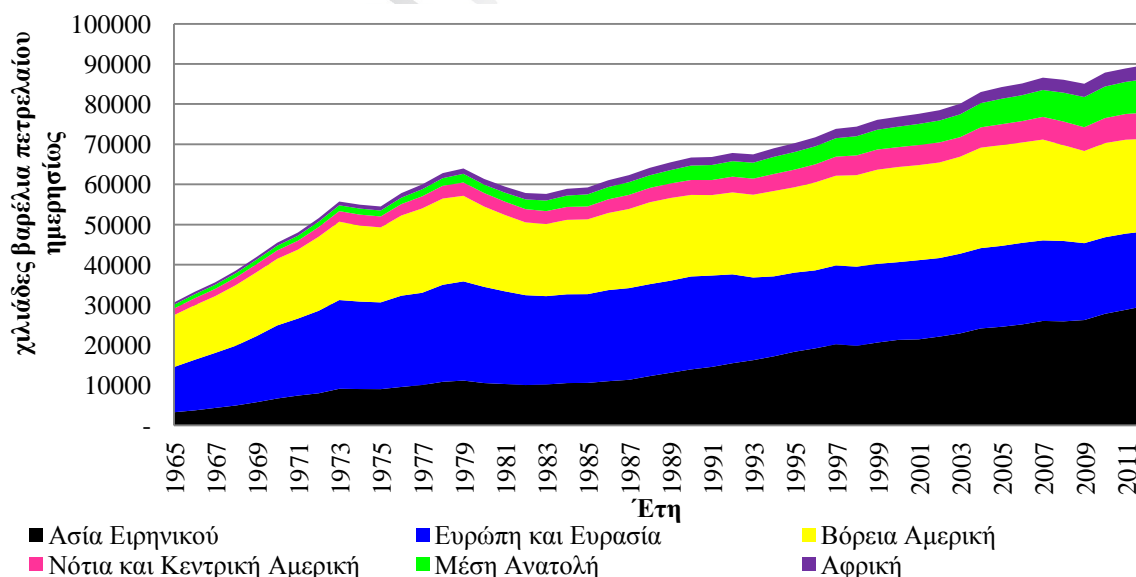
κατανάλωση πετρελαίου αυξήθηκε κατά μόλις 890.000 βαρέλια ημερησίως, με πτώση σε Ευρώπη και Βόρεια Αμερική.



Εικόνα 9: Απεικόνιση της παγκόσμιας κατανάλωσης πετρελαίου (εκ. βαρέλια ημερησίως) για το έτος 2012

(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](http://www.eia.doe.gov))

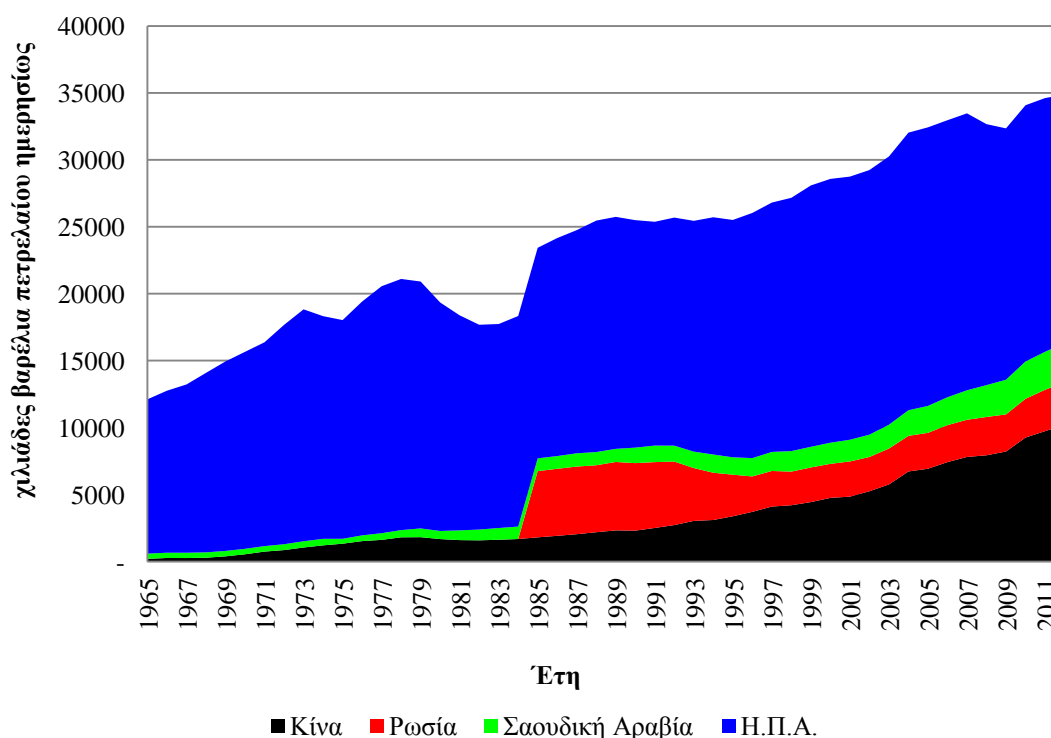
Οι χώρες που κρατούν τις πρώτες θέσεις στην κατανάλωση πετρελαίου παγκοσμίως σύμφωνα με την Υπηρεσία Ενεργειακών Πληροφοριών των Η.Π.Α. για το 2012 είναι οι Η.Π.Α. με 18,5 εκ. βαρέλια ημερησίως και η Κίνα με 10,3 εκ. βαρέλια ημερησίως όπως αυτές απεικονίζονται στην παραπάνω εικόνα.



Διάγραμμα 23: Απεικόνιση της ημερήσιας παραγωγής πετρελαίου ανά περιοχή για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](http://www.bp.com))

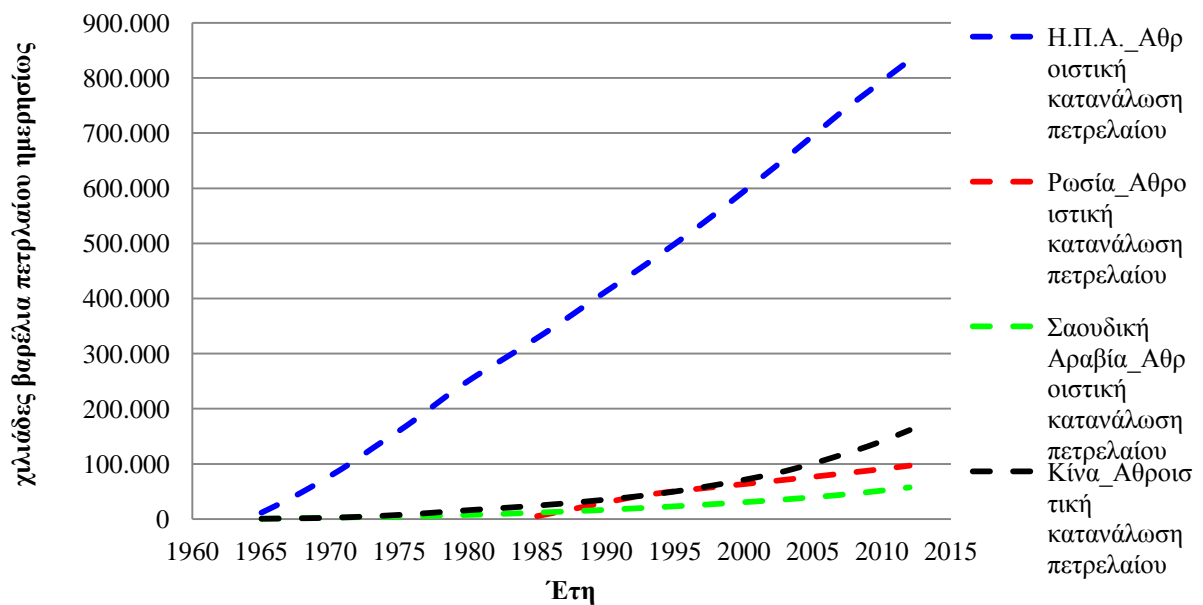
Παρατηρείται στο παραπάνω διάγραμμα πως τη μεγαλύτερη κατανάλωση πετρελαίου την έχει η Βόρεια Αμερική με 23.040 χιλιάδες βαρέλια, ενώ τη μικρότερη κατανάλωση την έχει η Αφρική με 3.523 χιλιάδες βαρέλια ημερησίως για το 2012. Όλες οι περιοχές έχουν ανοδική τάση στην κατανάλωση του πετρελαίου όμως η Ασία έχει ραγδαία αύξηση τις δυο τελευταίες δεκαετίες και είναι απολύτως λογικό λόγω της βιομηχανοποίησής της η οποία γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς στην Κίνα. Η Μέση Ανατολή ενώ είναι η πρώτη πετρελαιοπαραγωγός χώρα παγκοσμίως τα ποσοστά κατανάλωσής της είναι χαμηλά σε σχέση με τις άλλες χώρες του Διαγράμματος 21.



Διάγραμμα 24: Απεικόνιση των τεσσάρων χωρών με την μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή πετρελαίου σε σχέση με την κατανάλωση του για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

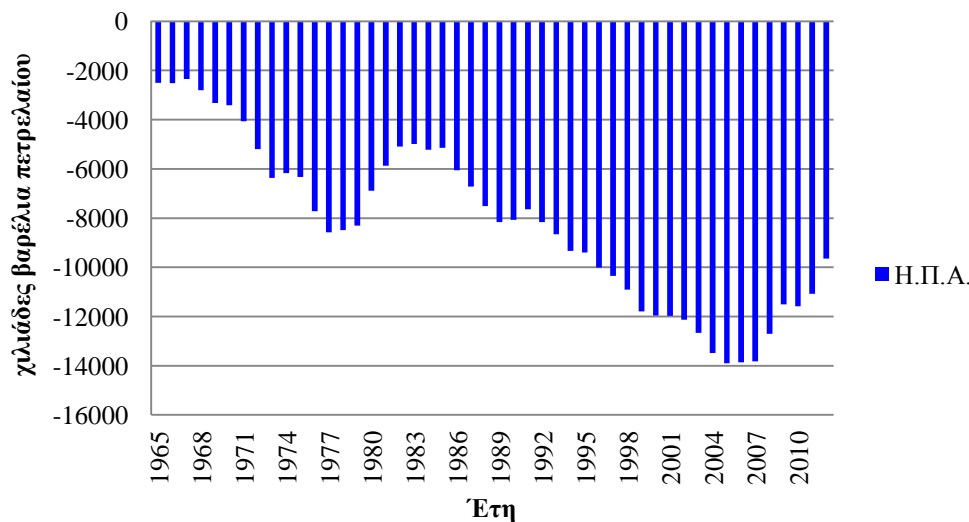
Διαπιστώνεται από το παραπάνω διάγραμμα ότι οι Η.Π.Α. κατέχουν την πρώτη θέση και με διαφορά από τις υπόλοιπες χώρες στην κατανάλωση πετρελαίου ενώ η Σαουδική Αραβία κατέχει την τελευταία θέση. Η κατανάλωση πετρελαίου από τη μεριά της Κίνας γίνεται με γρήγορους ρυθμούς, ειδικά την τελευταία δεκαετία.



Διάγραμμα 25: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής πετρελαίου των τεσσάρων χωρών με την μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή πετρελαίου σε σχέση με την κατανάλωση του για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

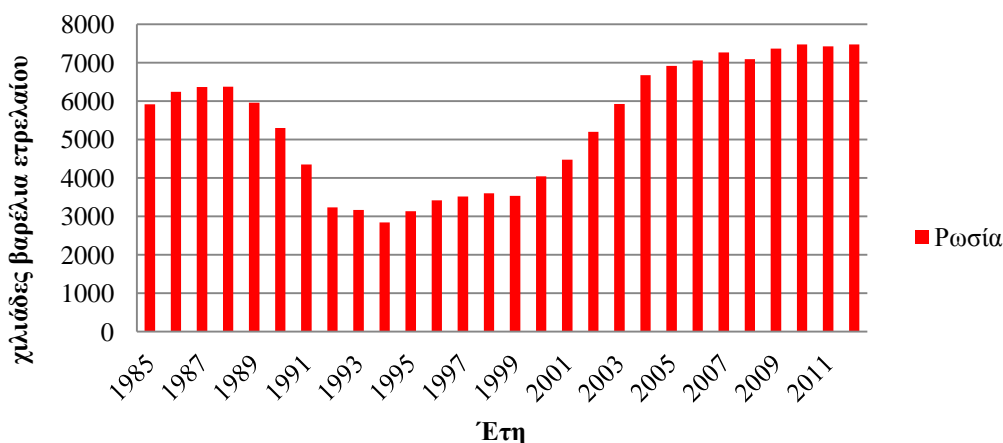
Την μεγαλύτερη αθροιστική κατανάλωση πετρελαίου την κατέχουν οι Η.Π.Α και ακολουθεί η Κίνα και η Ρωσία, ενώ η Σαουδική Αραβία κατέχει την τελευταία θέση. Η καμπύλη της αθροιστικής κατανάλωσης πετρελαίου από την Κίνα είναι σχεδόν εκθετική που δηλώνει την αυξημένη ζήτηση πετρελαίου για τα επόμενα έτη.



Διάγραμμα 26: Διαφορά της ημερήσιας κατανάλωσης των Η.Π.Α. από την ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

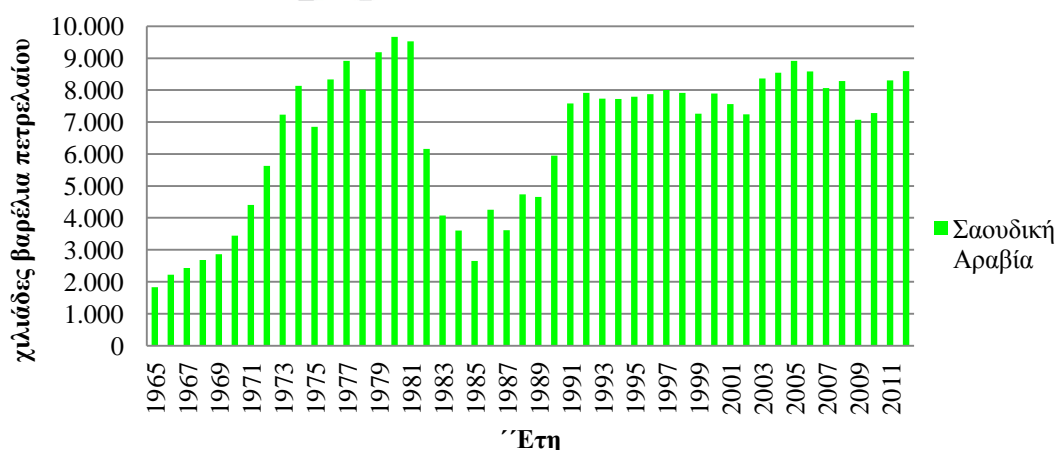
Το παραπάνω διάγραμμα καταστεί σαφές ότι η κατανάλωση στις Η.Π.Α. υπερέχει της παραγωγής κατά τη διάρκεια των ετών 1965-2012, παρουσιάζοντας τη μεγαλύτερη διαφορά το 2005 με 13.900 βαρέλια πετρελαίου απόκλιση από την παραγωγή. Βέβαια τα τελευταία έτη η ψαλίδα ολοένα και μειώνεται και κυρίως οφείλεται ότι οι Η.Π.Α. έχουν μεγάλες ποσότητες σχιστολιθικού πετρελαίου και αερίου που το εξορύσσουν εδώ και έτη.



Διάγραμμα 27: Διαφορά της ημερήσιας κατανάλωσης της Ρωσίας από την ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

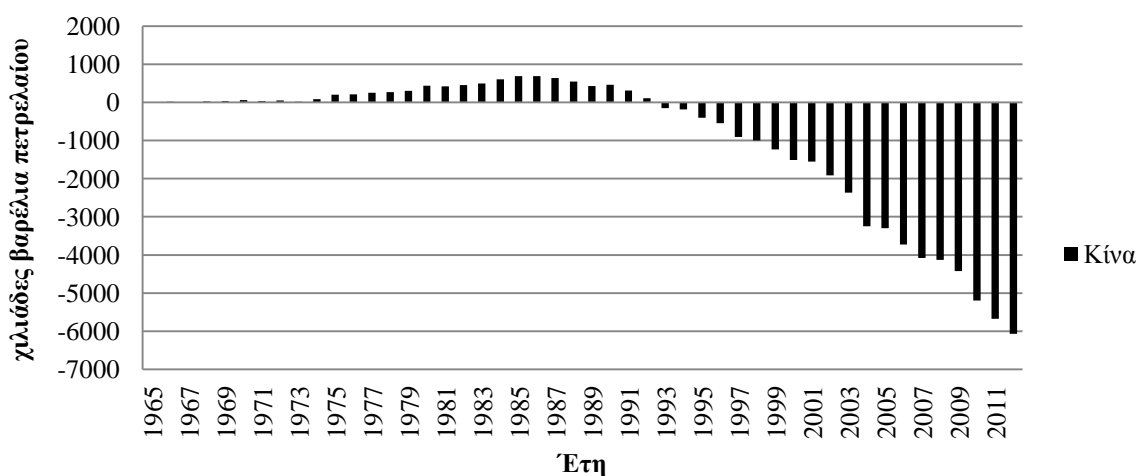
Στο παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται σαφές ότι η παραγωγή στη Ρωσία επαρκεί για να καλύψει την κατανάλωση κατά τη διάρκεια των ετών 1965-2012, παρουσιάζοντας συνεχή άνοδο στην υπεροχή της παραγωγής έναντι της κατανάλωσης.



Διάγραμμα 28: Διαφορά της ημερήσιας κατανάλωσης της Σαουδικής Αραβίας από την ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

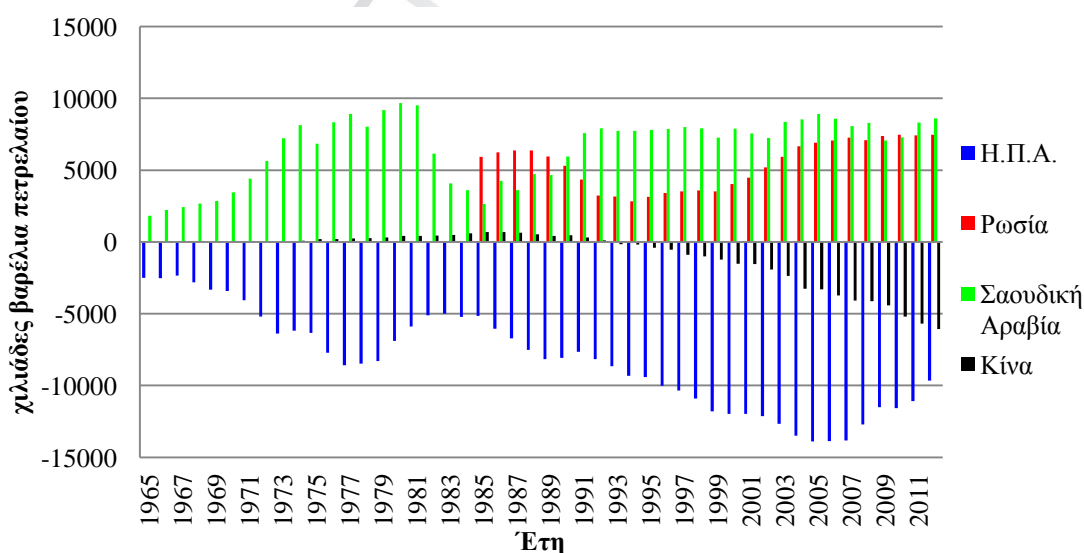
Το παραπάνω διάγραμμα καταστεί σαφές ότι η παραγωγή στη Σαουδική Αραβία επαρκεί για να καλύψει την κατανάλωση κατά τη διάρκεια των ετών 1965-2012, παρουσιάζοντας μικρές αυξομειώσεις τα τελευταία έτη.



Διάγραμμα 29: Διαφορά της ημερήσιας κατανάλωσης της Κίνας από την ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Το παραπάνω διάγραμμα καταστεί σαφές ότι η παραγωγή στην Κίνα δεν επαρκεί για να καλύψει την κατανάλωση κατά τη διάρκεια των ετών 1993-2012, παρουσιάζοντας συνεχή αύξηση στην κατανάλωση πετρελαίου και κατά συνέπεια στη ζήτησή του τα τελευταία έτη.

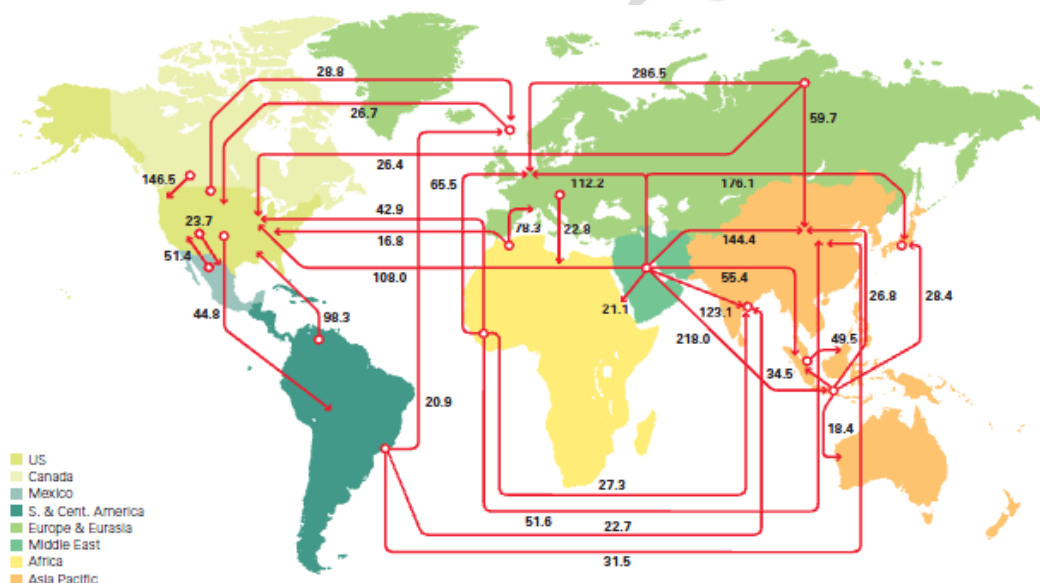


Διάγραμμα 30: Διαφορά της ημερήσιας κατανάλωσης της Κίνας από την ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Στο παραπάνω διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι οι Η.Π.Α παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη κατανάλωση πετρελαίου σε σχέση με τη Σαουδική Αραβία, τη Ρωσία και την Κίνα. Επίσης παρατηρείται πως για το 2012 η Κίνα έφτασε στα μισά επίπεδα των Η.Π.Α. στην κατανάλωση πετρελαίου, ενώ η εικόνα είναι αντίθετη για τη Σαουδική Αραβία και τη Ρωσία οι οποίες υπερκαλύπτουν την κατανάλωση τους σε πετρέλαιο.

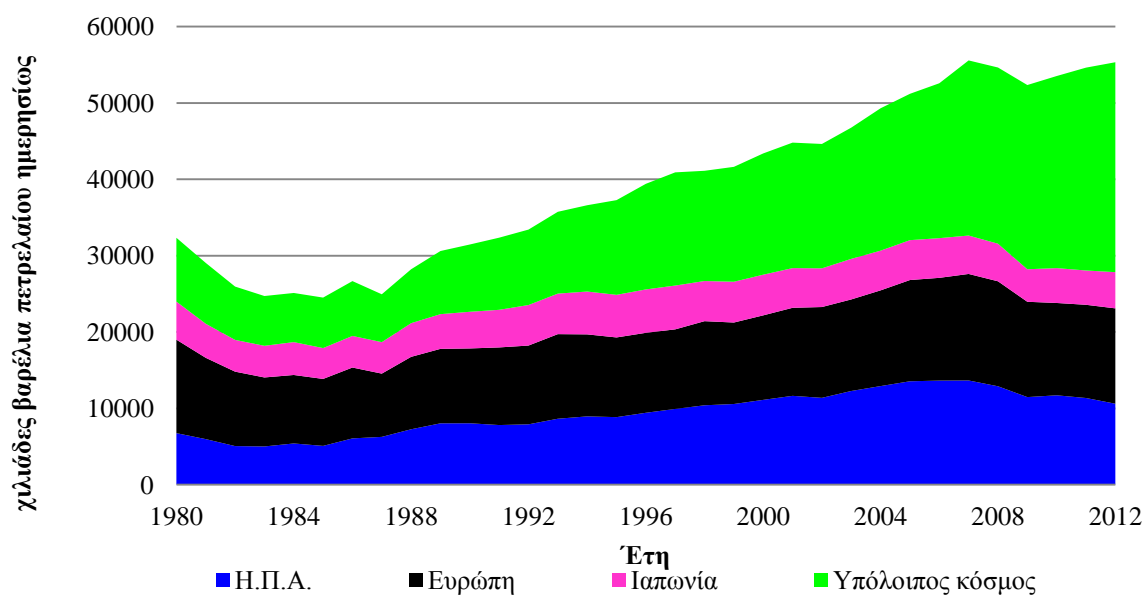
Όπως διαπιστώνεται από τα παραπάνω διαγράμματα υπάρχουν ορισμένες χώρες που παράγουν πετρέλαιο και μπορούν όχι μόνο να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες αλλά να έχουν και περίσσεια (π.χ. Σαουδική Αραβία), αλλά υπάρχουν και κάποιες άλλες που ενώ παράγουν πετρέλαιο αδυνατούν να καλύψουν την εσωτερική ζήτηση (π.χ. Κίνα). Συνεπώς η κάλυψη της ζήτησης πετρελαίου πραγματοποιείται μέσω του εμπορίου μεταξύ των χωρών που προσφέρουν την περίσσειά τους σε αυτές που αδυνατούν να την καλύψουν. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η παγκόσμια εμπορική κίνηση του πετρελαίου για το 2012.



Εικόνα 10: Απεικόνιση των εμπορικών κινήσεων πετρελαίου παγκοσμίως για το έτος 2012 σε εκατομμύρια τόνους

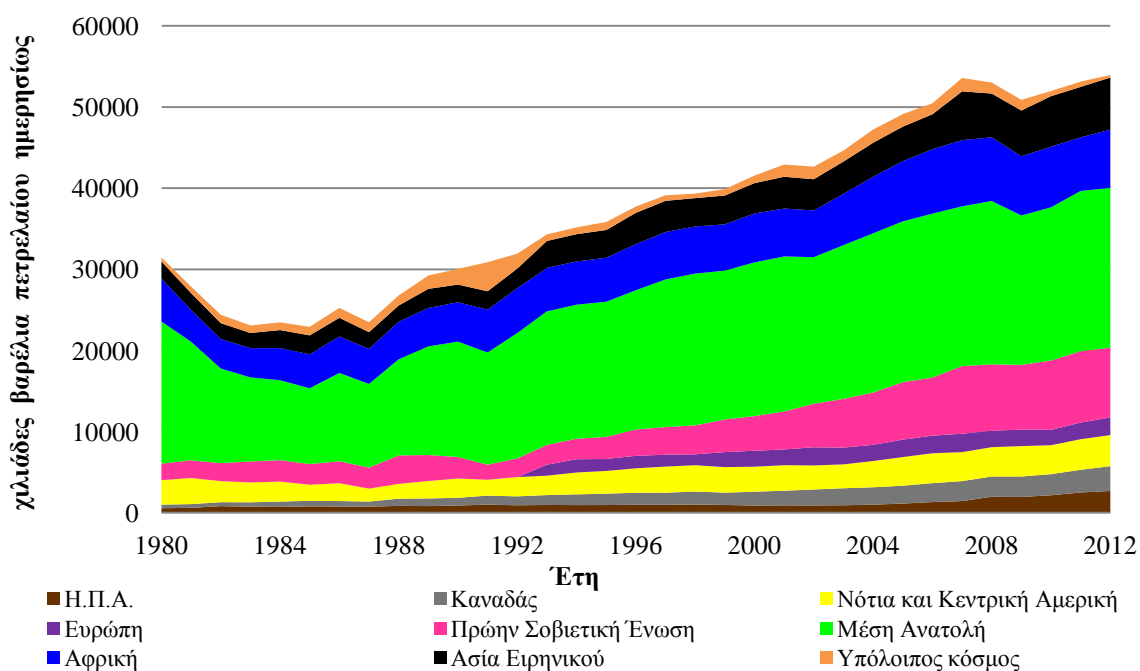
(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται ότι το 2007 πραγματοποιήθηκε η υψηλότερη εισαγωγή πετρελαίου παγκοσμίως, όμως τα επόμενα έτη η ποσότητα ολοένα και φθίνει για τις Η.Π.Α, την Ευρώπη και την Ιαπωνία ενώ στον υπόλοιπο κόσμο αυξάνει. Ήταν αναμενόμενο λόγω της οικονομικής κρίσης το 2007 που έπληξε κυρίως τη Δύση, ενώ η Ανατολή συνέχισε και συνεχίζει να ακμάζει οικονομικά (π.χ. Κίνα και Ινδία).



Διάγραμμα 31: Απεικόνιση των χωρών με τις μεγαλύτερες εισαγωγές πετρελαίου παγκοσμίως για το έτος 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))



Διάγραμμα 32: Απεικόνιση των χωρών με τις μεγαλύτερες εξαγωγές πετρελαίου παγκοσμίως για το έτος 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

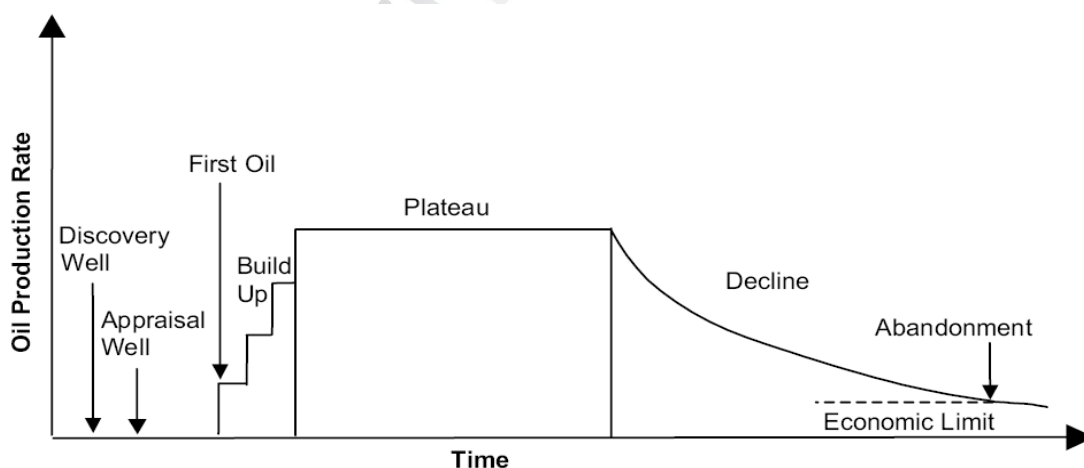
Παρατηρείται στο παραπάνω διάγραμμα ότι η Σαουδική Αραβία είναι η κύρια χώρα στην εξαγωγή πετρελαίου παγκοσμίως και με διαφορά έπεται είναι η Αφρική ενώ τη τελευταία θέση κατέχει η Ευρώπη.

4.3.1 Μοντελοποίηση της παραγωγής πετρελαίου³

Η παραγωγή ενός κοιτάσματος πετρελαίου περνά από ορισμένα στάδια και μπορεί να περιγραφεί από μια ιδανική καμπύλη παραγωγής. Μια μορφή αυτής της καμπύλης μπορεί να φανεί στο παρακάτω σχήμα. Μετά την ανακάλυψη της πετρελαιοπηγής πραγματοποιείται διάνοιξη πηγαδιού στο κοιτάσμα για να εκτιμηθεί η πιθανή εκμετάλλευσή της.

Έπειτα εάν κριθεί από τους ειδικούς ικανοποιητική η ποσότητα πετρελαίου που μπορεί να αντληθεί από την πετρελαιοπηγή, τότε ξεκινά η παραγωγή που σηματοδοτεί την φάση της εντατικής εκμετάλλευσής του. Έπειτα η παραγωγή πετρελαίου στην πετρελαιοπηγή περνά στη φάση της σταθεροποίησης/πλατώματος (plateau) όπου χρησιμοποιείται το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος για την άντληση του πετρελαίου, πριν τελικά φθάσει στο ξεκίνημα της πτώσης της παραγωγής, όπου καταλήγει να εγκαταλειφθεί διότι δεν είναι πλέον συμφέρουσα οικονομικά η επένδυση.

Σε πολλά πεδία και κυρίως τα μικρά η παραγωγή φθάνει σε πλάτωμα που διαρκεί ελάχιστα χρονικά, ενώ εμφανίζουν να έχουν απότομη κορύφωση παραγωγής σε αντίθεση με τα μεγάλα πεδία όπου η παραγωγή φθάνει σε πλάτωμα διαρκώντας ακόμη και μερικές δεκαετίες. Ο χρόνος ζωής ενός πεδίου και το σχήμα της καμπύλης παραγωγής σχετίζονται με το είδος των υδρογονανθράκων που παράγεται.



Σχήμα 15: Μια θεωρητική καμπύλη παραγωγής, που περιγράφει τα διάφορα στάδια της ωριμότητας μιας πετρελαιοπηγής

(Πηγή: [Robelius, F., Giant Oil Fields - The Highway to Oil: Giant Oil Fields and their Importance for Future Oil Production. Doctoral thesis from Uppsala University, 2007, Figure 3.5](#))

4.3.2 Ο ρόλος της τεχνολογίας στην παραγωγή πετρελαίου^{4,38}

Οι τεχνικές ανακαλύψεις και καινοτομίες είναι ένα αναπόσπαστο μέρος της βιομηχανίας πετρελαίου από την αρχή της, περίπου πριν από 150 χρόνια, όπου η εξερεύνηση σε μεγάλο θαλάσσιο βάθος και η παραγωγή κοιτασμάτων πετρελαίου σε μεγάλα βάθη αποτελούν τα τελευταία παραδείγματα αυτής της εξέλιξης.

Οι λύσεις υψηλής τεχνολογίας είναι προϋπόθεση για την παραγωγή πετρελαίου σε μεγάλα θαλάσσια βάθη όπως αυτά βρίσκονται σε πληθώρα στην Αγκόλα και τη Βραζιλία. Το έργο Sakhalin 1 στο νησί Sakhalin στη Ρωσική Άπω Ανατολή, έχει μάλλον το σημερινό ρεκόρ σε εκτεταμένες γεωτρήσεις, ενώ μια χερσαία εξέδρα έχει διανοιχθεί περίπου 10 χλμ. από την ακτή. Επιπλέον, μέρος των γεωτρήσεων διεξήχθη κάτω από αντίξοες συνθήκες το χειμώνα με θερμοκρασίες κάτω των μείον 30 °C. Το έργο Sakhalin 1, που αποτελείται από τρία πεδία, μπήκε σε λειτουργία το 2005 και ο συνολικός όγκος του ανακτήσιμου πετρελαίου εκτιμάται σε περίπου 2.3Gb.

Ωστόσο, η τεχνολογική επιτυχία που εμπλέκεται με την κατάσταση της τεχνολογίας και την εξερεύνηση σε απομακρυσμένες περιοχές σε πολλές περιπτώσεις έχει λιγότερες εντυπωσιακές συνέπειες: υπερβάσεις κόστους και καθυστερήσεις εκκίνησης της παραγωγής.

Το μεγαλύτερο σε υδάτινο βάθος πεδίο ανακαλύφθηκε στη Νιγηρία και ονομάζεται Bonga, με εκτιμώμενα αποθέματα γύρω στα 0,7Gb. Το αρχικό σχέδιο ήταν να τεθεί σε λειτουργία το 2003, αλλά λόγω τεχνικών προβλημάτων, η εκκίνηση για την εκμετάλλευσή του καθυστέρησε, ενώ είχε προγραμματιστεί για το 2004 τελικά ξεκίνησε το 2005. Η παραγωγή άρχισε στα τέλη Νοεμβρίου του 2005 με κόστος 3,6 δισ. δολάρια, το οποίο ξεπερνούσε τον αρχικό προϋπολογισμό κατά 30%.

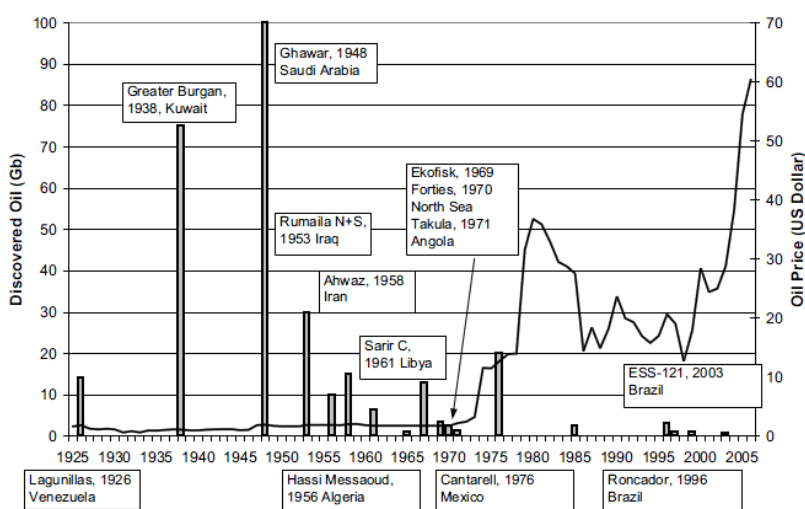
Ένα ακόμη παράδειγμα είναι αυτό του γιγάντιο πεδίου Thunder Horse το οποίο ανακαλύφθηκε το 1998 στον κόλπο του Μεξικού και αποτελεί το μεγαλύτερο σε βάθος πεδίο στην περιοχή με εκτιμώμενα αποθέματα κάτω από 1Gb. Ωστόσο, η εκμετάλλευση του πεδίου είχε να αντιμετωπίσει δυσκολίες που συνδέονται με την ημιυποθαλάσσια μονάδα παραγωγής, η οποία είναι η μεγαλύτερη υπεράκτια πλατφόρμα που κατασκευάστηκε ποτέ.

Ωστόσο, παρά τις καθυστερήσεις και τις υπερβάσεις κόστους, το ερώτημα είναι με ποιό τρόπο οι σύγχρονες τεχνολογίες συνέβαλαν σε νέες ανακαλύψεις στον πετρελαϊκό τομέα, δεδομένου του σημαντικού ρόλου που έχουν για την εκμετάλλευση των αποθεμάτων.

Η πετρελαϊκή βιομηχανία έχει αναπτύξει νέες τεχνολογίες, που επιτρέπουν την ανακάλυψη και την παραγωγή πετρελαίου σε μεγαλύτερα βάθη, σε πιο αντίξοα περιβάλλοντα, αλλά και σε μικρότερες ποσότητες. Αυτό δείχνει ότι η τεχνολογία από μόνη της δεν ανακαλύπτει μεγάλες ποσότητες πετρελαίου, αλλά θα πρέπει να εφαρμοστεί σε πεδία με καλές και μεγάλες προοπτικές.

4.3.3 Η τιμή του πετρελαίου σε σχέση με την εξερεύνηση και την παραγωγή του

Οι υψηλές τιμές πετρελαίου ωθούν τις επενδύσεις στην εξερεύνηση και παραγωγή και ως εκ τούτου την αύξηση τόσο των αποθεμάτων όσο και της παραγωγής. Συνεπώς, οι τιμές θα μειωθούν σε ένα κανονικό επίπεδο. Έτσι θα έπρεπε να λειτουργεί η αγορά εάν το πετρέλαιο ήταν απλά άλλο ένα εμπόρευμα και να ακολουθεί τις θεωρίες της προσφοράς και της ζήτησης. Αλλά κατά τη διάρκεια της ιστορίας η συσχέτιση μεταξύ των μεγάλων ανακαλύψεων και της σχετικής υψηλής παραγωγής παρουσιάζει υψηλή χρονική υστέρηση, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 16: Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα πετρελαίου, σε δισεκατομμύρια βαρέλια (Gb) για μια σειρά σημαντικών πετρελαιοπαραγωγών χωρών και η τιμή του πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1925-2005. Τα πεδία μεταξύ των ετών 1985 και 1999 είναι αυτά με το μεγαλύτερο υδάτινο βάθος.

(Πηγή: [Robelius, F., Giant Oil Fields - The Highway to Oil: Giant Oil Fields and their Importance for Future Oil Production. Doctoral thesis from Uppsala University, 2007](#))

Όταν πρόκειται για εξερεύνηση πετρελαίου, μια καλή προοπτική είναι μια καλή προοπτική, ανεξάρτητα της τιμής του πετρελαίου. Αυτό επιβεβαιώνεται από τρία γιγάντια πεδία πετρελαίου σε βαθιά ύδατα τα οποία είναι το Thunderhorse (Η.Π.Α., στον Κόλπο του Μεξικού), το Rosa (Αγκόλα) και το Hungo μέρος του Kizomba A (Αγκόλα), που ανακαλύφθηκαν το 1998, όταν οι τιμές του πετρελαίου ήταν σε χαμηλό επίπεδο. Μια λιγότερο ελπιδοφόρα ή και πιο δύσκολη προοπτική μπορεί να είναι περισσότερο ενδιαφέρουσα σε περιόδους που η τιμή του πετρελαίου είναι υψηλή.

Αυτό συμβαίνει επειδή ο υψηλός κινδύνος σχετίζεται με τη διάτρηση και την προοπτική, ισορροπείται από την υψηλότερη ανταμοιβή της ανακάλυψης ενός πεδίου.

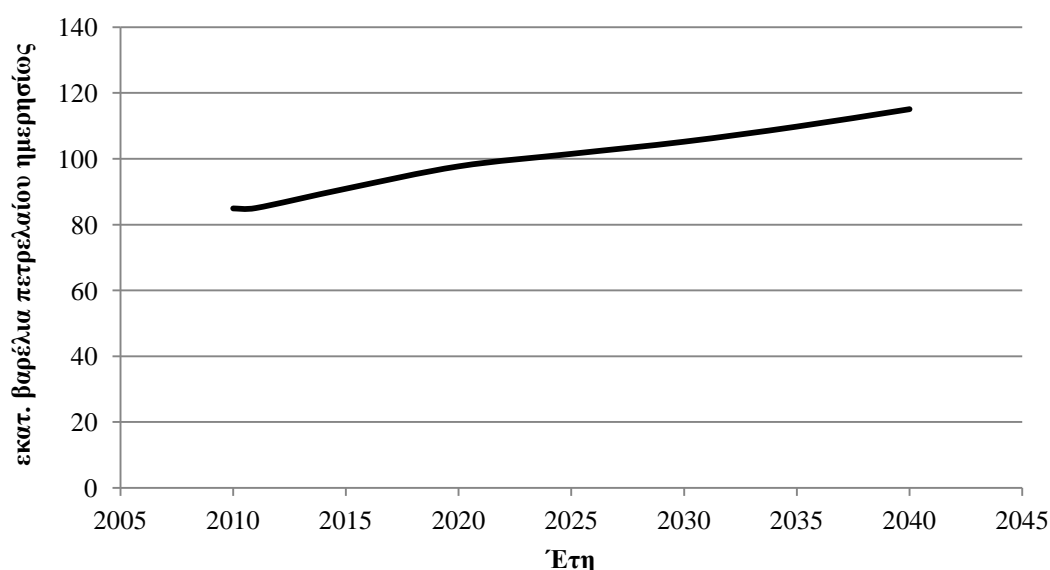
Μια λεκάνη με κανένα σύστημα πετρελαίου ή μια περιοχή με πολύ λεπτές ιζηματογενείς στρώσεις ποτέ δεν θα μετατραπεί σε μια καλή προοπτική, ακόμη και αν οι αυξήσεις των τιμών δεκαπλασιαστούν όπως αυτό συμβαίνει στην στη Σουηδία.

Η παραγωγή πετρελαίου χαρακτηρίζεται σοφή όταν ένα μεγάλο πεδίο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί ακόμα και σε περιόδους χαμηλών τιμών δεδομένου ότι σε γενικές γραμμές έχουν ένα υψηλό ποσοστό της παραγωγής.

Το συμπέρασμα είναι ότι τα πιθανά έσοδα που παράγονται από τον πετρελαϊκό τομέα είναι αυτά που καθορίζουν εάν ένα πεδίο θα αξιοποιηθεί ή όχι. Ένα μεγάλο πετρελαϊκό πεδίο θα παράγει αρκετά έσοδα για να παρακινήσει την εκμετάλλευσή του ακόμη και σε περιόδους πολύ χαμηλών τιμών του πετρελαίου.

4.4 Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 από την Αμερικανική Υπηρεσία Ενεργειακών Πληροφοριών (IEA)³⁵

Σύμφωνα με τα στοιχεία που έχει δώσει στη δημοσιότητα η Αμερικανική Υπηρεσία Ενεργειακών Πληροφοριών για την πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου παγκοσμίως έως το 2040 προβλέπεται πως η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου θα αυξάνει συνεχώς φθάνοντας το 2040 στα 115,1 εκατ. βαρέλια ημερησίως.

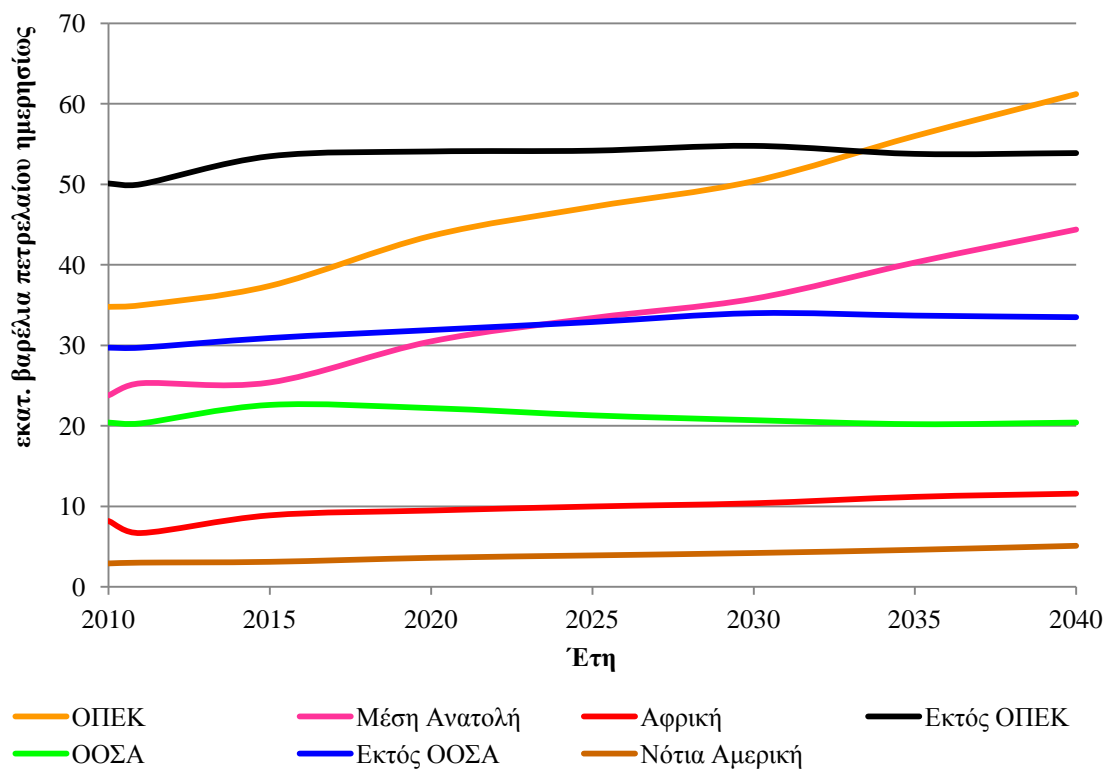


Διάγραμμα 33: Πρόβλεψη της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου έως το 2040, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως

(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](#))

Όπως παρουσιάζεται και στο παρακάτω διάγραμμα τα κράτη-μελη του ΟΠΕΚ θα συνεχίσουν να παράγουν την μεγαλύτερη ποσότητα πετρελαίου, έχοντας τάση

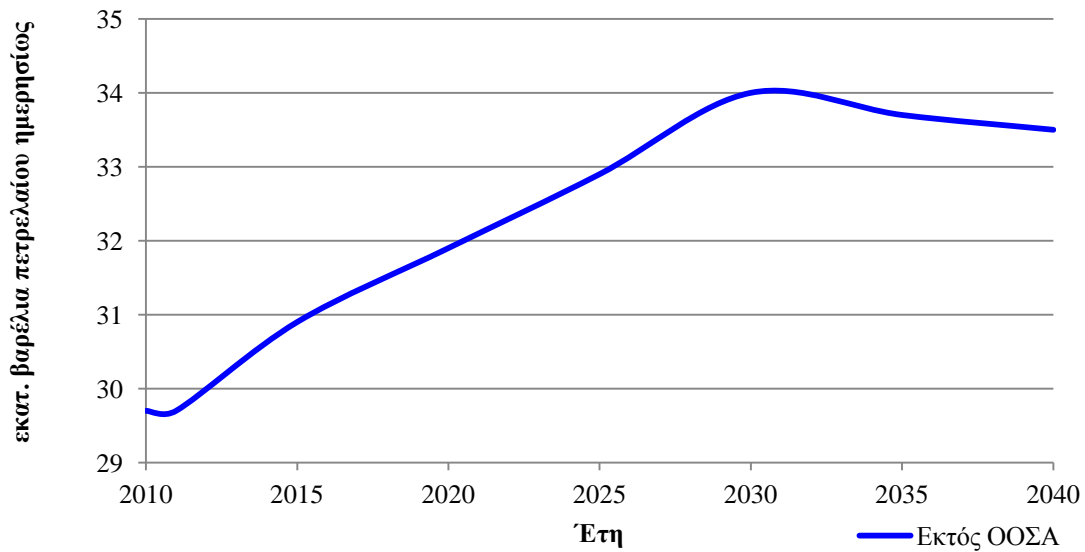
σταθερά ανοδική, ενώ τη μικρότερη συνεισφορά θα εξακολουθήσει να έχει η Νότια Αμερική.



Διάγραμμα 34: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για ορισμένες περιοχές/χώρες, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως

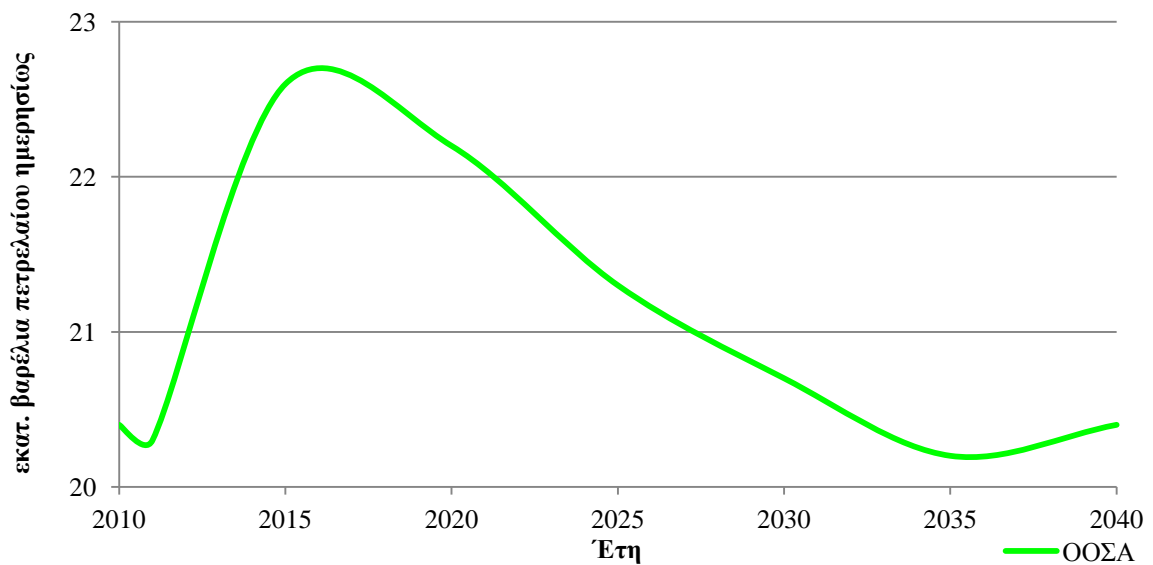
(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](http://www.eia.doe.gov))

Αναλυτικότερα για τις χώρες εκτός του ΟΟΣΑ προβλέπεται πως θα φθάσουν σε κορύφωση της πετρελαϊκής τους παραγωγής το 2030 στα 34 εκατ. βαρέλια ημερησίως, ενώ η κορύφωση για τις χώρες του ΟΟΣΑ θα φθάσει το 2015 στα 22,6 εκατ. βαρέλια ημερησίως.



Διάγραμμα 35: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για τις χώρες εκτός ΟΟΣΑ, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως

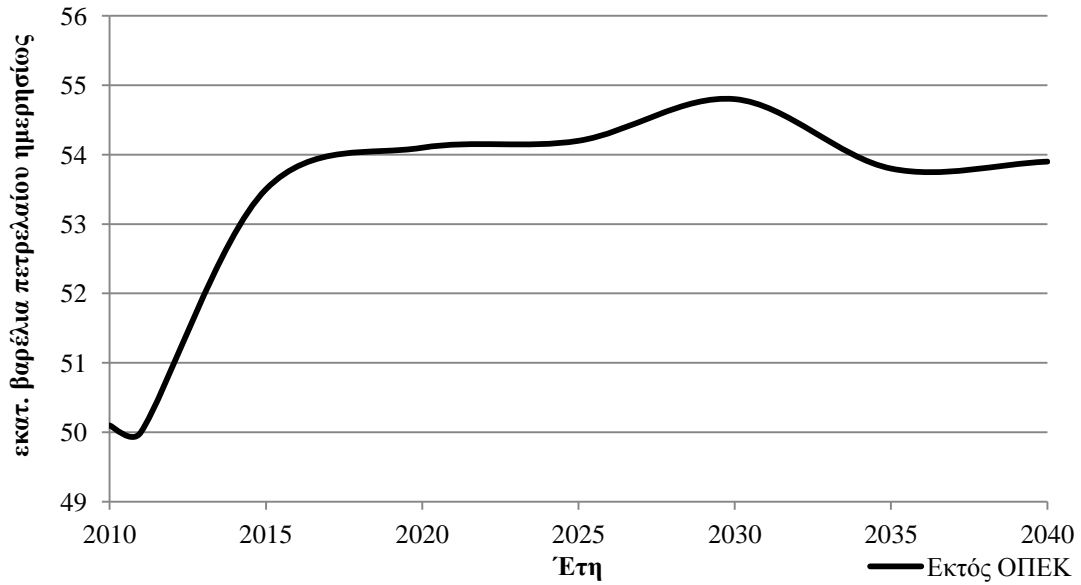
(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](#))



Διάγραμμα 36: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για τις χώρες του ΟΟΣΑ, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως

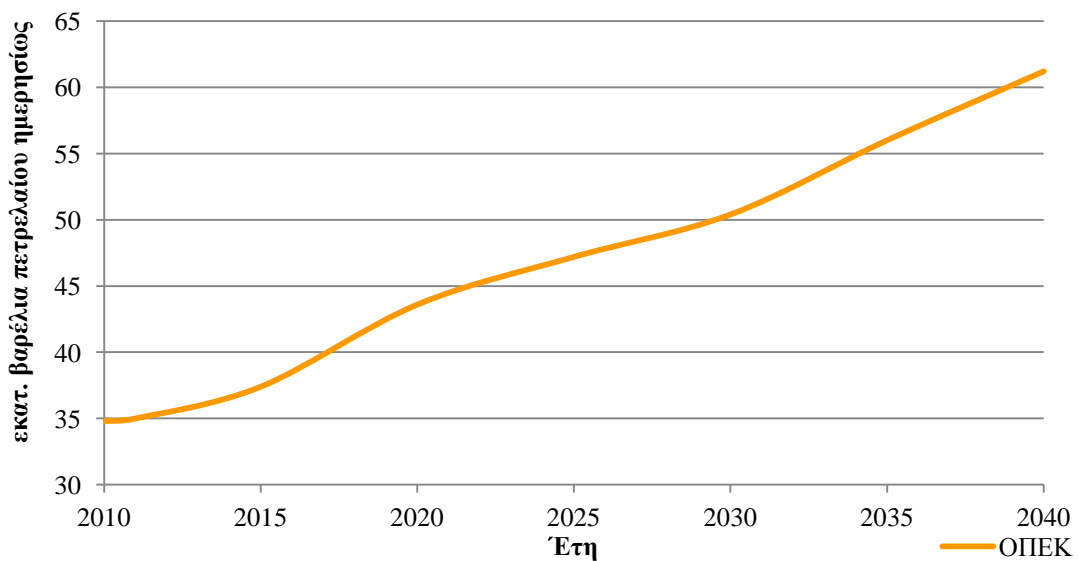
(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](#))

Προβλέπεται πως η παραγωγή πετρελαίου για τις χώρες εκτός του ΟΠΕΚ ότι θα αυξάνει σταθερά μέχρι το 2015 ενώ θα κορυφωθεί το 2030 στα 54,8 εκατ. βαρέλια ημερησίως, αντίθετα οι χώρες του ΟΠΕΚ θα παρουσιάσουν ανοδική τάση έως το 2040 φθάνοντας τα 61,2 εκατ. βαρέλια ημερησίως.



Διάγραμμα 37: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για τις χώρες εκτός ΟΠΕΚ, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως

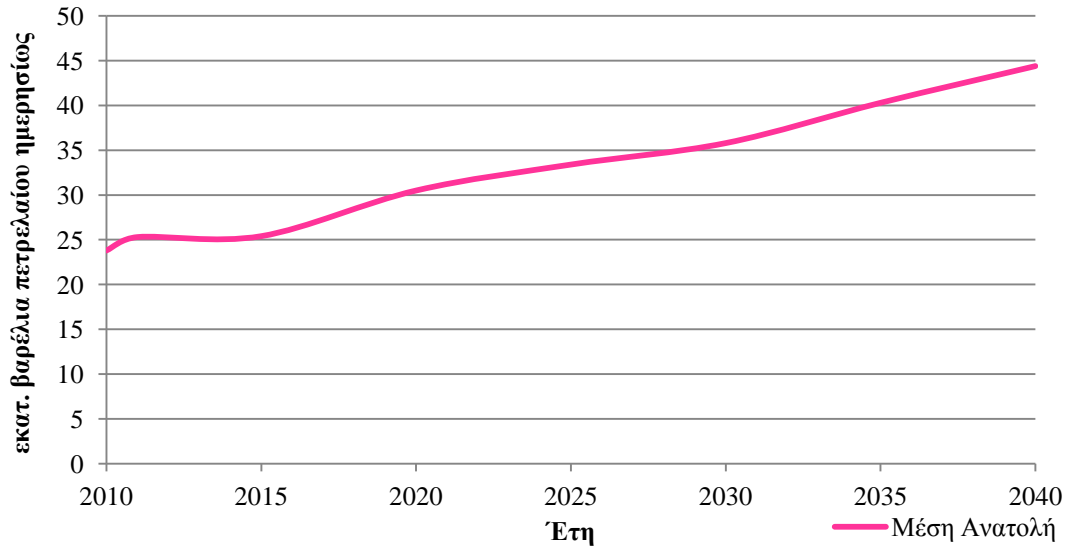
(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](#))



Διάγραμμα 38: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για τις χώρες του ΟΠΕΚ, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως

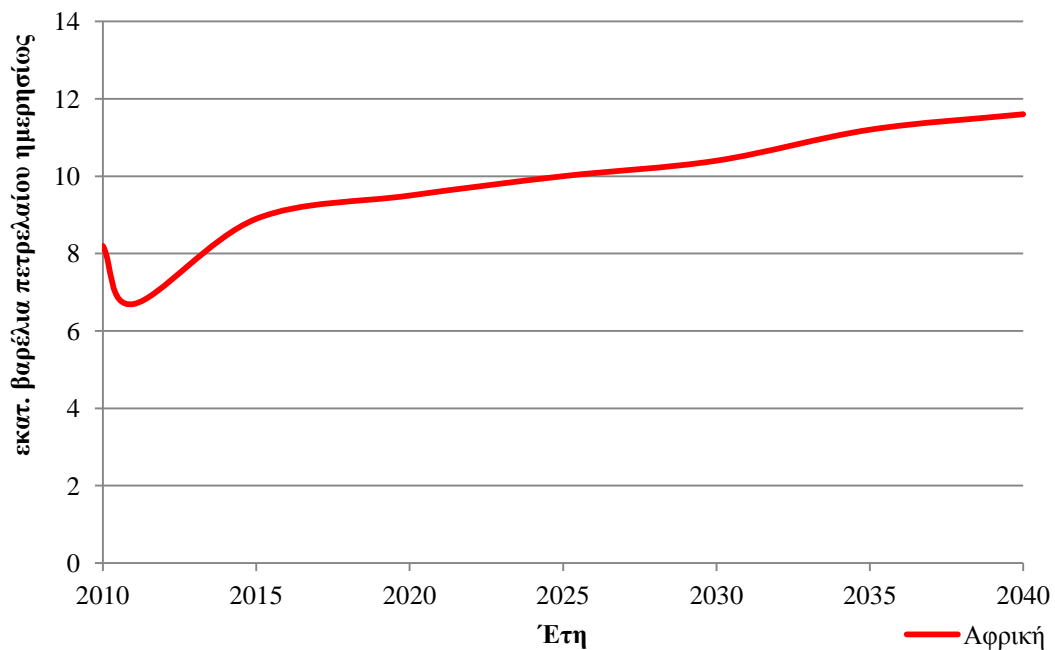
(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](#))

Η Μέση Ανατολή, η Αφρική και η Νότια Αμερική προβλέπεται ότι θα παρουσιάσουν άνοδο έως το 2040 φθάνοντας τα 44,4, 11,6 και 5.1 εκατ. βαρέλια ημερησίως, αντίστοιχα.



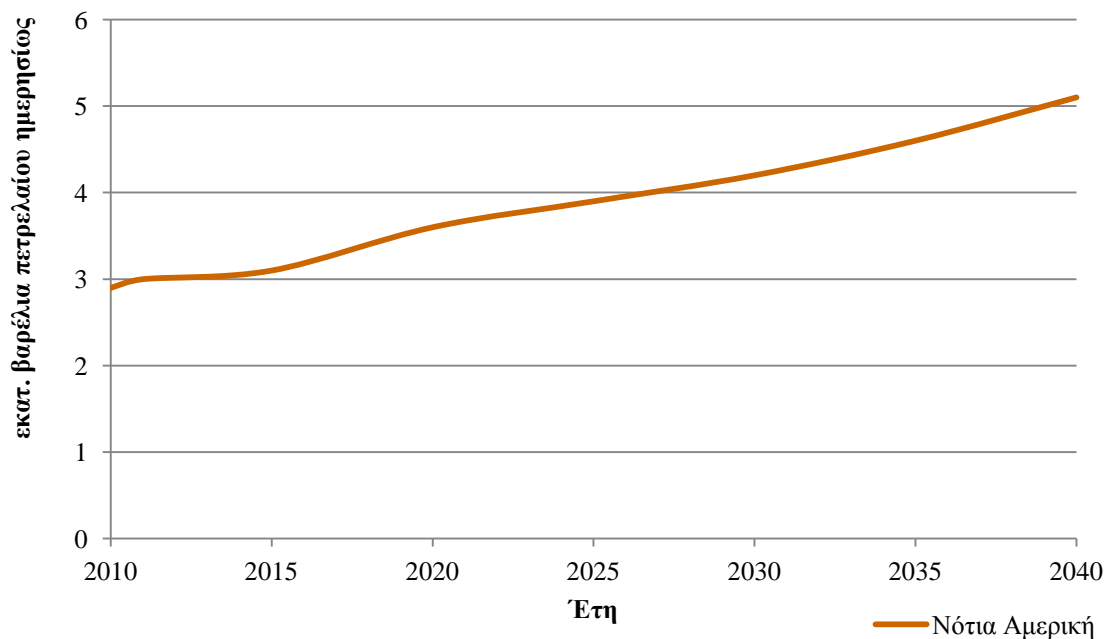
Διάγραμμα 39: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για τη Μέση Ανατολή, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως

(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](#))



Διάγραμμα 40: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για την Αφρική, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως

(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](#))



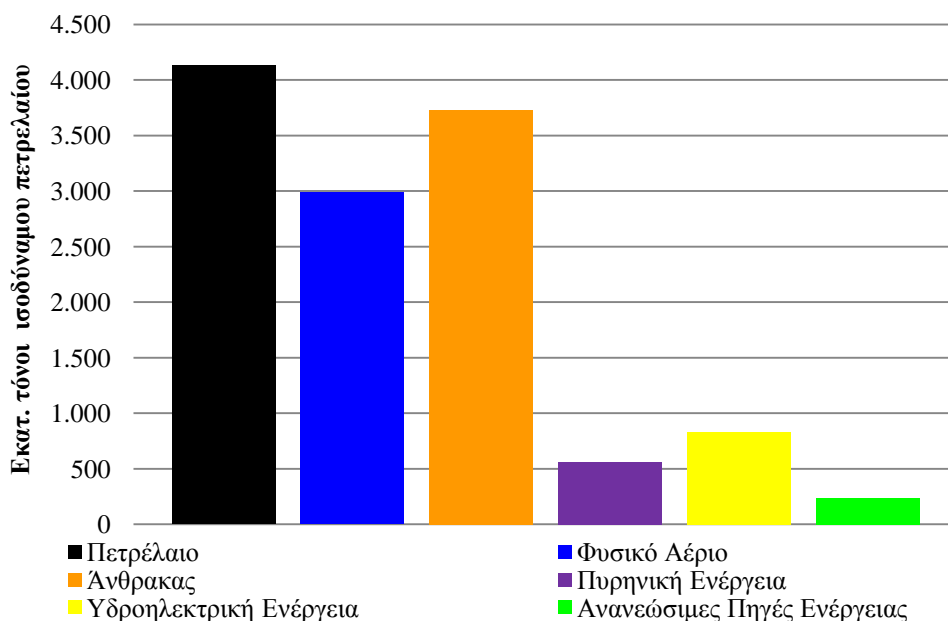
Διάγραμμα 41: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για την Νότια Αμερική, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως

(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration \(EIA\)](#))

4.1 Ζήτηση πετρελαίου και ενέργειας παγκοσμίως^{36,37}

Η ανθρωπότητα ολοένα και περισσότερο αναζητά ενέργεια για να καλύψει τις ανάγκες της λόγω προόδου και ανάπτυξης της παραγωγικότητας που τα τελευταία έτη είναι ιδιαίτερα ραγδαία. Η αναζήτηση για ενέργεια ξεκίνησε αρχικά από το ξύλο μετά μετέβη στο κάρβουνο, εν συνεχεία στο πετρέλαιο και στο φυσικό αέριο, ενώ προσπαθεί να κάνει στροφή στις Α.Π.Ε. για να προστατέψει το περιβάλλον μέσα στο οποίο ζει.

Σύμφωνα με τα δεδομένα από την αναφορά της BP το 2014 (BP Energy Outlook 2035) εξακολουθεί να κρατά τα σκήπτρα το πετρέλαιο ως πρώτη επιλογή στην παγκόσμια κατανάλωση, ακολουθεί ο άνθρακας, ενώ τελευταία επιλογή της ανθρωπότητας είναι οι Α.Π.Ε.

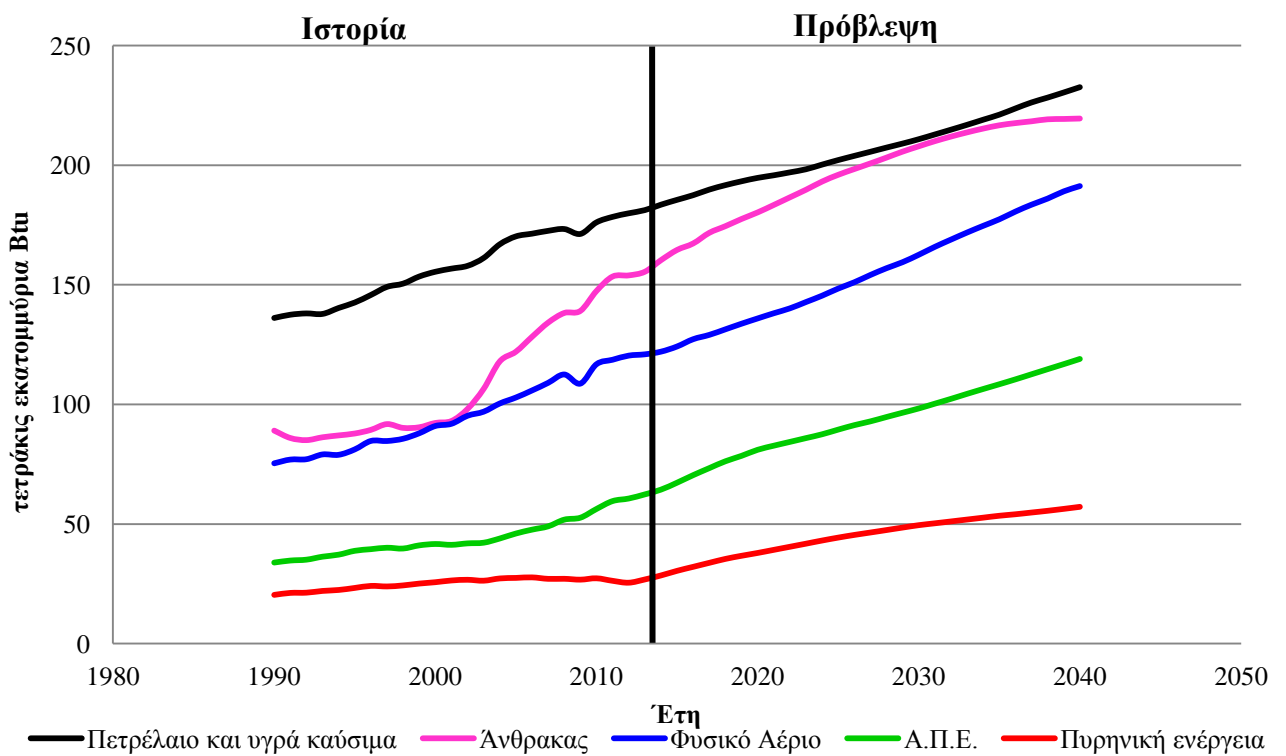


Διάγραμμα 42: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως για το έτος 2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

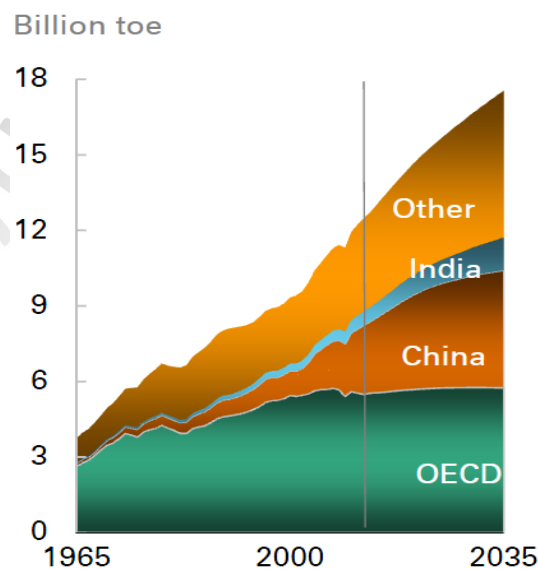
Επίσης στην αναφορά της η BP γίνεται αναφορά για την πρόβλεψη της παγκόσμιας ζήτησης σε πρωτογενή ενέργεια όπου προβλέπεται πως θα αυξηθεί κατά 41% μεταξύ του 2012 και του 2035 με μια σταθερή αύξηση 1,5% ετησίως. Η αύξηση θα μειωθεί από 2,2% ετησίως μεταξύ του 2005 και του 2015 σε 1,7% ετησίως μεταξύ του 2015 και του 2025 φθάνοντας το 1,1% ετησίως έως το 2035.

Από την πλευρά της Αμερικανικής Υπηρεσίας Ενεργειακών Πληροφοριών προβλέπεται πως η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας παγκοσμίως ολοένα και θα αυξάνεται με το πετρέλαιο να είναι η πρώτη επιλογή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κόσμου και την πυρηνική ενέργεια τελευταία. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και το φυσικό αέριο παρόλο που δεν κατέχουν την πρώτη επιλογή της ανθρωπότητας για κατανάλωση ενέργειας παρόλα αυτά παρουσιάζουν να έχουν τη μεγαλύτερη σταθερή ανοδική τάση από τα υπόλοιπα καύσιμα. Συμπεραίνουμε πως η ανθρωπότητα ναι μεν έχει κάνει μεγάλη πρόοδο ως προς τη χρήση των Α.Π.Ε. όμως θα συνεχίσει να εξαρτάται από το μαύρο χρυσό για αρκετά χρόνια ακόμη.



Διάγραμμα 43: Προβλέψεις για την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου, έως το 2040 σε τετράκις εκατομμύρια Btu

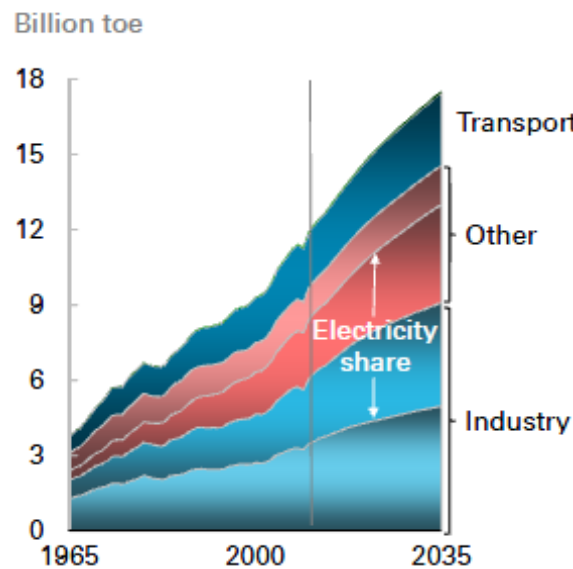
(Πηγή: [U.S. Energy Information Administration, International Energy Outlook 2013, p.2](#))



Σχήμα 17: Πρόβλεψη της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενής ενέργειας ανά περιοχή έως το 2035

(Πηγή: [BP Energy Outlook 2035](#))

Όπως παρατηρείται από το παραπάνω σχήμα η Κίνα έχει αναδειχθεί ως ο βασικότερος παράγοντας στη συνεισφορά της αύξησης της ζήτησης ενέργειας για τα επόμενα έτη, όμως μέχρι το τέλος της πρόγνωσης η συνεισφορά της Κίνας στην αύξηση της ζήτησης προβλέπεται σιγά-σιγά να μειώνεται. Αντίθετα η Ινδία συνεχώς και αυξάνει τη ζήτηση για ενέργεια στη τελευταία δεκαετία (2025-2035) που πραγματοποιήθηκε η πρόγνωση.



Σχήμα 18: Πρόβλεψη της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενής ενέργειας ανά τομέα έως το 2035

(Πηγή: [BP Energy Outlook 2035](#))

Παρατηρείται πως η βιομηχανία κρατάει την κυριαρχία στην αύξηση της κατανάλωσης της πρωτογενής ενέργειας και υπολογίζεται πως αντιπροσωπεύει περισσότερο από το ήμισυ της αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης για το 2012-2035. Αυτό αντικατοπτρίζει τον πρωτοφανή ρυθμό και κλίμακα της εκβιομηχάνισης στην Ασία και κατά συνέπεια την αύξηση ζήτησης πρωτογενής ενέργειας. Ακολουθούν οι άλλοι τομείς για την κάλυψη των αναγκών των κατοικιών, των υπηρεσιών και της γεωργίας και τέλος είναι ο τομέας των μεταφορών που εξακολουθεί να έχει ένα μικρό μερίδιο στην αύξηση της ζήτησης της πρωτογενής ενέργειας και θα συνεχίσει να αυξάνεται συνεχώς με ρυθμό 13% ετησίως για το χρονικό διάστημα 2012-2035.

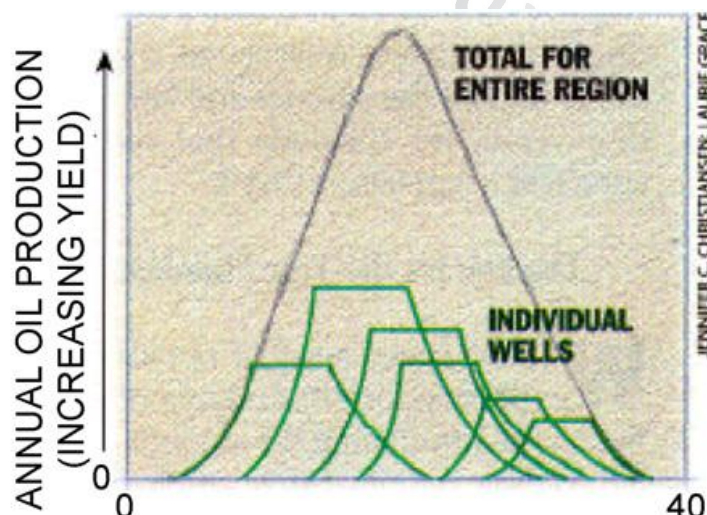
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΚΟΡΥΦΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (Peak Oil Theory)

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

5.1 Θεωρία της κορύφωσης παραγωγής πετρελαίου (Peak Oil Theory) και οι δυο σχολές σκέψης ^{26,39,40,41}

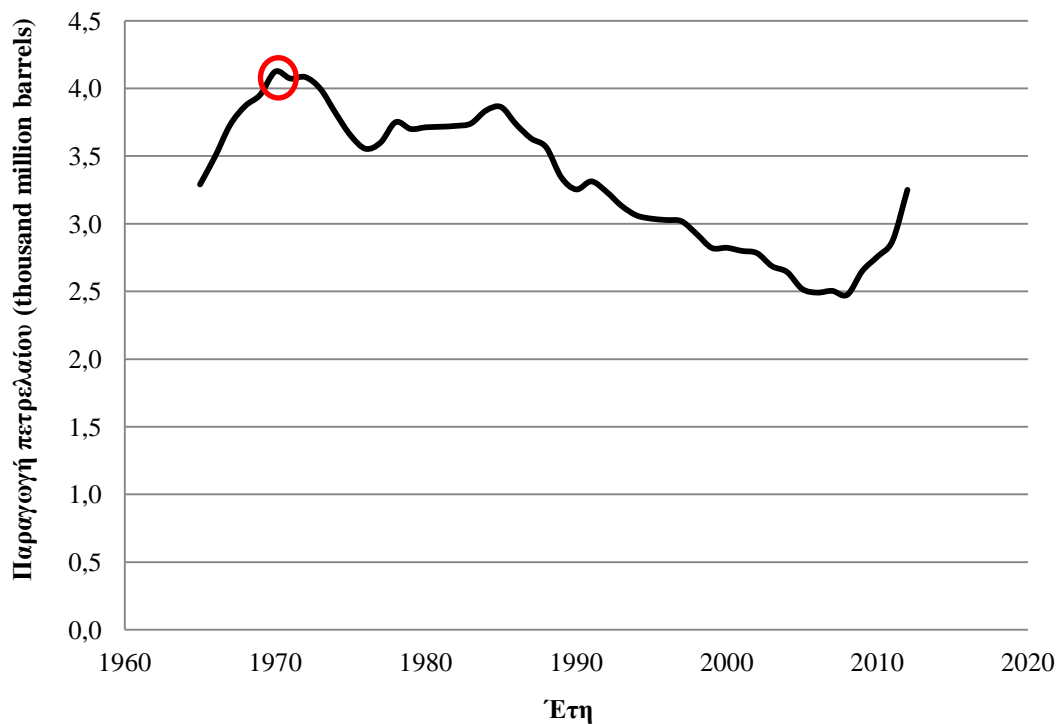
Ο Αμερικάνος γεωλόγος King Hubbert ήταν αυτός που πρωτοασχολήθηκε με τη θεωρία περί κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου στις Η.Π.Α. το 1956., όπου είχε προβλέψει ότι θα κορυφωθεί η παραγωγή πετρελαίου των Η.Π.Α. στις αρχές της δεκαετίας του '70 αλλά δεν έλαβε η πρόβλεψη αυτή την αναγνώριση που της άρμοζε και απαξιώθηκε ευρέως. Ο Hubbert απεικόνισε τη παραγωγή πετρελαίου των Η.Π.Α. με μια κωνοειδής καμπύλη που μετέπειτα ονομάστηκε καμπύλη του Hubbert. Η κορύφωση της ετήσιας παραγωγής πετρελαίου (peak oil production) δε σημαίνει το τέλος της παραγωγής αλλά το σημείο στο οποίο έχει παραχθεί η μισή ποσότητα του πετρελαίου, ενώ η άλλη μισή ποσότητα αυτού είναι είτε χαμηλότερης ποιότητας, είτε ευρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος, καθιστώντας δαπανηρότερη τη διαδικασία διύλισης και άντλησης/καθαρισμού αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι φθάνοντας ο πλανήτης σε κορύφωση παραγωγής πετρελαίου αυτόματα φτάνει και το τέλος του σχετικά φθηνού πετρελαίου.



Σχήμα 19: Καμπύλη κορύφωσης του Hubbert

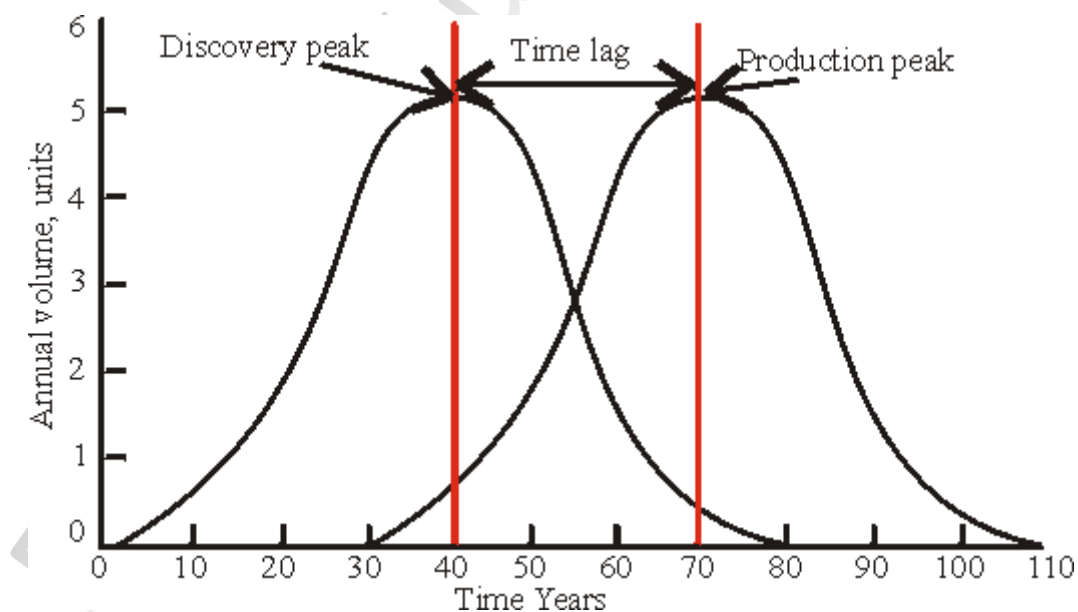
(Πηγή: [Campbell, C.J., Laherre, J., «The end of cheap oil», Scientific American, March 1998, p.80](#))

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Υπηρεσία Ενεργειακών Πληροφοριών των Η.Π.Α., δείχνουν ότι όντως η αμερικανική παραγωγή πετρελαίου έφθασε στο σημείο κορύφωσής της το 1971 όπως είχε προβλέψει χρόνια πριν ο Hubbert, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα σε κόκκινο πλαίσιο.



Διάγραμμα 44: Παραγωγή πετρελαίου των Η.Π.Α. για τα έτη 1965-2012

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))



Σχήμα 20: Καμπύλη κορύφωσης του πετρελαίου που έχει ανακαλυφθεί ως απόθεμα και της παραγωγής του σύμφωνα με το μοντέλο του Hubbert

(Πηγή: [Campbell, C.J., Laherre, J., «The end of cheap oil», Scientific American, March 1998, p.80](#))

Στο παραπάνω σχήμα αριστερά απεικονίζεται η καμπύλη που παριστάνει τις ανακαλύψεις κοιτασμάτων πετρελαίου. Θεωρητικά ο ρυθμός ανακαλύψεων θα αυξάνει όλο και πιο γρήγορα, ώσπου φτάνουμε σε μια κορύφωση, ενώ έπειτα ακολουθεί ταχύτερη πτώση. Για τις Η.Π.Α., η χρονιά που οι ανακαλύψεις κοιτασμάτων έφθασαν στο μέγιστο σημείο τους, ήταν το 1940. Στα δεξιά του σχήματος είναι η καμπύλη που 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 Η.Π.Α. έφθασαν στο μέγιστο της παραγωγής τους το 1971, όπως παρουσιάστηκε και στο Διάγραμμα 44. Από το 1971 η παραγωγή πετρελαίου των Η.Π.Α. έχει σταθερά πτωτική πορεία, παρά την ανακάλυψη των τεράστιων αποθεμάτων πετρελαίου στην Αλάσκα και στον Κόλπο του Μεξικού και παρά τη χρήση της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογία για τον τομέα του πετρελαίου στον κόσμο. Αυτή η τάση είχε ως συνέπεια να μην είναι η νούμερο ένα χώρα παραγωγής πετρελαίου αλλά υποβιβάστηκε στην τρίτη θέση και τα 2/3 της ζήτησης να καλύπτονται από εισαγωγές.

Μια σημαντική συνέπεια της θεωρίας Hubbert είναι ότι το ποσοστό της παραγωγής αρχίζει να μειώνεται πολύ πριν αρχίσουν να προσεγγίζουν το τέλος τους τα αποθέματα. Στην πραγματικότητα, έχει παρατηρηθεί ότι η κορυφή της παραγωγής συχνά εμφανίζεται όταν τα αποθέματα βρίσκονται κοντά στο υψηλότερο σημείο τους. Αυτή η παρατήρηση είναι ίσως η μεγαλύτερη πηγή σύγχυσης στο ευρύ κοινό, όπως οι περισσότεροι άνθρωποι συνδέουν την αύξηση των αποθεμάτων με την αύξηση της δυναμικότητας παραγωγής των διυλιστηρίων ή την ίδια την παραγωγή πετρελαίου.

Ο Hubbert έκανε κάποιους θεωρητικούς υπολογισμούς για να μπορέσει να δώσει με ακρίβεια την χρονική διαφορά των δυο καμπυλών όταν είναι στο μέγιστο σημείο τους και υπολόγισε ότι απέχουν μεταξύ τους περίπου 30 χρόνια. Επειδή η τεχνολογία από την εποχή του έχει βελτιωθεί, οι ειδικοί μεταθέτουν την απόσταση στα 40-45 χρόνια. Σύμφωνα με την άποψη αυτή, αν γνωρίζουμε ποιά ήταν η χρονική περίοδος με τις περισσότερες ανακαλύψεις κοιτασμάτων πετρελαίου, μπορούμε να προβλέψουμε πότε θα έχουμε και το μέγιστο της παραγωγής πετρελαίου.

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για να προβλεφθεί πότε θα επέλθει η κορύφωση της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου. Η συνεχής αύξηση της τιμής του πετρελαίου τα τελευταία έτη έχει ως αποτέλεσμα πολλοί να θεωρούν πως είναι απόρροια της μείωσης των πετρελαϊκών πόρων.

Υπήρξαν δυο σχολές σκέψης για τη θεωρία του Hubbert, η απαισιόδοξη με κύριους εκφραστές κυρίως γεωλόγους-οικολόγους και η αισιόδοξη με εκφραστές κυρίως οικονομολόγους.

5.1.1 Απόψεις αισιόδοξων και απαισιόδοξων⁴²

Ο σύγχρονος βιομηχανικός πολιτισμός καταναλώνει ορυκτούς και ενεργειακούς πόρους που δίχως αυτούς θα κατέρρεε. Το ερώτημα που τίθεται είναι εάν υπάρχει αρκετή ενεργειακή «τροφή» ώστε να ικανοποιήσει την παρούσα και αναμενόμενη ζήτηση του βιομηχανικού πολιτισμού. Συνεπώς η ανάγκη για ακόμα περισσότερη ενέργεια είναι δεδομένη. Η επέκταση της παραγωγής αλλά και η αντιμετώπιση των ορίων για ανάπτυξη προϋποθέτουν την ύπαρξη περισσότερης ενέργειας.

Η άποψη των οικονομολόγων

Σύμφωνα με τους οικονομολόγους είναι πιθανό να μπορεί η ανθρωπότητα να παράγει την ενέργεια που χρειάζεται για την αναπτυσσόμενη ζήτηση για περιορισμένη χρονική περίοδο, όμως οι συνέπειες είναι πιθανό να γίνουν σοβαρές, οφειλόμενες στη λειτουργία βασικών φυσικών νόμων κατά τους οποίους ορισμένα είδη ρυπάνσεως είναι αναπόφευκτα ενώ άλλες παρενέργειες της επεκτάσεως της παραγωγής ενέργειας θα είναι εξαιρετικά προβληματικές. Όλες οι προβλέψεις ζήτησεως βασίζονται σε ορισμένες υποθέσεις όπως είναι τα μέτρα εξοικονομήσεως της ενέργειας και πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες που θα κάνουν πιθανή μεγαλύτερη απόδοση ανά μονάδα εισερχόμενης ενέργειας ή ότι μεγαλύτερες τιμές ενέργειας θα εμποδίσουν σημαντικά την ανάπτυξη της ζήτησεως.

Η άποψη των οικολόγων

Οι οικολόγοι υποστήριζαν πως η παγκόσμια προσφορά ενεργειακών καυσίμων, με εξαίρεση τον άνθρακα, δεν είναι αρκετή να καλύψει τα επίπεδα ζήτησεως πολύ πέραν του τέλους του 20^{ου} αιώνα. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Meadows και των υπολοίπων, το 1974 όσον αφορά στην αναμενόμενη διάρκεια ζωής του άνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου εκτιμήθηκε πως ο κόσμος βρίσκεται στις τελευταίες δεκαετίες της εποχής των ορυκτών καυσίμων. Επιπρόσθετα οι οικολόγοι προέβλεπαν πως η εξάντληση του φυσικού αερίου και του πετρελαίου θα ενισχύσει την υποκατάστασή τους από τον άνθρακα του οποίου τα αποθέματα, αποτυπώνονται ως προς το ενεργειακό περιεχόμενό τους, είναι υψηλότερα των αντίστοιχων αποθεμάτων φυσικών πόρων και πετρελαίου, λαμβανομένων αθροιστικά, σε πολλές χρήσεις, επιτυγχάνοντας την έλευση της ημέρας που και αυτός θα εξαντληθεί.

Πίνακας 6: Ιστορική αναμενόμενη διάρκεια ζωής των σημαντικότερων καυσίμων, σύμφωνα με την έκθεση του MIT, που σήμανε την έναρξη μιας νέας εποχής με τη μελέτη των Ορίων της Ανάπτυξης «The limits to Growth».

| Καύσιμο | Στατικά Αποθέματα (έτη) ¹ | Ρυθμός Αναπτύξεως | Χρόνος Διπλασιασμού (έτη) | Εκθετικά Αποθέματα (έτη) ¹ |
|--------------|--------------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Άνθρακας | 3100 - 5100 | 4,1% | 18 | 118 - 132 |
| Φυσικό αέριο | 30 - 300 | 4,7% | 17 | 19 - 58 |
| Πετρέλαιο | 38 - 110 | 3,9% | 19 | 23 - 43 |

(Πηγή: [Meadows et all, «The limits to Growth» 1974. Figure 5-1](#))

Οι οικολόγοι πίστευαν πως η εκτίμηση των αποθεμάτων που υπολείπονται είναι μια εξαιρετικά αβέβαιη επιχείρηση, λόγω της γεωλογικής άγνοιας και των διαφορετικών οικονομικών υποθέσεων και της αποτελεσματικότητας της διεργασίας αντλήσεως. Επίσης υποστήριζαν πως είναι εξαιρετικά αισιόδοξο ότι θα μπορούσαν να ανακαλυφθούν δέκα φορές περισσότερα αποθέματα από εκείνα του παραπάνω πίνακα. Δεδομένη εκθετική ανάπτυξη (ή ακόμα και μηδενική αλλά με συνεχιζόμενη υψηλή ζήτηση) δε θα έχει μεγάλη επίδραση στο χρόνο εξαντλήσεως των αποθεμάτων.

Η επικείμενη εξάντληση του πετρελαίου παρουσιάζει μια ιδιαίτερη πρόκληση για την παρούσα μορφή του βιομηχανικού πολιτισμού. Ο άνθρακας μπορεί να μετατραπεί σε αέριο ή υγρό καύσιμο. Όμως αυτό μετατρέπει απλώς την ενέργεια από μια μορφή σε μια άλλη (με κόστος για το περιβάλλον, ενεργειακό κόστος και κόστος σε χρήματα) και αυξάνει το ρυθμό χρησιμοποίησης των αποθεμάτων άνθρακα. Εναλλακτικές πηγές υγρών υδρογονανθράκων είναι οι σχιστόλιθοι που περιέχουν πετρέλαιο και κοιτάσματα πισσούχου άμμου. Συγκεκριμένα οι Η.Π.Α. έχουν υψηλά αποθέματα από σχιστόλιθους και ο Καναδάς από πισσούχο άμμο. Όμως οι οικολόγοι επισημαίνουν πως η λήψη υγρών καυσίμων από τέτοιες πηγές θα προξενήσουν τεράστιο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Θα πρέπει να εξορυχτούν τεράστιες ποσότητες βράχων, να υποστούν επεξεργασία και να απορριφθούν με μεγάλο οικονομικό, ενεργειακό και περιβαλλοντικό κόστος. Επιπλέον, η τροφοδοσία νερού είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στην παραγωγή πετρελαίου από σχιστόλιθους. Συγκεκριμένα υποστηρίζουν πως δεν υπάρχει αρκετό νερό για να επιτρέψει ελπίδες πλήρους κλίμακας ανάπτυξης παραγωγής πετρελαίου από σχιστόλιθους, καθώς επίσης ότι τα υψηλής περιεκτικότητας κοιτάσματα τέτοιων πηγών είναι περιορισμένα.

¹ Ο μικρότερος αριθμός είναι για τα προσδιορισμένα αποθέματα μόνο ο μεγαλύτερος περιλαμβάνει τα υποθετικά και τα θεωρητικά αποθέματα και ο επόμενος αντιπροσωπεύει το ανώτερο όριο διαθεσιμότητας των πόρων αυτών.

5.1.2 Η Λέσχη της Ρώμης⁴²

Η Λέσχη της Ρώμης είναι μια παγκόσμια δεξαμενή σκέψης (think tank²) που εξετάζει ποικίλα διεθνή πολιτικά θέματα. Ιδρύθηκε το 1968 στην Ακαδημία Lincean (Accademia dei Lincei) στη Ρώμη της Ιταλίας και περιγράφεται ως «μια ομάδα από πολίτες του κόσμου, που συμερίζονται μια κοινή ανησυχία για το μέλλον της ανθρωπότητας». Αποτελείται από πρώην και νυν αρχηγούς κρατών, γραφειοκράτες των Ηνωμένων Εθνών, πολιτικούς υψηλού επιπέδου και κυβερνητικούς αξιωματούχους, διπλωμάτες, επιστήμονες, οικονομολόγους και ηγέτες του επιχειρηματικού κόσμου από όλο τον κόσμο. Κίνησε την προσοχή του κοινού το 1972 η Λέσχη της Ρώμης με την έκθεσή της με τίτλο «Τα όρια της ανάπτυξης». Η Λέσχη δηλώνει ότι η αποστολή της είναι να ενεργήσει ως σφαιρικός καταλύτης για την αλλαγή μέσω του προσδιορισμού και της ανάλυσης των κρίσιμων προβλημάτων που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα και την επικοινωνία τέτοιων προβλημάτων στους σημαντικότερους δημόσιους και ιδιωτικούς ιθύνοντες καθώς επίσης και στο ευρύ κοινό. Από την 1^η Ιουλίου του 2008, η οργάνωση έχει την έδρα της στο Winterthur της Ελβετίας.

Απρίλιος 1968

Τον Απρίλιο του 1968, μια ομάδα τριάντα ατόμων από δέκα χώρες - επιστήμονες, εκπαιδευτικούς, οικονομολόγους, ανθρωπιστές, βιομήχανους, και εθνικούς και διεθνείς δημόσιους υπαλλήλους – συγκεντρώθηκε στην Ακαδημία Lincean στη Ρώμη. Η συνάντηση πραγματοποιήθηκε υπό την υποκίνηση του Δρ Aurelio Peccei, ενός Ιταλού βιομηχανικού διευθυντή, οικονομολόγου καθώς και οραματιστή, ώστε να συζητηθεί ένα θέμα με σημαντικό αντικείμενο – τη δύσκολη θέση του ανθρώπου στο παρόν αλλά και στο μέλλον.

Σκοπός της Λέσχης της Ρώμης

Ο σκοπός της είναι να ενθαρρύνει την κατανόηση ποικίλων αλλά και αλληλένδετων συνιστωσών – οικονομική, πολιτική, φυσική και κοινωνική συνιστώσα - που συνθέτουν το παγκόσμιο σύστημα στο οποίο όλοι ζούμε ώστε να εξασφαλίσουν νέα αντίληψη επικεντρώνοντας την προσοχή στους φορείς χάραξης πολιτικής καθώς και στον κόσμο.

² Ένα πολιτικό ίδρυμα (που καλείται συχνά «think tank» από τους δημοσιογράφους) είναι μια οργάνωση που ασχολείται με την έρευνα και την υπεράσπιση θεμάτων σχετικά με την η κοινωνική πολιτική, την πολιτική στρατηγική, τα οικονομικά, την τεχνολογία και τον πολιτισμό. Τα περισσότερα πολιτικά ίδρυμα είναι μη κερδοσκοπικές οργανώσεις, στις οποίες μερικές χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες και ο Καναδάς τους παρέχουν φοροαπαλλαγή. Άλλες think tanks χρηματοδοτούνται από τις κυβερνήσεις, από υποστηρικτικές ομάδες ή επιχειρήσεις.

Το σχέδιο για τη δυσάρεστη κατάσταση της ανθρωπότητας (The project on the predicament of mankind)

Έπειτα από μια σειρά συναντήσεων η Λέσχη αποφάσισε να ασχοληθεί με ένα αρκετά φιλόδοξο εγχείρημα για την εποχή και συγκεκριμένα με - Το σχέδιο σχετικά με τη δυσάρεστη κατάσταση της ανθρωπότητας.

Ο σκοπός του έργου είναι να εξετάσει την πολυπλοκότητα των προβλημάτων που ενοχλούν τα άτομα όλων των εθνών: τη φτώχεια στη μέση της αφθονίας, την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, την απώλεια πίστης στους θεσμούς, την ανεξέλεγκτη αστική εξάπλωση, την αβεβαιότητα της απασχόλησης, την αλλοτρίωση της νεολαίας, την απόρριψη των παραδοσιακών αξιών και τον πληθωρισμός καθώς και άλλες νομισματικές και οικονομικές διαταραχές.

Αυτά τα φαινομενικά αποκλίνοντα τμήματα του "δυσεπίλυτου κόσμου", όπως τα αποκαλεί η Λέσχη της Ρώμης, έχουν τρία κοινά χαρακτηριστικά: αυτά συμβαίνουν σε κάποιο βαθμό σε όλες τις κοινωνίες, περιέχουν τεχνικά, κοινωνικά, οικονομικά και πολιτικά στοιχεία και πιο σημαντικό από όλα, αλληλεπιδρούν.

Η πρώτη φάση του προγράμματος για τη δυσάρεστη θέση της ανθρωπότητας πήρε συγκεκριμένη μορφή σε συναντήσεις που πραγματοποιήθηκαν το καλοκαίρι του 1970 στη Βέρνη, την Ελβετία, και το Κέμπριτζ, και την Μασαχουσέτη. Σε μια δεκαπενθήμερη διάσκεψη στο Κέμπριτζ, ο καθηγητής Jay Forrester του Τεχνολογικού Ιδρύματος της Μασαχουσέτης παρουσίασε ένα παγκόσμιο μοντέλο που επιτρέπει σαφή προσδιορισμό πολλών συγκεκριμένων συνιστωσών του προβληματισμού και πρότεινε μια τεχνική για να αναλύσει τη συμπεριφορά και τις σχέσεις των σημαντικών εξ αυτών. Η παρουσίαση αυτή οδήγησε στην έναρξη της πρώτης φάσης στο MIT, όπου το πρωτοποριακό έργο του καθηγητή Forrester και άλλοι στον τομέα της δυναμικής των συστημάτων δημιούργησαν ένα σώμα εμπειρογνομosύνης μοναδικά κατάλληλο στις ερευνητικές απαιτήσεις.

Η μελέτη της πρώτης φάσης διεξήχθη από διεθνή ομάδα, υπό την καθοδήγηση του καθηγητή Dennis Meadows, με χρηματοδοτική στήριξη από το Ίδρυμα Volkswagen. Η ομάδα εξέτασε τους πέντε βασικούς παράγοντες- τον πληθυσμό, την αγροτική παραγωγή, τους φυσικούς πόρους, τη βιομηχανική παραγωγή και τη ρύπανση - που καθορίζουν και ως εκ τούτου, τελικά περιορίζουν την αύξηση του πλανήτη.

• **Η αναφορά της Λέσχης της Ρώμης: Τα όρια της ανάπτυξης**

Η έκθεση αυτή αποτελεί βασικό παράγοντα στη δεκαετία του '70 που συμβάλλει στην κατανόηση ότι οι πόροι είναι πεπερασμένοι. Η χρήση των πεπερασμένων πόρων από τον άνθρωπο θα μπορούσε να φθάσει στα όρια εντός κατανοητών προθεσμιών και ότι οι πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πόρων, του πληθυσμού, του κεφαλαίου και της ρύπανσης απαιτούν ένα σύστημα σκέψης.

- Το πρωτότυπο μοντέλο στο οποίο βασίστηκε η έκθεση της Ρώμης από τον Καθηγητή Jay W. Forrester από το MIT. (Το μοντέλο δημοσιεύτηκε στο βιβλίο με τίτλο *World Dynamics – Cambridge, Mass: Wright-Allen Press, 1971*)⁴⁹

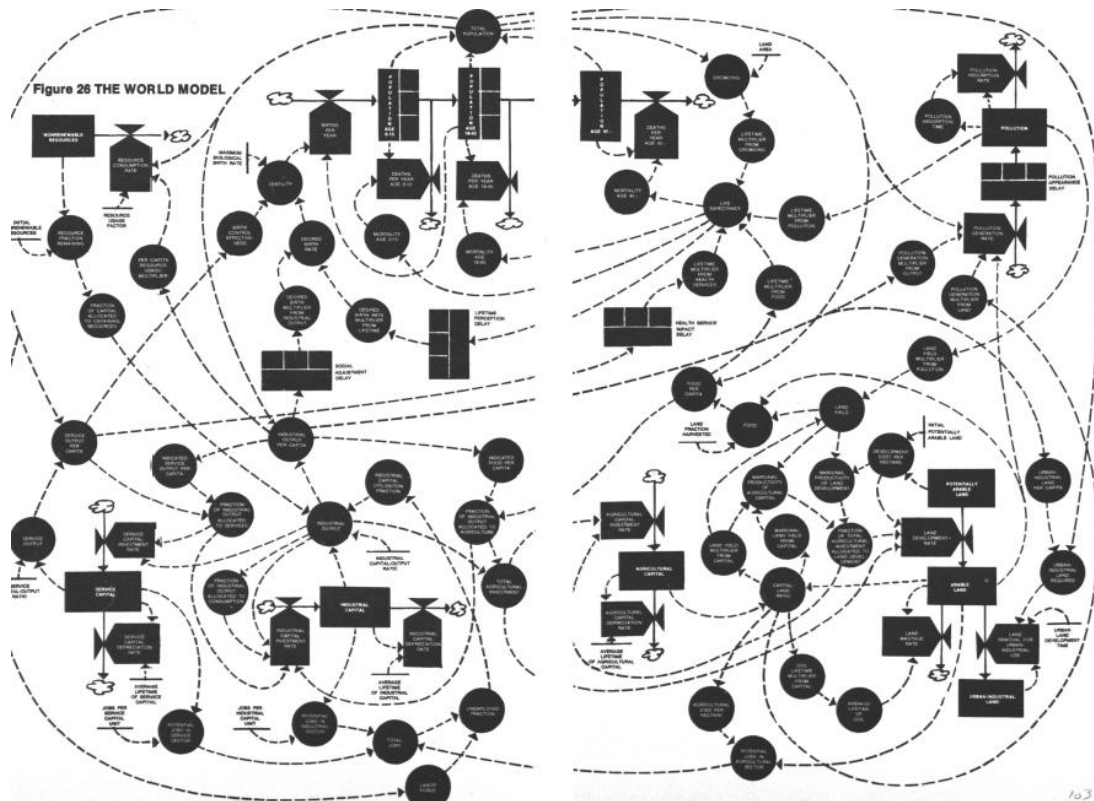
Το κλασικό μοντέλο του Forrester της παγκόσμιας δυναμικής είναι ένα σύστημα πέντε διαφορικών εξισώσεων, που σχετίζονται με 5 μακρο-οικονομικές μεταβλητές (ο πληθυσμός, οι φυσικοί πόροι, η ρύπανση, η γεωργική και βιομηχανική παραγωγή, οι επενδύσεις κεφαλαίου και η ποιότητα ζωής). Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε στο 1970-1971 και περιγράφεται το σχέδιο των πειραμάτων και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης.

Το 1970 που η Λέσχη της Ρώμης ζήτησε από τον John Forrester (Καθηγητής του MIT) να δημιουργήσει ένα μοντέλο, που θα μπορούσαν να προβλέψουν την ανάπτυξη του κόσμου. Σε δυο εβδομάδες παρουσίασε το μοντέλο του "Κόσμου-1", αλλά αυτό το μοντέλο αποδείχθηκε ότι είναι πάρα πολύ αργό. Το 1971 ο Forrester, παρουσίασε το δεύτερο μοντέλο που ονομάζεται "Κόσμο-2". Στο έργο του ο Forrester επέλεξε πέντε κύρια προβλήματα, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν παγκόσμια κρίση στο μέλλον. Τα οποία είναι ο υπερπληθυσμός στον πλανήτη, η έλλειψη βασικών πόρων, ένα κρίσιμο επίπεδο ρύπανσης, η έλλειψη τροφίμων και η εκβιομηχάνιση.

Κάθε ένα από τα παραπάνω προβλήματα αντιστοιχούν σε μια μεταβλητή όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

- Πληθυσμός (P)
- Ρύπανση (Z)
- Φυσικοί πόροι (R)
- Επενδύσεις κεφαλαίου (πάγια περιουσιακά στοιχεία) (K)
- Ποσοστό των κεφαλαίων που επενδύονται στον τομέα της γεωργίας (X)

Όλες οι μεταβλητές ενώθηκαν σε ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων. Ο Forrester ανέπτυξε τις αρχές της δυναμικής των συστημάτων οι οποίες προσδιορίζουν τη δομή του προαναφερθέντος συστήματος των εξισώσεων.



Εικόνα 11: Το μοντέλο του κόσμου αποτυπωμένο σε διάγραμμα ροής.

(Πηγή: [The Limits to Growth, A report for the CLUB OF ROME'S project on the predicament of mankind, Figure 26 p.102, 1972](#))

Στην Εικόνα 11 απεικονίζεται το μοντέλο του κόσμου αποτυπωμένο σε διάγραμμα ροής. Τα επίπεδα ή τα φυσικά μεγέθη μπορούν να μετρηθούν άμεσα συμβολίζονται με ορθογώνια, οι τιμές που επηρεάζουν τα επίπεδα συμβολίζονται με βαλβίδες και οι βοηθητικές μεταβλητές που επηρεάζουν το ρυθμό των εξισώσεων συμβολίζονται με κύκλους. Οι χρονικές καθυστερήσεις συμβολίζονται με τμήματα μέσα σε ορθογώνια. Οι πραγματικές ροές των ανθρώπων, των εμπορευμάτων, των χρημάτων κ.λπ., συμβολίζονται από συνεχόμενα βέλη και οι αιτιώδεις σχέσεις από διακεκομμένα βέλη. Τα σύννεφα αντιπροσωπεύουν πηγές που δεν είναι σημαντικές για τη συμπεριφορά του μοντέλου.

Πριν από την έκθεση αυτή, η χρήση του πετρελαίου αυξανόταν με ρυθμό περίπου στο 7% ετησίως και οι υπολογισμοί της Λέσχης της Ρώμης σωστά έδειξαν ότι αν αυτό το είδος του ρυθμού ανάπτυξης συνεχιζόταν, βάση των μέχρι τότε γνωστών πόρων θα εξαντληθούν σ' ένα εκπληκτικά σύντομο χρονικό διάστημα.

Οι συγγραφείς της αναφοράς έδωσαν έναν πίνακα, φτιάχνοντας μια λίστα με τα μέχρι τότε αποδεδειγμένα αποθέματα διαφόρων ορυκτών, συμπεριλαμβανομένου και του πετρελαίου, όπου υπολογίστηκε στα 455 δισεκατ. βαρέλια. Οι συγγραφείς αναγνώρισαν ότι το ποσό που έδωσαν για κάθε ορυκτό αντιπροσώπευε μόνο τον πόρο που βρέθηκε μέχρι τότε, και πρότεινε ότι ένα μεγαλύτερο ποσό, μέχρι ίσως και έξι

φορές περισσότερο, μπορεί να αντιπροσωπεύει την συνολική ωφέλιμη ποσότητα του ορυκτού αυτού. Στην περίπτωση του πετρελαίου, συμπτωματικά, έξι φορές τα 455 δισεκατ. βαρέλια είναι περίπου σωστές για την αρχική εκτίμηση των αποθεμάτων.

| Resource | Known Global Reserves ^a | Static Index (years) ^b | Projected Rate of Growth (% per Year) ^c High Av. Low | | | Exponential Index (years) ^d | Exponential Index Calculated Using 5 Times Known Reserves (years) ^e | Resource | Known Global Reserves ^a | Static Index (years) ^b | Projected Rate of Growth (% per Year) ^c High Av. Low | | | Exponential Index (years) ^d | Exponential Index Calculated Using 5 Times Known Reserves (years) ^e |
|-----------|--|-----------------------------------|--|-----|------------------|--|--|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|-----|-----|--|--|
| Aluminum | 1.17×10 ⁹ tons ¹ | 100 | 7.7 | 6.4 | 5.1 | 31 | 55 | Molybdenum | 10.8×10 ⁹ lbs | 79 | 5.0 | 4.5 | 4.0 | 34 | 65 |
| Chromium | 7.75×10 ⁸ tons | 420 | 3.3 | 2.6 | 2.0 | 95 | 154 | Natural Gas | 1.14×10 ¹⁵ cu ft | 38 | 5.5 | 4.7 | 3.9 | 22 | 49 |
| Coal | 5×10 ¹² tons | 2300 | 5.3 | 4.1 | 3.0 ² | 111 | 150 | Nickel | 147×10 ⁹ lbs | 150 | 4.0 | 3.4 | 2.8 | 53 | 96 |
| Cobalt | 4.8×10 ⁹ lbs | 110 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 60 | 148 | Petroleum | 455×10 ⁹ bbls | 31 | 4.9 | 3.9 | 2.9 | 20 | 50 |
| Copper | 308×10 ⁶ tons | 36 | 5.8 | 4.6 | 3.4 | 21 | 48 | Platinum Group ^m | 429×10 ⁶ troy oz | 130 | 4.5 | 3.8 | 3.1 | 47 | 85 |
| Gold | 353×10 ⁶ troy oz | 11 | 4.8 | 4.1 | 3.4 ¹ | 9 | 29 | Silver | 5.5×10 ⁹ troy oz | 16 | 4.0 | 2.7 | 1.5 | 13 | 42 |
| Iron | 1×10 ¹¹ tons | 240 | 2.3 | 1.8 | 1.3 | 93 | 173 | Tin | 4.3×10 ⁶ lg tons | 17 | 2.3 | 1.1 | 0 | 15 | 61 |
| Lead | 91×10 ⁶ tons | 26 | 2.4 | 2.0 | 1.7 | 21 | 64 | Tungsten | 2.9×10 ⁹ lbs | 40 | 2.9 | 2.5 | 2.1 | 28 | 72 |
| Manganese | 8×10 ⁸ tons | 97 | 3.5 | 2.9 | 2.4 | 46 | 94 | Zinc | 123×10 ⁶ tons | 23 | 3.3 | 2.9 | 2.5 | 18 | 50 |
| Mercury | 3.34×10 ⁶ flasks | 13 | 3.1 | 2.6 | 2.2 | 13 | 41 | | | | | | | | |

Εικόνα 12: Τα εκτιμώμενα αποθέματα των μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων σύμφωνα με την αναφορά της Λέσχης της Ρώμης. Τα όρια της ανάπτυξης

(Πηγή: [The Limits to Growth, A report for the CLUB OF ROME'S project on the predicament of mankind, p.58, 1972](#))

Οι συγγραφείς όμως δεν έκαναν χρήση των τότε υπολογιζόμενων πόρων στη μοντελοποίηση τους.

Αντ' αυτού υπέθεσαν, στο «πρότυπη λειτουργία του υπολογιστή», ότι όλες οι μη ανανεώσιμες πηγές οι οποίες συσσωρεύτηκαν μαζί, είχαν μια βάση στοιχείων το 1970 για 250 έτη προσφοράς στα ποσοστά του 1970. Τα πρότυπα έδειξαν ότι η κοινωνία θα

κατέρρε σε λιγότερο από εκατό έτη λόγω της μείωσης των πόρων, το συμπέρασμα αυτό βασίστηκε στα εξής:

- ✓ την αύξηση του πληθυσμού,
- ✓ την συνυπολογιζόμενη αύξηση της χρήση των μη ανανεώσιμων πόρων κατά κεφαλή,
- ✓ και από την παραδοχή ότι το υλικό κεφάλαιο για να εξάγει τους πόρους αυξάνει καθώς οι ίδιοι οι πόροι εξαντλούνται.

Είναι ενδιαφέρον, ότι στην αναφορά Πέρα από τα Όρια που αποτελεί συνέχεια της αναφοράς Τα όρια της ανάπτυξης, οι εκτιμήσεις δίνονται για τα τελικά ανακτήσιμα αποθεμάτα πετρελαίου (σε αντίθεση με τα έως τότε τρέχουσα αποδεδειγμένα αποθέματα που αναφέρθηκαν στην αναφορά Τα όρια της ανάπτυξης), με ένα αποδεκτό εύρος στα 1800 έως 2500 διεσεκατ. βαρέλια. Αλλά οι συγγραφείς εμφανίστηκαν να αγνοούν τις δραματικές επιπτώσεις της εφαρμογής μιας λογιστικής καμπύλης στα δεδομένα αυτά (δηλαδή, της εφαρμογής του Hubbert «πτώση από τα μέσο-σημείο»).

Σήμερα, οι αντιλήψεις πολλών ανθρώπων ως προς την έκθεση της Λέσχης της είναι οι εξής: δεδομένου ότι δεν υπάρχουν σημαντικές ελλείψεις πόρων, η έκθεση ήταν θεμελιακά ελαττωματική, ότι η πρόβλεψη για την εξάντληση των πόρων είναι ένα παιχνίδι ανόητων και ότι εφευρετικότητα του ανθρώπου και οι δεξιότητές του θα ξεπερνούν πάντα τους ξεπερασμένους μαλθουσιανούς εφιάλτες όσον αφορά την εξάντληση των πόρων.

5.1.3 Τέσσερις χαρακτηριστικές απόψεις για τις μελλοντικές προοπτικές⁴³

Οι μελλοντικές προοπτικές αντιπροσωπεύονται από δυο μοντέλα εντελώς διαφορετικά μεταξύ τους. Αυτά τα μοντέλα είναι το «Νέο-Μαλθουσιανό» και το «Τεχνολογία και ανάπτυξη», όπου το πρώτο μοντέλο αποτελεί μια μοντέρνα έκδοση της αναλύσεως του Άγγλου οικονομολόγου Thomas Malthus που πίστευε πως ο ρυθμός ανάπτυξης του πληθυσμού είναι δυνατόν να είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό προσφοράς τροφίμων με αποτέλεσμα να μαστίζει τον πλανήτη η πείνα και περισσότερο τους φτωχούς. Από την άλλη πλευρά υπήρξε η άποψη πως τα επόμενα 100 χρόνια η ανθρωπότητα θα μπορεί να καλύψει τις ανάγκες τις σε υλικά αγαθά και μάλιστα πολύ εύκολα διότι θα υπάρχει διαρκεί ανάπτυξη όπου τα εξελιγμένα κράτη θα αναπτύξουν υπερβιομηχανικές και έπειτα μεταβιομηχανικές οικονομίες με αποτέλεσμα ο μη αναπτυγμένος κόσμος να τους ακολουθήσει σύντομα. Τα δυο μοντέλα, εμπεριέχουν δυο λεπτομερείς απόψεις το καθένα, μια σχετικά ακραία αλλά και μια μετριοπαθή θέση. Οι μετριοπαθείς θέσεις των μοντέλων συμφωνούν ότι θα επέλθουν σοβαρά προβλήματα ενεργειακής φύσεως, ελλείψεως φυσικών πόρων και κατανομής των τροφίμων, ενώ οι επιφυλακτικά αισιόδοξες θέσεις των μοντέλων υποστηρίζουν ότι η τελική καταστροφή μπορεί να αποφευχθεί ακόμα και αν η

πολιτική δεν είναι σοφή, η διαχείριση δεν είναι τόσο ικανή αλλά και η τύχη είναι κακή.

Οι τέσσερις απόψεις για τις μελλοντικές προοπτικές ως προς το θέμα των Φυσικών Πόρων:

- Σταθερή ελάττωση: Το ανθρώπινο γένος, συνεχώς, μειώνει τα αποθέματα της Γης σε φυσικούς πόρους προκειμένου να αποκτήσει πρώτες ύλες και συχνά υπερβάλλει τη δυνατότητά του να απορροφά ή να ανακυκλώνει τους παραγόμενους ρύπους. Τα καταστροφικά αποτελέσματα για μερικούς απ' αυτούς τους φυσικούς πόρους μπορεί να αναβληθούν μέχρι τον 21^ο αιώνα αλλά για τα τρόφιμα, την ενέργεια και μερικά ορυκτά εμφανίζεται ήδη στενότητα για το κοντινό μέλλον. Όλα τα στοιχεία δείχνουν την καταστροφή για το μεσοπρόθεσμο και το μακροπρόθεσμο μέλλον.
- Συχνές δυσκολίες: Το βασικό πρόβλημα των περιορισμένων φυσικών πόρων μπορεί να καταστεί άλυτο. Ακόμα και αν υπάρχουν επαρκείς φυσικοί πόροι, η πολιτική, η φτωχή διαχείριση, ο ακατάλληλος σχεδιασμός και οι βραδείες αντιδράσεις κάνουν τις αποτελεσματικές λύσεις δυσκολότερες κάτω από συνθήκες αύξησης της ζήτησεως. Σε περιοχές όπου οι φυσικοί πόροι γίνονται σπάνιοι και η αδυσώπητη ζήτηση για ανάπτυξη συνδυάζεται με την ακαταλληλότητα, γεννώνται ανυπόφορες πιέσεις και η καταστροφή γίνεται πιθανή. Μια περισσότερο προσεκτική προσέγγιση για ανάπτυξη φαίνεται σαφώς επιθυμητή.
- Γενικά επαρκείς: Δεδομένα μιας αργής αλλά σταθερής τεχνολογικής και οικονομικής περιόδου και ενός πληθυσμού κάτω των 30 δισεκατομμυρίων, θα μπορούσε να επιτευχθεί επίπεδο ζωής καλύτερο από το σημερινό. Με γρήγορη πρόοδο και καλή γενικά διαχείριση, θα καταστούν δυνατά ακόμα υψηλότερα οικονομικά επίπεδα και εξαιρετική ποιότητα ζωής. Η οικονομική επιτυχία ενισχύει τις εθνικές δυνατότητες να επιλύουν εθνικά θέματα φυσικών πόρων καθώς αυτά αναφέρονται. Όμως, η τάση για δημιουργία καρτέλ συνδυάζεται με πολιτικά προβλήματα που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν ευκαιριακά, βραχυπρόθεσμα προβλήματα στη διατήρηση κατάλληλης προσφοράς σε λογικές τιμές.
- Η οικονομική και η τεχνολογία μπορούν αν προσφέρουν έξοχες λύσεις: Ο πλανήτης μας είναι πλούσιος σε όλους τους σπουδαίους φυσικούς πόρους. Αιφνίδιες μεγάλες διακυμάνσεις τιμών τείνουν να αυτοδιορθώνονται μέσα σε λίγα χρόνια αν και μπορεί να ερμηνεύονται κακώς ως στενότητα φυσικών πόρων (όπως για το πετρέλαιο το 1973). Βραχυπρόθεσμες αυξήσεις τιμών είναι βέβαια σπουδαίες, αλλά έχουμε ζήσει συχνά με τέτοια βραχυπρόθεσμα προβλήματα. Εμπιστοσύνη στα οικονομικά τους συστήματα της αγοράς,

πεποίθηση στις τεχνολογικές λύσεις και λίγη υπομονή θα φέρουν τα τρέχοντα θέματα φυσικών πόρων εκεί που ήταν στο παρελθόν.

Οι δύο πρώτες απόψεις αντιπροσωπεύουν τις τυπικές νέο-μαλθουσιανές αντιλήψεις γύρω από την περιορισμένη δυνατότητα του πλανήτη και την ταχεία εξάντληση των φυσικών πόρων, ενώ οι επόμενες δυο απόψεις του μοντέλου γνώσεως της τεχνολογίας και αναπτύξεως συμφωνούν ότι λόγω της εξέλιξης της γνώσεως και της τεχνολογίας οι φυσικοί πόροι αυξάνονται μάλλον παρά σταθεροποιούνται.

5.2 Η θεωρία της κορύφωσης^{41, 44},

Πρωτοδιατυπώθηκε η θεωρία για κορύφωση της παραγωγής πετρελαίου άρα και κατά συνέπεια η εξάντλησή του από ένα ευρύ κίνημα μέσω της Ένωσης για την Κορύφωση του Πετρελαίου (Association of Peak Oil: ASPO) που ιδρύθηκε το 1990 από τον C. Campbell. Πυρήνας της θεωρία αυτής είναι ότι το πετρέλαιο, το οποίο ανήκει στις συμβατικές μη ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, αποτελεί έναν πεπερασμένο πόρο, υποκείμενο αναπόφευκτης εξάντλησης, όπως αποδεικνύεται από τους υψηλούς ρυθμούς παραγωγής σε κάθε χώρα, που θα αναλυθεί διεξοδικά παρακάτω, την ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση και τις διαμορφωμένες σχετικά υψηλές τιμές.

Οι εθνικοί φορείς, όπως η Υπηρεσία Ενεργειακών Πληροφοριών των Η.Π.Α. (EIA), και οι διεθνείς οργανισμοί, όπως ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) που εδρεύει στο Παρίσι, έχουν, εδώ και πολλά χρόνια έχουν κάνει προγνώσεις για την μελλοντική παραγωγή πετρελαίου. Ωστόσο, μόνο περιορισμένες πληροφορίες είναι διαθέσιμες σχετικά με το πώς προκύπτουν αυτές οι προβλέψεις. Καμία από τις προβλέψεις δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις μια δημόσιας επιστημονικής αναφοράς και για πολλά χρόνια υπήρξαν υπόνοιες ότι κυβερνήσεις τις επηρέαζαν και τις κατεύθυναν.

Η άποψη ότι οι κυβερνήσεις σε όλον τον κόσμο χρησιμοποιούν τις προγνώσεις για την κορύφωση της πετρελαϊκής παραγωγής σχεδιάζοντας το μέλλον του πλανήτη με βάση αυτές τις προγνώσεις σημαίνει πως θα πρέπει ο καθένας μας να έχει γνώση του θέματος.

Στην πρώτη διάσκεψη για τη θεωρία της κορύφωσης της παραγωγής του πετρελαίου στην Ουψάλα το 2002, η ASPO έθεσε τον πήχη για την παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου το 2010 σε 85 εκατομμύρια βαρέλια την ημέρα (για την παραγωγή πετρελαίου, όπως ορίζεται από την BP). Σήμερα γνωρίζουμε ότι η βιομηχανία πετρελαίου δεν μπορούσε να φθάσει αυτή την ποσότητα, δεδομένου ότι έφθασε μόλις στο 82 εκατομμύρια βαρέλια την ημέρα το 2010.

5.3 Κορύφωση πετρελαίου – Τα τέσσερα στάδια μιας νέας ιδέας⁴⁵

Σύμφωνα με τον Ugo Bardi η αντίδραση του κόσμου στην θεωρία της κορύφωσης της πετρελαϊκής παραγωγής δεν διαφέρει από την αντίδραση σε οποιαδήποτε νέα ιδέα και διέπεται από τέσσερα στάδια.

- 1^ο στάδιο: Δεν έχει ακουστεί ποτέ
Μέχρι και σήμερα οι φορείς στον τομέα του πετρελαίου και των ορυκτών καυσίμων έχουν ακουστά την θεωρία αλλά είναι διαδεδομένη χωρίς να υποστηρίζεται από ειδικούς.
- 2^ο στάδιο: Είναι λάθος ιδέα
Μερικές φορές επισημαίνεται δεν απεικονίζονται όλα τα ιστορικά δεδομένα της παραγωγής πετρελαίου σε κωνοειδή καμπύλη (π.χ. Σαουδική Αραβία) ή με διπλή κορύφωση (Ιράν, Ρωσία). Οι πολλαπλές κορυφώσεις της παραγωγής πετρελαίου συχνά σχετίζονται με πολιτικά γεγονότα ή επαναστάσεις. Αύτη την παράμετρο δεν την προσμετρά το μοντέλο του Hubbert και πολλές φορές χειροτερεύουν την όλη εικόνα. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί πως ο μηχανισμός των τιμών της ελεύθερης αγοράς θα αποτρέψει να υπάρξει πετρελαϊκή κορύφωση. Εάν η κορύφωση είναι κοντά τότε οι τιμές θα αυξηθούν και θα έχει ως αποτέλεσμα να αποτελέσουν κίνητρο για νέες επενδύσεις στην τεχνολογία της εξόρυξη και της άντλησης του πετρελαίου με αποτέλεσμα να αυξηθεί η ποσότητα του πετρελαίου που μπορεί να βρεθεί να υπάρξει στην αγορά.
- 3^ο στάδιο: Είναι σωστή ιδέα αλλά χωρίς σημαντικές επιπτώσεις
Ορισμένοι επικριτές της θεωρίας της κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου δεν αμφισβητούν ότι θα φθάσει σε κορύφωση η παραγωγή και έπειτα θα μειωθεί στο εγγύς μέλλον. Πιστεύουν ότι δεν θα υπάρξει επίδραση στην παγκόσμια οικονομία η κορύφωση της παραγωγής του πετρελαίου διότι ο μηχανισμός των τιμών θα αποφέρει μια ομαλή μεταφορά στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης από άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. άνθρακα, φυσικό αέριο, πυρηνική ενέργεια και Α.Π.Ε.).
- 4^ο στάδιο: Είναι η ιδέα που συζητιέται εδώ και καιρό
Οι υποστηρικτές της θεωρίας περί κορύφωσης της πετρελαϊκής παραγωγής πιστεύουν πως εάν γίνει ευρέως γνωστή η θεωρία και θα κατανοηθεί, θα υπάρξουν αποτελεσματικές στρατηγικές προς την αντιμετώπιση των αρνητικών της επιπτώσεων. Από την στιγμή που ο Hubbert προέβλεψε την κορύφωση της παραγωγής του πετρελαίου των Η.Π.Α. ολόενα και περισσότερες συζητήσεις περί της θεωρίας κορύφωσης έγιναν μεταξύ των ειδικών, όχι πως δημιούργησε ένα παρόμοιο κίνημα με αυτό που υπάρχει στις μέρες μας για την κορύφωση της πετρελαϊκής παραγωγής αλλά πιθανόν

επηρέασε τη γενική γνώμη όπως αυτή παρουσιάστηκε από την αναφορά της Λέσχης ης Ρώμης – Τα όρια της ανάπτυξης το 1972.

5.2.2 Έχει φθάσει η πετρελαϊκή κορύφωση (peakoilism);⁴⁶

Η έρευνα γενικότερα για την κορύφωση της πετρελαϊκής παραγωγής και η ΑΣΠΟ συνέβαλαν σε μεγάλο βαθμό στη βελτίωση της παγκόσμιας αναγνώρισης της θεωρίας, προωθώντας αξιολογήσεις για πεπερασμένους πόρους γενικότερα αλλά και ενθαρρύνοντας την εφαρμογή εναλλακτικών λύσεων, όπως π.χ. Α.Π.Ε.

Πολλές κυβερνήσεις και διεθνείς οργανισμοί στον κόσμο έχουν πάρει κάποια μέτρα για την αντιμετώπιση της κορύφωσης. Για παράδειγμα, όπως για παράδειγμα η ASPO πραγματοποίησε σχετική έρευνα, ώστε να πείσει τη σουηδική κυβέρνηση να αναγνωρίσει την θεωρία περί εξάντληση του πετρελαίου, ενώ παράλληλα έδειξε επιθυμία να εισηγηθεί ορισμένα μέτρα αντιμετώπισης της κατάστασης, ξεκινώντας με το διορισμό επιτροπής για την ανάπτυξη προτάσεων για τη μείωση της εξάρτησής της από το πετρέλαιο.

Η Αυστραλία επίσης έχει έκδηλο ενδιαφέρον για την θεωρία της κορύφωσης και συγκεκριμένα το παράρτημα της ASPO στην Αυστραλία ιδρύθηκε το Νοέμβριο του 2005 και έχει πραγματοποιήσει πάνω από 200 πολύτιμες προτάσεις στο Αυστραλιανό Ινστιτούτο Εθνικού Συνεδρίου Ενέργειας.

Οι οπαδοί της θεωρίας (peakoilers) τυπικά μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες. Μια ομάδα αποτελείται κυρίως από εκτός επαγγελματικών συμφερόντων εμπειρογνώμονες ή ακαδημαϊκούς και η άλλη περιέχει άτομα που πραγματοποιούν ένα επάγγελμα για να ζήσουν κάνοντας έρευνα σχετικά με την εξάντληση του πετρελαίου, σύμφωνα με τα επαγγελματικά τους συμφέροντα.

Οι οπαδοί της θεωρίας έχουν συμμάχους: τους ερευνητές της κλιματικής αλλαγής και τους υποστηρικτές των νέων ενεργειακών λύσεων. Το θέμα της πετρελαϊκής κορύφωσης φέρνει πιέσεις στις κυβερνήσεις και τις πετρελαϊκές εταιρείες. Μια ιδανική λύση για το πρόβλημα της κορύφωσης του πετρελαίου, θα πρέπει να συμπεριλάβει, αν είναι δυνατόν, και άλλα σημαντικά ζητήματα όπως είναι η αλλαγή του κλίματος και η ανάπτυξη νέων ενεργειών. Όπως οι Zhao και Feng (2007) τόνισαν, οι στόχοι για όσους ασχολούνται με την εξάντληση των πόρων, την κλιματική αλλαγή και την ανάπτυξη νέων ενεργειών είναι παρόμοιοι. Δηλαδή, επιδιώκουν να προωθήσουν την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία περιλαμβάνει την εξέλιξη των τεχνικών και τη μείωση του κόστους τους. Επιπλέον, ως ένα είδος επιστημονικής έρευνας, η μελέτη του πετρελαίου έχει ομοιότητες με αυτήν της κλιματικής αλλαγής. Σήμερα, πολλοί άνθρωποι έχουν επίγνωση της αλλαγής του κλίματος, καθώς και πολλές κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο λαμβάνουν μέτρα για να βελτιώσουν την κατάσταση.

Στη σημερινή κοινωνία, τα περισσότερα επιχειρηματικά σχέδια με βάση την κατανάλωση του πετρελαίου, καθώς και οι συνήθεις οικονομικές προβλέψεις βασίζονται σε μια σταθερή αύξηση του ΑΕΠ. Συνεπώς, μπορεί η πρόβλεψη περί μείωσης της πετρελαϊκής παραγωγής να μην είναι δημοφιλής στην πολιτική σκηνή και κατανοείται το γεγονός αυτό διότι πολλοί πολιτικοί ή διαχειριστές πετρελαϊκών εταιρειών απορρίπτουν την θεωρία. Παρόλα αυτά το πετρέλαιο είναι ένας μη ανανεώσιμος πόρος και η κορύφωσή του είναι αναπόφευκτη. Επιπλέον, η θεωρία περί κορύφωσης της παραγωγής του πετρελαίου αποτελεί είναι ένα είδος θεωρίας ανάπτυξης και όχι θεωρία κρίσης. Ίσως αυτό που πρέπει να πράξει η ανθρωπότητα είναι να αποδεχθεί την ενδεχόμενη εξάντληση του πετρελαίου αργά ή γρήγορα και να στραφεί στην ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, περιορίζοντας ταυτόχρονα την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και τις υπερβολικές υλικές φιλοδοξίες της και να συνειδητοποιήσει ότι ο σωστότερος δρόμος είναι η βιώσιμη ανάπτυξη της κοινωνίας. Αν δεν κινητοποιηθεί άμεσα η ανθρωπότητα λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα τότε, αναπόφευκτα θα βιώσει δυσάρεστα γεγονότα, πιθανώς με έναν όχι και τόσο επιθυμητό τρόπο.

5.3 Προβλέψεις για το πετρέλαιο

Ένας από τους λόγους που οι άνθρωποι έχουν την τάση να αγνοούν τους τρέχοντες υπολογισμούς εξάντλησης του πετρελαίου παγκοσμίως είναι επειδή έχουν την εντύπωση ότι οι προηγούμενες προβλέψεις για το πετρέλαιο βγήκαν λάθος, ιδίως εκείνες που πραγματοποιήθηκαν στη δεκαετία του '70. Η άποψη αυτή βλέπει τις σημερινές προβλέψεις, σαν ένα ακόμη παράδειγμα ενεργοποίησης λανθασμένου συναγερμού για την ανθρωπότητα.

5.3.1 Οι προβλέψεις του πετρελαίου, το παρελθόν και το παρόν⁴⁷

Σύμφωνα με το Διεθνές Συνέδριο για την εξάντληση του πετρελαίου στην Ουψάλα το 2002 διατυπώθηκαν τα παρακάτω:

Από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα έχουν υπάρξει προειδοποιήσεις για την εξάντληση του πετρελαίου που αποδείχθηκαν πρόωρες. Πολλές από αυτές τις προειδοποιήσεις, εντούτοις, (συμπεριλαμβανομένων μερικών που απαριθμούνται από το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α.) σωστά έδειξαν ότι η παραγωγή από μια συγκεκριμένη περιοχή ή μια χώρα θα μειωνόταν, αλλά αγνόησαν την ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων.

Στη δεκαετία του '70 και τις αρχές της δεκαετίας του '80 παρήχθησαν ξανά εσφαλμένες προβλέψεις για την εξάντληση των αποθεμάτων του πετρελαίου. Κάποιες προβλέψεις βασίστηκαν μονάχα στα αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου αγνοώντας την ύπαρξη πιθανών και δυνατών αποθεμάτων και του πετρελαίου που

ακόμη δεν είχε ανακαλυφθεί, ενώ άλλοι υπέθεσαν μια συνέχεια στην αύξηση της ζήτησης του πετρελαίου από αυτή των δεκαετιών του '50 και του '60. Άλλες λανθασμένες προβλέψεις περιέλαβαν και αυτή της CIA που υπέθεσε τη διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης και της Βρετανικής Παράκτιας Ένωσης Χειριστών (UK's UKOOA) που προέβλεπαν τη βρετανική παραγωγή βασισμένη μόνο στις περιοχές που χορηγούσαν κατόπιν άδεια.

Γενικά, οι προβλέψεις που έγιναν για το πετρελαίου στη δεκαετία του '70 εντάσσονται σε μία από τις τέσσερις κάτωθι κατηγορίες:

1. Μη-ποσοτικοί φόβοι για την παγκόσμια έλλειψη προσφοράς, βασισμένοι στην εμπειρία έλλειψης προσφοράς πετρελαίου που εμφανίστηκε κατά τη διάρκεια των πετρελαϊκών κρίσεων.
2. Προβλέψεις ότι παγκοσμίως θα εξαντληθεί το πετρέλαιο σε 30 έτη ή σε περίπου 30 έτη, βασισμένες στα έπειτα αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου περίπου της αξίας των 30 ετών της τρέχουσας παραγωγής.
3. Προβλέψεις για παγκόσμια εξάντληση πετρελαίου σε μικρότερο χρονικό διάστημα απ αυτό των 30 ετών , βασιζόμενες στα έως τότε αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου (ή ακόμη και σε μεγαλύτερο ποσό αποθεμάτων), αλλά και με τη ζήτηση να αναμένεται να αυξηθεί με εκθετικό ρυθμό.
4. Προβλέψεις ότι η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου θα αυξηθεί σημαντικά, καταλήγοντας σε περιορισμό πόρων, μέγιστο ποσοστό παραγωγής γύρω στο έτος 2.000 και σημειώνοντας πτώση μετέπειτα. Αυτή ήταν μια πολύ διαφορετική άποψη για να προβλέψει κοντινή ή μεσοπρόθεσμη εξάντληση του πετρελαίου.

Σχεδόν όλες οι αξιόπιστες οργανώσεις υποστήριζαν την τέταρτη άποψη, ότι η παγκόσμια παγκόσμιου πετρελαίου θα συνέχιζε να αυξάνεται γρήγορα μέχρι να υπάρξει περιορισμός στους διατιθέμενους πόρους περίπου στα τέλη του 20^{ου} αιώνα. Αυτή η άποψη εκφράστηκε από πολλούς όπως παρουσιάζεται στον κάτωθι πίνακα.

Η τέταρτη πρόβλεψη της κορύφωσης της παραγωγής βασίστηκε στα εξής:

- ✓ στην αποδεκτή εκτίμηση ότι τα παγκόσμια αποθέματα του συμβατικού πετρελαίου είναι περίπου 2.000 δισεκατ. βαρέλια.
- ✓ στη γνώση ότι η παγκόσμια κορύφωση παραγωγής πετρελαίου δεν θα συμβεί μέχρι να καταναλωθούν τα 1.000 δισεκατ. βαρέλια.
- ✓ στο ότι μόνο περίπου τα 300 δισεκατ. βαρέλια είχαν καταναλωθεί μέχρι το 2.000 (δηλαδή, θα πρέπει η κατανάλωση επιπλέον 700 δισεκατ. βαρέλια πριν επιτευχθεί το «μέσο σημείο»).
- ✓ στο ότι η παραγωγή θα ακολουθήσει μια «χωρίς περιορισμούς» παραγωγή σύμφωνα με το λογιστικό (logistic)/σιγμοειδές μοντέλο του Hubbert.

Το παγκόσμιο μέσο-σημείο, το σημείο στο οποίο η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου θα φτάσει στο μέγιστο, υπολογίστηκε ότι ήταν περίπου το 2000, (ο ακριβής υπολογισμός του Hubbert έδωσε την ημερομηνία ως το 1996).

Σε αυτή την περίπτωση, η παγκόσμια ζήτηση περιορίστηκε σημαντικά από την άνοδο των τιμών λόγω των πετρελαϊκών κρίσεων και το «χωρίς περιορισμούς» λογιστικό μοντέλο δεν ακολουθήθηκε. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να υπάρξει η κορύφωση της παραγωγής πετρελαίου περίπου το 2005, (Σχήμα 21).

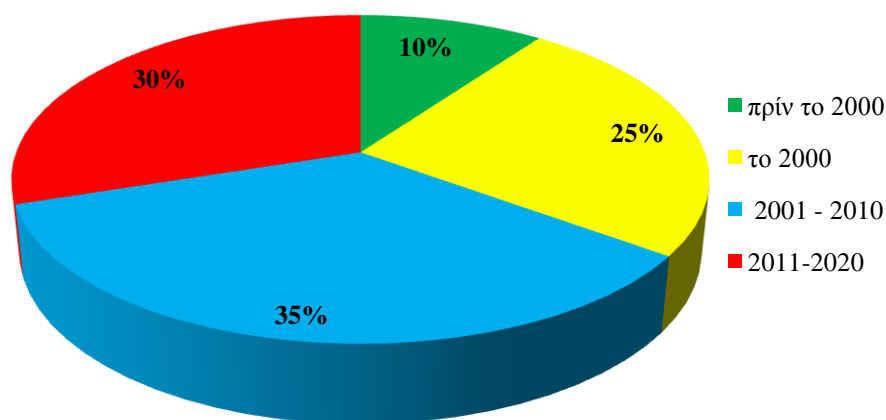
Πίνακας 7: Προβλέψεις για την παγκόσμια προσφορά πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1972-2002

| Ημερομηνία πρόβλεψης | Πηγή | Ημερομηνία πρόγνωσης της κορύφωσης των συμβατικών πόρων πετρελαίου | Εικαζόμενα τελικά αποθέματα συμβατικού ³ πετρελαίου |
|----------------------|--|--|--|
| 1972 | ESSO (διεθνής εμπορική ονομασία για την Exxon Mobil και τις συνδεδεμένες εταιρείες αυτής) | “Το πετρέλαιο θα γίνει ολοένα και περισσότερο σπάνιο περίπου το 2000. ” | 2100 δισεκατ. βαρέλια |
| 1972 | Έκθεση της διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για το ανθρώπινο περιβάλλον | “...πιθανόν η κορύφωση της παραγωγής πετρελαίου θα έχει επιτευχθεί μέχρι το 2000. ” | 2500 δισεκατ. βαρέλια |
| 1974 | Έρευνα επιστημονικής και τεχνολογικής πολιτικής Επιστημονικής και Τεχνολογικής Πολιτικής Έρευνας (SPRU), Πανεπιστήμιο του Sussex | Μη διαθέσιμο | 1800 – 2480 δισεκατ. βαρέλια |
| 1976 | Βρετανικό Υπουργείο Ενέργειας | Κορύφωση: “περίπου .. το 2000. ” | Μη διαθέσιμο |
| 1977 | Hubbert | Κορύφωση: 1996 | 2000 δισεκατ. βαρέλια (Nehring) |
| 1977 | Ehrlich et al. | Κορύφωση: 2000 | 1900 δισεκατ. βαρέλια |
| 1978 | Kiely | Μη διαθέσιμο | 1803 δισεκατ. βαρέλια |
| 1979 | Shell | “..σταθεροποίηση εντός των επόμενων 25 ετών (2004.)” | Μη διαθέσιμο |
| 1979 | BP (<i>Πετρελαϊκή κρίση...ζανά;</i>) | Κορύφωση:(στον μη κομμουνιστικό κόσμο): 1985 | Μη διαθέσιμο |
| 1981 | Παγκόσμια Τράπεζα | “..σταθεροποίηση περίπου στο τέλος του 20^{ου} αι. ” | 1900 δισεκατ. βαρέλια |
| 1995 | Petroconsultants | Κορύφωση: 2005 | 1800 δισεκατ. βαρέλια, (δεν περιλαμβάνει το υγροποιημένο |

³ Στο συμβατικό πετρέλαιο συνήθως εξαιρούνται το βαρύ πετρέλαιο, η πισσούχος άμμος και το σχιστολιθικό πετρέλαιο αλλά και το υγροποιημένο φυσικό αέριο.

| Year | Source | Peak Year | Reserves |
|------|---|---|---|
| | | | φυσικό αέριο - NGL) |
| 1997 | Ivanhoe | Κορύφωση: 2010 | ~ 2000 δισεκατ. βαρέλια |
| 1997 | Edwards | Κορύφωση: 2020 | 2836 δισεκατ. βαρέλια |
| 1998 | Διεθνής Οργασμός Ενέργειας (IEA: <i>World Energy Outlook 1998</i>) | Κορύφωση: 2014 | 2300 (δισεκατ. βαρέλια) |
| 1999 | USGS - U.S. Geological Survey (Magoon) | Κορύφωση: περίπου το 2010 | ~ 2000 δισεκατ. βαρέλια |
| 1999 | Campbell | Κορύφωση: περίπου το 2010 | 2000 δισεκατ. βαρέλια, (συμπεριλαμβάνει το πολικό και σε μεγάλη βάθη πετρέλαιο) |
| 2000 | Bartlett | Κορύφωση: 2004 ή 2019 | 2000 ή 3000 δισεκατ. βαρέλια) |
| 2000 | Διεθνής Οργασμός Ενέργειας (IEA: <i>World Energy Outlook 2000</i>) | Κορύφωση: Πέρα από το 2020 | 3345 δισεκατ. βαρέλια (από την USGS) |
| 2000 | Υπηρεσία Ενεργειακών Πληροφοριών των Η.Π.Α. (US EIA) | Κορύφωση: μεταξύ του 2016 και του 2037 | 3003 δισεκατ. βαρέλια (από την USGS) |
| 2001 | Deffeyes | Κορύφωση: μεταξύ του 2003 και του 2008 | ~ 2000 δισεκατ. βαρέλια |
| 2002 | Smith | Κορύφωση: μεταξύ του 2011 και του 2016 | 2180 δισεκατ. βαρέλια |
| 2002 | 'Nemesis' | Κορύφωση: μεταξύ του 2004 και του 2011 | 1950 - 2300 δισεκατ. βαρέλια |

(Πηγή: [R.W. Bentley, c/o Department of Cybernetics, Oil Forecasts, Past and Present, International Workshop on Oil Depletion, Uppsala, Sweden, May 23-24, 2002.](#))



Διάγραμμα 45: Ποσοστά πρόγνωσης της ημερομηνίας κορύφωσης της παγκόσμιας προσφοράς του πετρελαίου (των συμβατικών του μορφών)

(Πηγή: [R.W. Bentley, c/o Department of Cybernetics, Oil Forecasts, Past and Present, International Workshop on Oil Depletion, Uppsala, Sweden, May 23-24, 2002.](#))

5.3 Το τέλος του φθηνού πετρελαίου από τους Colin Campbell και H. Laherrère³⁹

Η παγκόσμια παραγωγή συμβατικού πετρελαίου θα αρχίσει να μειώνεται νωρίτερα από ό, τι οι περισσότεροι άνθρωποι πιστεύουν, πιθανόν μέσα σε 10 χρόνια, το 2008.

Κατά την περίοδο 1973 – 1979 καταγράφηκαν δυο πετρελαϊκές κρίσεις που συντάραξαν τον κόσμο λόγω της απότομης αύξησης της τιμής του πετρελαίου και αυτός ήταν και ο λόγος που αφυπνίστηκε ο βιομηχανικός κόσμος από την εξάρτηση αυτού από το φθινό αργό πετρέλαιο. Οι τιμές τριπλασιάστηκαν για πρώτη φορά ως απάντηση στο Αραβικό εμπάργκο και στη συνέχεια σχεδόν διπλασιάστηκαν εκ νέου, όταν το Ιράν εκθρόνισε τον Shah του, στέλνοντας το τις διεθνείς οικονομίες σε ύφεση.

Πολλοί αναλυτές προειδοποίησαν ότι αυτές οι κρίσεις θα οδηγούσαν τον κόσμο στην εξάντληση του πετρελαίου που όπως αποδείχθηκε αργότερα είχαν κάνει λάθος.

Οι ολέθριες προβλέψεις τους ήταν συναισθηματικές και πολιτικές αντιδράσεις όταν οι ειδικοί του πετρελαίου ήξεραν ότι δεν είχαν καμία επιστημονική βάση οι προβλέψεις αυτών.

Λίγα χρόνια νωρίτερα από το 1973 οι εξερευνητές του πετρελαίου είχε ανακαλύψει τεράστιες περιοχές με πετρέλαιο στη βόρεια πλαγιά της Αλάσκας και κάτω από τη Βόρεια Θάλασσα της ακτής της Ευρώπης. Μέχρι το 1973 ο κόσμος είχε καταναλώσει, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις πολλών ειδικών, περίπου μόνο το ένα όγδοο του συμβατικού πετρελαίου.

Τα πέντε μέλη του ΟΠΕΚ της Μέσης Ανατολής, ήταν σε θέση να αυξήσουν τις τιμές όχι επειδή το πετρέλαιο γινόταν δυσεύρετο, αλλά επειδή είχε τον έλεγχο του 36% της αγοράς. Αργότερα, όταν η ζήτηση άρχισε να μειώνεται και η ροή του πετρελαίου από την Αλάσκα και τη Βόρειο θάλασσα άρχισε να ελαττώνεται οι τιμές κατέρρευσαν.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των Campbell και Laherrère η επόμενη πετρελαϊκή κρίση δεν θα είναι προσωρινή. Σύμφωνα με τους αναλυτές τους είχαν προβλέψει πως στην πρώτη δεκαετία του 21^{ου} αιώνα η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου θα αδυνατεί να ικανοποιήσει την ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση. Η εκτίμησή τους αυτή επιβεβαιώνεται από τα Διαγράμματα 16 και 17, όπου είναι ξεκάθαρο ότι η κατανάλωση πετρελαίου υπερέρχει της παραγωγής του τις τελευταίες τρεις δεκαετίες και συγκεκριμένα η ψαλίδα ολοένα και μεγαλώνει τα τελευταία πέντε έτη.

Οι Campbell και Laherrère επισήμαναν πως τρεις είναι οι αριθμοί ζωτικής σημασίας για την εκτίμηση της μελλοντικής παραγωγής πετρελαίου. Ο πρώτος σχετίζεται με το πόσο πετρέλαιο έχει εξαχθεί μέχρι σήμερα και είναι γνωστό ως η αθροιστική παραγωγή του πετρελαίου. Ο δεύτερος σχετίζεται με την εκτίμηση των αποθεμάτων του πετρελαίου και συγκεκριμένα την ποσότητα του πετρελαίου που μπορεί να αντληθεί από γνωστά πεδία πετρελαίου. Ο τρίτος αριθμός σχετίζεται με την εκτίμηση

της ποσότητας του πετρελαίου που μπορεί να ανακαλυφθεί και να αντληθεί στο μέλλον. Επιπρόσθετα θα πρέπει να εκτιμηθεί και το ποσό του πετρελαίου που θα αντληθεί από την τελική ανάκτηση. Επιπρόσθετα επισημαίνει πως οι αριθμοί που αντιπροσωπεύουν την παραγωγή πετρελαίου δεν είναι τέλειοι διότι απλά αναφέρονται στην ποσότητα του πετρελαίου που ρέει από τις πετρελαιοπηγές και δεν αναφέρονται στις ποσότητες που χάνονται λόγω ατυχημάτων ή πολέμου κ.λπ., π.χ. δεν αφαιρέθηκε από τις ποσότητες πετρελαίου που παρήχθησαν προς κατανάλωση η ποσότητα των δυο δισεκατομμυρίων βαρελιών πετρελαίου του Κουβέιτ που κήκε από το Ιράκ το 1991. Συνεπώς οι εκτιμήσεις για να είναι ορθές και σωστές απαιτούν περαιτέρω έρευνα και όχι απλά να καταγράφεται η ποσότητα του πετρελαίου που ανυλείται από τις πετρελαιοκηλίδες όπως πραγματοποιούσαν επί χρόνια το *Oil and Gas Journal* και το *World Oil* χωρίς όμως να έχουν τη δυνατότητα να επιβεβαιωθούν οι αριθμοί που δημοσίευαν.

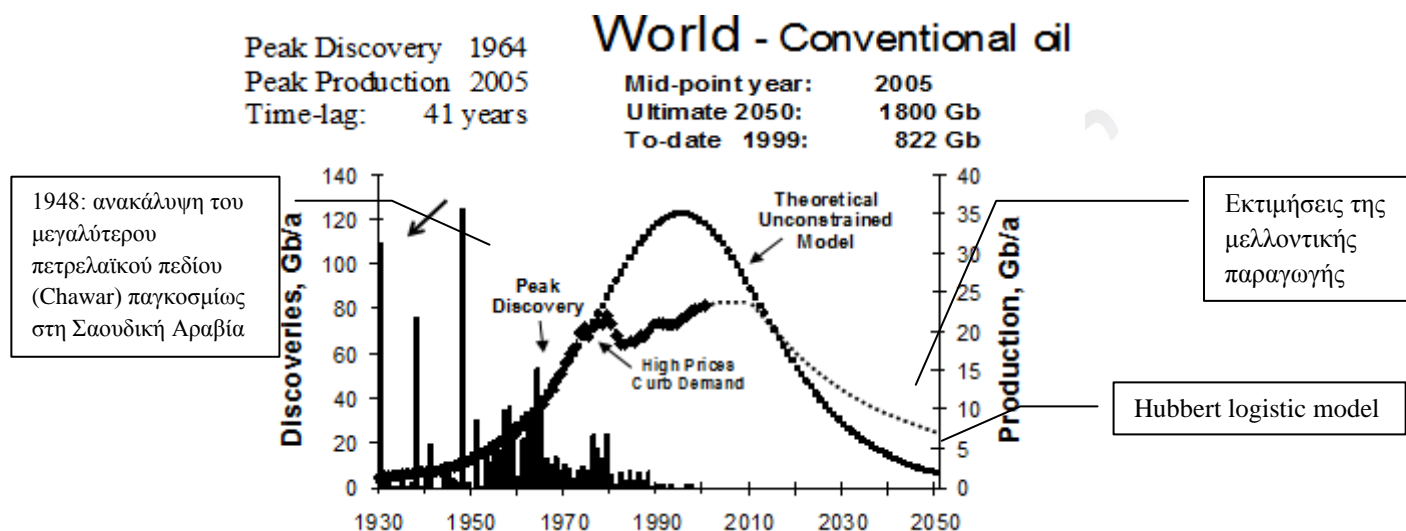
Στο άρθρο τους επισημαίνουν πως σε πολλές αναφορές σχετικά με τα πετρελαϊκά αποθέματα γίνεται λόγος για σταθερή ανοδική πορεία αυτών κατά τα έτη 1978-1998. Αυτό είχε σαν συνέπεια να θεωρείται πως η παραγωγή πετρελαίου στις Η.Π.Α. θα συνεχίσει να αυξάνει για δεκαετίες και θα έχει αγγίξει τα 2/3 περίπου αυτής μέχρι το 2020. Βέβαια οι Campbell και Laherrère θεώρησαν πως αυτό είναι ψευδαίσθηση, διότι περίπου το 80% του πετρελαίου που παραρίχθηκε μέχρι και το 1998 ήταν από πεδία που βρέθηκαν πριν από το 1973 και η μεγάλη πλειοψηφία των πεδίων βρίσκεται σε πτωτική πορεία.

Στη δεκαετία του 1990 οι πετρελαϊκές εταιρείες ανακάλυψαν κατά μέσο όρο επτά δισεκ βαρέλια πετρελαίου το χρόνο, ωστόσο, τα επίσημα στοιχεία ανέφεραν ότι τα αποδεδειγμένα αποθέματα δεν μειώθηκαν κάτω από τα 16 δισεκ βαρέλια, παρόλα αυτά αυξήθηκαν κατά 11 δισεκ βαρέλια. Ένας από τους λόγους που συνέβη αυτό ήταν διότι μερικές από τις κυβερνήσεις παγκοσμίως δεν επιθυμούσαν να γίνει αναφορά μείωσης στα αποθέματα πετρελαίου που είχαν, ίσως για να ενισχύσουν το πολιτικό τους γόητρο και την ικανότητά τους να λαμβάνουν δάνεια. Όμως μια πιο σημαντική αιτία της επέκτασης των ψευδών στοιχείων στηρίζεται στις αναθεωρήσεις, δηλαδή στην αλλαγή στοιχείων όσον αφορά τα πετρελαϊκά αποθέματα που έπραξαν οι πετρελαϊκές εταιρείες αντικαθιστώντας τα με μεγαλύτερα. Αυτές οι αλλαγές ως εκ τούτου έχουν επίπτωση στις μελλοντικές προβλέψεις.

- **Τρέχουσες προβλέψεις⁴⁷**

Σήμερα, υπάρχει ένα ευρύ φάσμα εκτιμήσεων για τα παγκόσμια αποθέματα συμβατικού πετρελαίου. Οι εκτιμήσεις ποικίλλουν από περίπου 2.000 δισεκ. βαρέλια (συμπεριλαμβανομένου του πολικού πετρελαίου και αυτού που βρίσκεται σε μεγάλα βάθη αλλά εκτός του υδροποιημένου φυσικού αερίου) μέχρι περίπου 4.000 δισεκ. βαρέλια. Η πλειοψηφία των εκτιμήσεων, εντούτοις, είναι κοντά στον αριθμό των 2.000 δισεκ. βαρελιών (Πίνακας 7).

Το συμπέρασμα είναι ότι η πρόβλεψη της κορύφωσης της παγκόσμιας παραγωγής συμβατικού πετρελαίου είναι περισσότερο ρεαλιστική λαμβάνοντας υπόψη το μέσο-σημείο των αποθεμάτων του συμβατικού πετρελαίου περίπου στα 2000 δισεκ. βαρέλια, π.χ. σε συμφωνία με την πλειοψηφία των αξιόπιστων προβλέψεων που έγιναν στη δεκαετία του '70.



Σχήμα 21: Πρόγνωση της παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής συμβατικού πετρελαίου και η πραγματική ζήτηση αυτού για το χρονικό διάστημα 1930-2050

(Πηγή: [R.W. Bentley, c/o Department of Cybernetics, Oil Forecasts, Past and Present, International Workshop on Oil Depletion, Uppsala, Sweden, May 23-24, 2002.](#))

Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται οι ανακαλύψεις αλλά και η παραγωγή του συμβατικού πετρελαίου εξαιρώντας το βαρύ πετρέλαιο, το πολικό πετρέλαιο, αυτό που βρίσκεται σε βάθη μεγαλύτερα των 500μ. για το χρονικό διάστημα 1930-2050. Συγκεκριμένα στον κάθετο άξονα απεικονίζονται οι ανακαλύψεις του πετρελαίου ανά έτος, όπου οι ανακαλύψεις πριν το 1930 εμφανίζονται για στο έτος 1930. Στον κάθετο άξονα απεικονίζεται η ετήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1930-2050, ενώ στον οριζόντιο άξονα απεικονίζονται τα έτη από το 1930 έως το 2050.

- Οι επικριτές της θεωρίας της κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου και του μοντέλου του Hubbert⁴⁸

Η Ένωση Ερευνητών για την Ενέργεια του Πανεπιστημίου του Cambridge (CERA) ανήκουν στην πλευρά των αισιόδοξων ως προς τη θεωρία και μάλιστα επικρίνουν τη μέθοδο του Hubbert διότι ισχυρίζονται ότι δεν λαμβάνει υπόψη της την πιθανότητα αύξησης των πόρων, την εφαρμογή νέων τεχνολογιών, βασικούς εμπορικούς παράγοντες ή τον αντίκτυπο της γεωπολιτικής στην παραγωγή. Η προσέγγισή του δεν λειτουργεί σε όλες τις περιπτώσεις.

Επίσης πιστεύουν πως δεν λαμβάνει υπόψη τις δυνάμεις της αγοράς που μέσω του μηχανισμού των τιμών οδηγούν σε εξισορρόπηση την προσφορά με τη ζήτηση. Επιπλέον πιστεύουν ότι το μοντέλο του Hubbert είναι εσφαλμένο διότι μετά το μέγιστο σημείο της παραγωγής πετρελαίου οι ρυθμοί μείωσης δεν είναι τόσο απότομη αλλά σχηματίζουν σε διαγραμματική απεικόνιση ένα πλάτωμα. Συνεπώς τα απαισιόδοξα σενάρια τοποθετούν χρονικά την ύπαρξη κορύφωσης γύρω στο 2010 από την άλλη πλευρά οι αισιόδοξοι την υπολογίζουν γύρω στο 2050.

Με βάση την λεπτομερή προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω η CERA δεν βλέπει ενδείξεις για ύπαρξη κορύφωσης πριν από το 2030 και έπειτα θα υπάρξει ένα πλάτωμα. Αυτή την εκτίμηση την βασίζει στα εξής:

- Το πετρέλαιο είναι ένας πεπερασμένος πόρος, αλλά εξακολουθεί να μην υπάρχει ακριβής εκτίμηση των παγκόσμιων αποθεμάτων και των πόρων.
- Βασικές χώρες παραγωγής πετρελαίου όπως είναι η Σαουδική Αραβία έχουν τεράστιο απόθεμα πόρων.
- Η συμβατική παροχή πετρελαίου δεν θα συνεχίσει να αυξάνεται για πάντα, σε κάποιο στάδιο η προσφορά των συμβατικών υγρών καυσίμων θα αρχίσει να προσπαθεί να καλύψει τη ζήτηση.
- Το προφίλ της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου δεν θα είναι μια απλή λογιστική καμπύλη ή η κωνοειδής καμπύλη του Hubbert, αλλά θα είναι ασύμμετρη και έντονα λοξή μετά από τη γεωμετρική κορύφωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ REAK OIL
ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ
ΤΗΣ ΚΟΡΥΦΩΣΗΣ ΤΗΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ**

Πανεπιστήμιο Πατρών

6.1 Μοντέλα πρόβλεψης της κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου

Πίνακας 8: Μοντέλα πρόβλεψης κορύφωσης της πετρελαϊκής παραγωγής

| Μοντέλο | Βασική εξίσωση | Εξίσωση παραγωγής για πρόβλεψη της κορύφωσης | Εξίσωση χρόνου για πρόβλεψη της κορύφωσης |
|---------------------|--|--|---|
| Hubbert | $Q = \frac{abN_R e^{-bt}}{(1+ae^{-bt})^2}$ $Q = \frac{2Q_{\max}}{1 + \cosh [b(t - t_m)]}$ $N_P = \frac{N_R}{1 + ae^{-bt}}$ | $Q_{\max} = 0.25bN_R$ | $t_m = \frac{1}{b} \ln a$ |
| Generalized Weng | $Q = at^b e^{-t/c}$ $N_R = ac^{b+1} \Gamma(b+1)$ | $Q_{\max} = a(bc/2.718)^b$ | $t_m = bc$ |
| HCZ (Hu-Chen-Zhang) | $Q = aN_R e^{-(a/b)e^{-bt}-bt}$ $N_P = N_R e^{-(a/b)e^{-bt}}$ | $Q_{\max} = 0.3679bN_R$ | $t_m = \frac{\ln(a/b)}{b}$ |

(Πηγή: 1. [D RILLING & P RODUCTION, Peak oil models forecast China's oil supply, demand, OIL GAS & JOURNAL, 2008,](#)

2. [J. Wang, L. Feng, L. Zhao, S. Snowden, Xu Wang, A comparison of two typical multicuclic models used to forecast the world's conventional oil production, Energy Policy, 2011, p.p.7616-7621\)](#)

όπου:

Q: ετήσια παραγωγή σε εκατ. τόνους

Q_{max}: η μέγιστη ετήσια παραγωγή σε εκατ. τόνους

t: χρόνος ανάπτυξης σε έτη

t_m: έτος της μέγιστης ετήσιας παραγωγής

N_R: Ανακτήσιμα αποθέματα σε εκατ. τόνους

N_P: Αθροιστική παραγωγή σε εκατ. τόνους

a,b: σταθερές

6.2 Εφαρμογή μοντέλων για την πρόβλεψη της κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ήταν αυτό του Hubbert (Πίνακας 8) $N_p = \frac{N_R}{1+ae^{-bt}}$.

Η εφαρμογή του μοντέλου έγινε με βάση τα δεδομένα για το πετρέλαιο της ετήσιας αναφοράς της BP για το έτος 2013 ([BP Statistical Review of World Energy June 2013](#)) τόσο για κάθε μια χώρα ξεχωριστά όσο και παγκοσμίως. Η αναφορά στον όρο πετρέλαιο συμπεριλαμβάνει το αργό πετρέλαιο, το σχιστολιθικό πετρέλαιο, τις πισσούχες άμμους και NGL (το υγρό που εμπεριέχεται στο φυσικό αέριο, το οποίο ανακτάται ξεχωριστά). Τα αποθέματα του πετρελαίου καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1980-2012, ενώ η ετήσια παραγωγή του πετρελαίου καλύπτει τη χρονική περίοδο 1965-2012.

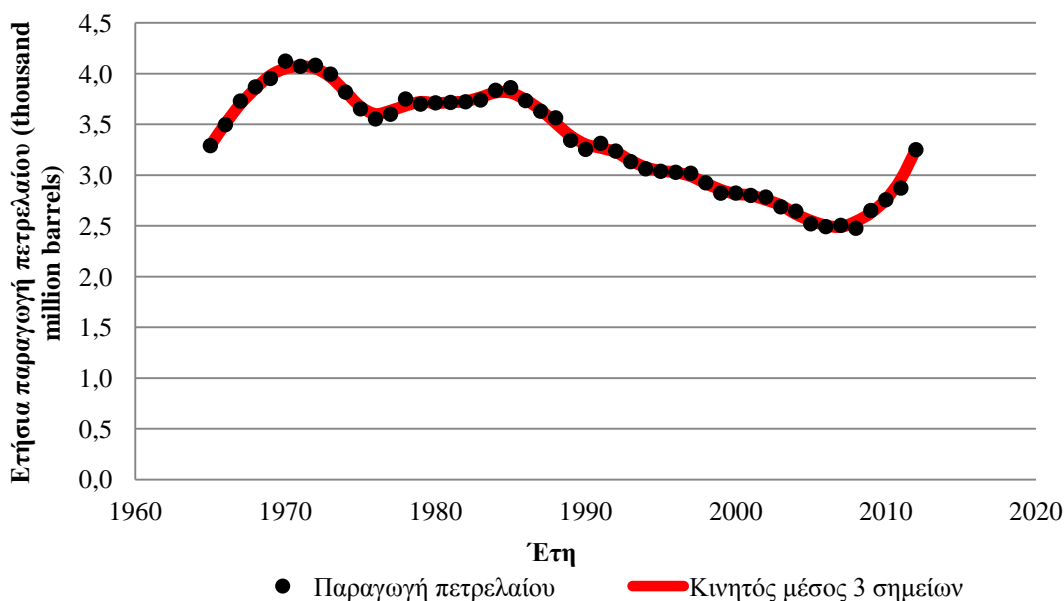
Στην χρήση του μοντέλου με την αθροιστική παραγωγή εφαρμόστηκε στα δεδομένα της ετήσιας παραγωγής ο κυλιόμενος μέσος τριών σημείων για να λειάνει απότομες αυξομειώσεις των σημείων. Επίσης εφαρμόστηκε γραμμικοποίηση στο μοντέλο του Hubbert για να εκτιμηθούν οι τιμές των παραμέτρων a και b καθώς αυτές χρησιμοποιήθηκαν έπειτα ως αρχικές τιμές στη μη γραμμική παλινδρόμηση του μοντέλου, έτσι ώστε να υπολογιστούν οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων με τη χρήση του επιλυτή (solver), διατηρώντας σταθερά τα αποθέματα σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του 1980.

6.2.1 Εφαρμογή του μοντέλου του Hubbert για την πρόβλεψη της κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου σε ορισμένα κράτη

Εφαρμόστηκε το μοντέλο του Hubbert για τον υπολογισμό της αθροιστικής παραγωγής πετρελαίου σε ορισμένα κράτη που έχουν φθάσει στην κορύφωσή τους, παρόλα αυτά αδυνατεί ο επιλυτής να υπολογίσει τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων a και b του μοντέλου, όπως παρουσιάζεται στα παρακάτω παραδείγματα.

Η.Π.Α

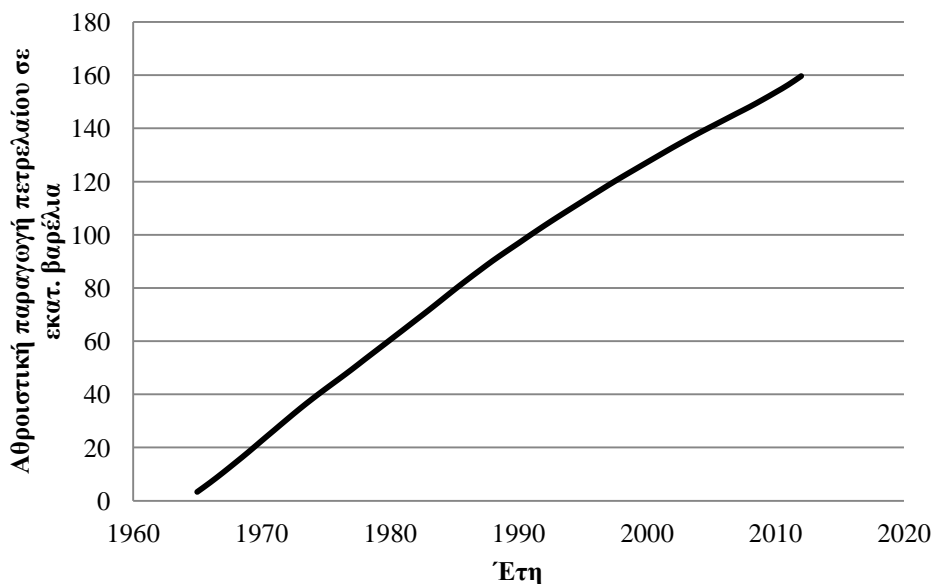
Οι Η.Π.Α. είναι μια από τις μεγαλύτερες και παλαιότερες βιομηχανίες πετρελαίου στον κόσμο. Αν και τα ανακτήσιμα αποθέματά της επισκιάζονται από αυτά της Μέσης Ανατολής, είναι η τρίτη μεγαλύτερη πετρελαιοπαραγωγός παγκοσμίως, μετά τη Σαουδική Αραβία και την Ρωσική Ομοσπονδία.



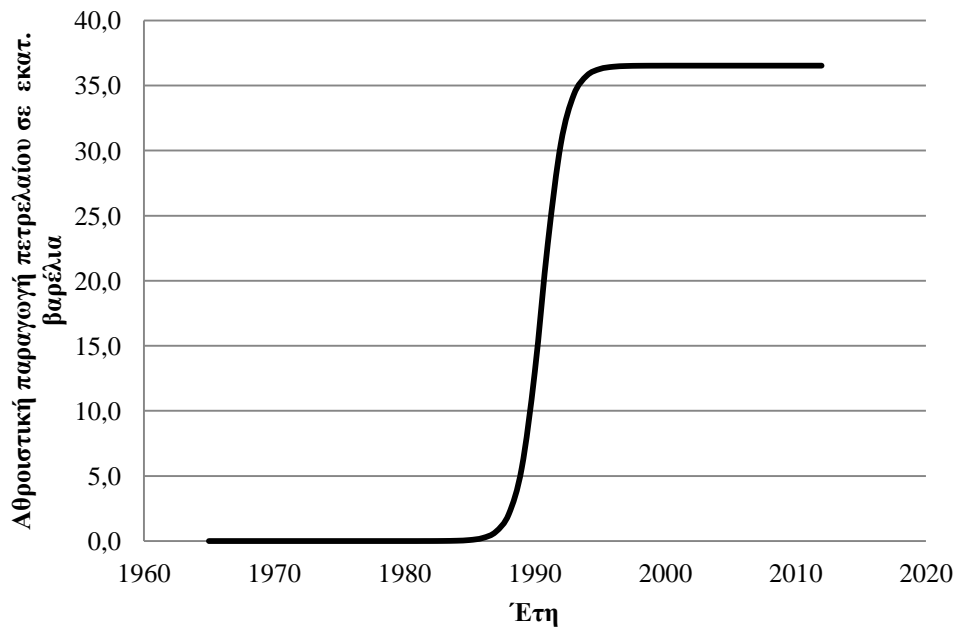
Διάγραμμα 46: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή των Η.Π.Α.

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Παρατηρείται πως η κορύφωση της παραγωγής για τις Η.Π.Α. πραγματοποιήθηκε το 1970 στα 4,1234050 χιλ. εκατ. βαρέλια αλλά ενώ το μοντέλο δείχνει ότι φθίνει η παραγωγή παρόλα αυτά τα δεδομένα δείχνουν πως από το 2008 η παραγωγή παρουσιάζει ανοδική τάση. Αυτό δικαιολογείται εφόσον την τελευταία δεκαετία οι Η.Π.Α. έχουν στραφεί στην παραγωγή σχιστολιθικού πετρελαίου και αερίου.

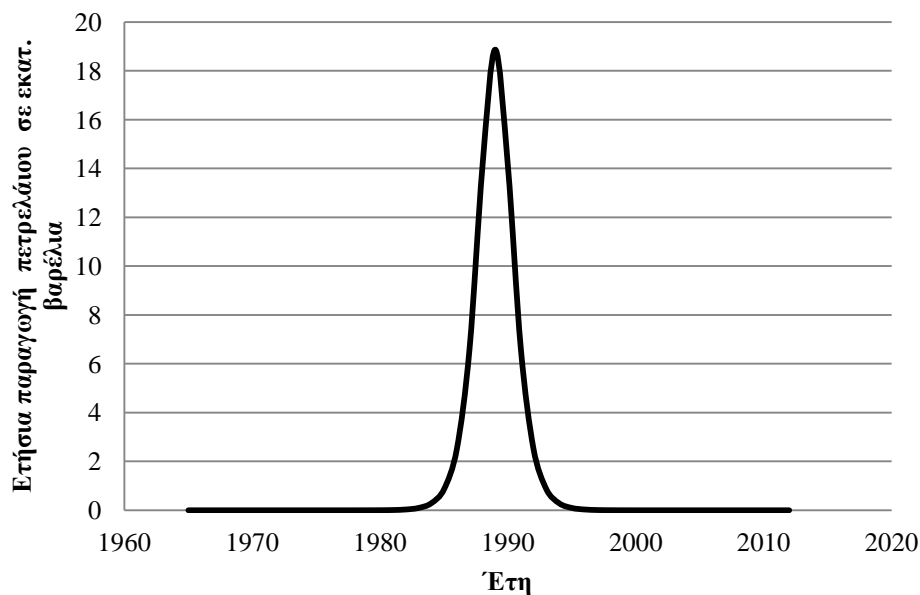


Διάγραμμα 47: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή των Η.Π.Α.

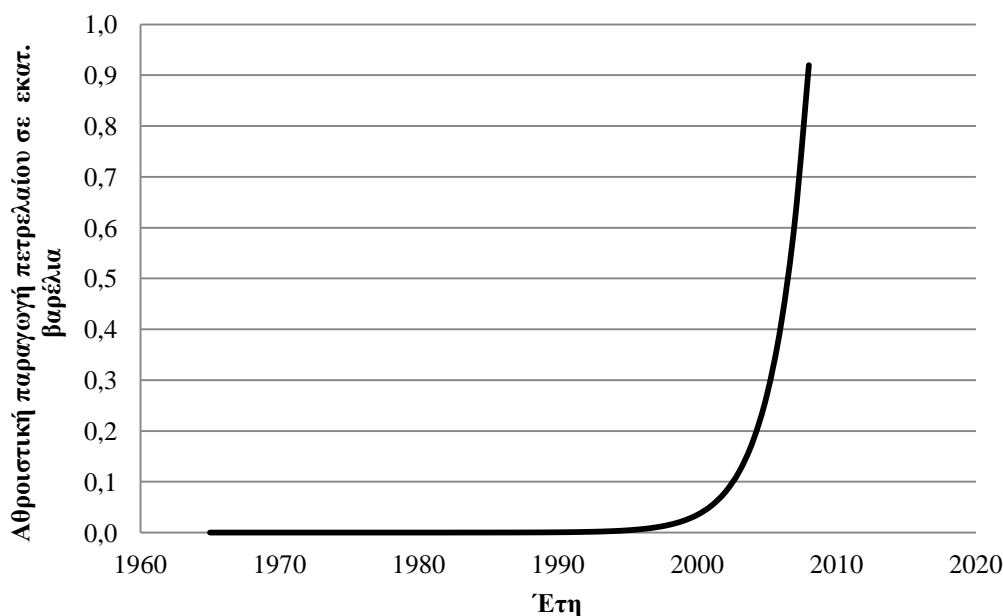


Διάγραμμα 48: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής των Η.Π.Α. με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου

Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδούς καμπύλης.



Διάγραμμα 49: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής των Η.Π.Α. σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου



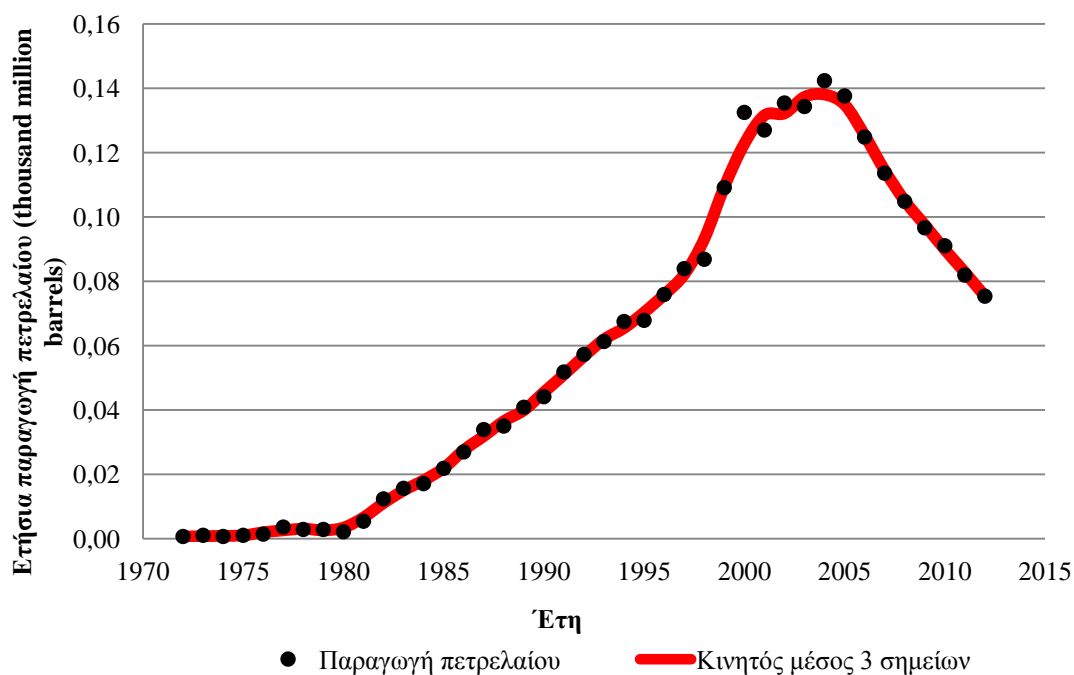
Διάγραμμα 50: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής των Η.Π.Α. για τις εκτιμηθείσες τιμές των παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η θ ο επιλυτής αδυνατεί να υπολογίσει τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων a και b .

| | a | b | SEE |
|--|------------------|-------------|-------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 4.132.147.033,66 | 1,111816212 | - |
| Με εφαρμογή solver | 4.132.147.033,66 | 0,411605621 | 0,769376225 |

Δανία

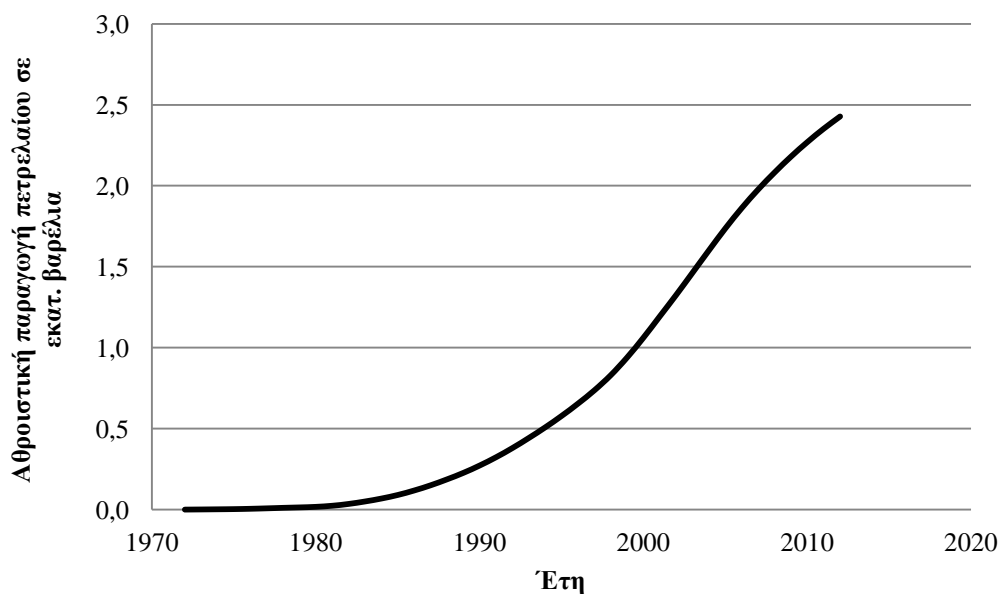
Η Δανία είναι η τέταρτη μεγαλύτερη πετρελαιοπαραγωγός στην Ευρώπη με αποδεδειγμένα ανακτήσιμα αποθέματα πετρελαίου με εξαίρεση την Ρωσική Ομοσπονδία. Όλα τα πεδία πετρελαίου που έχουν ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα βρίσκονται στη Βόρεια Θάλασσα. Τα κύρια πεδία της πετρελαϊκής παραγωγής είναι τα Halfdan, Dan, Valdemar, Νότια Arne και Gorm, τα ποία αντιπροσώπευαν το 78% της εθνικής παραγωγής πετρελαίου. Πάνω από το 60% του αργού εξάγεται, κυρίως σε άλλες χώρες της Δυτικής Ευρώπης.



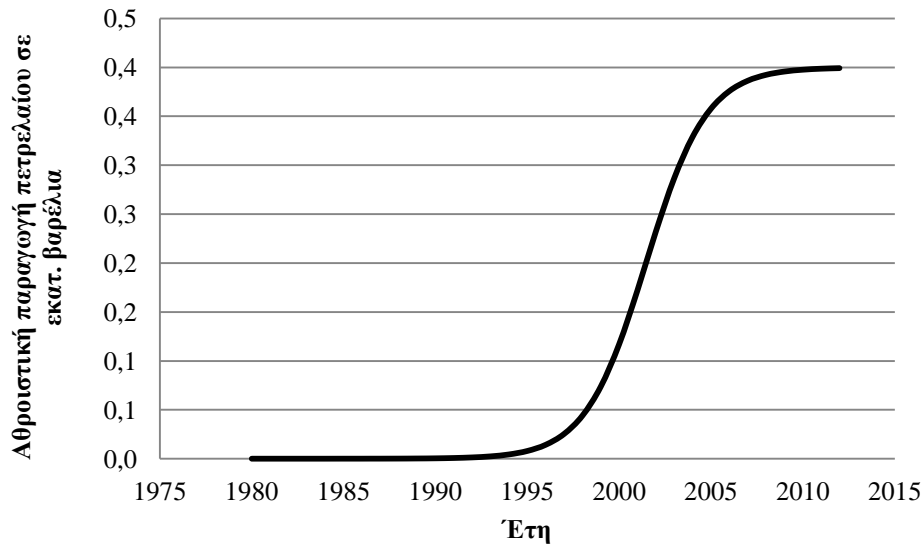
Διάγραμμα 51: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της Δανίας

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Παρατηρείται πως η πετρελαϊκή παραγωγή της Δανίας έφθασε σε μια κορύφωση το 2004 στα 0,1424 χιλ. εκατ. βαρέλια.

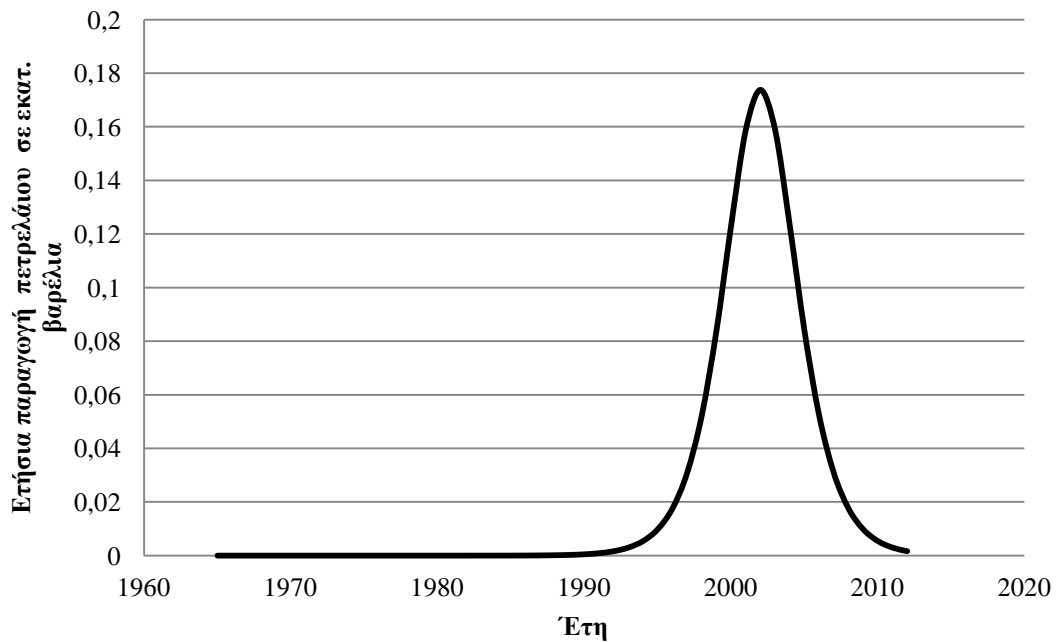


Διάγραμμα 52: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της Δανίας

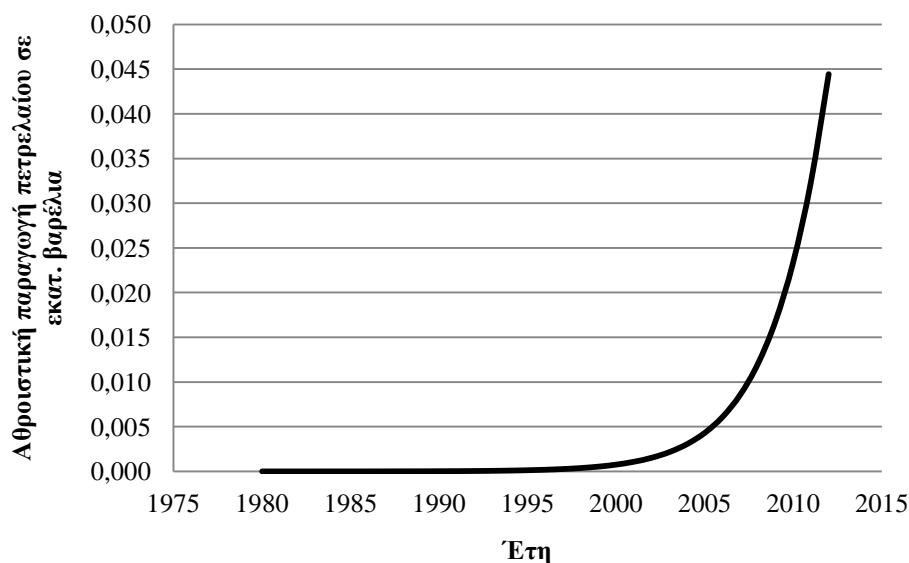


Διάγραμμα 53: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Δανίας με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου

Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδούς καμπύλης.



Διάγραμμα 54: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής της Δανίας σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου



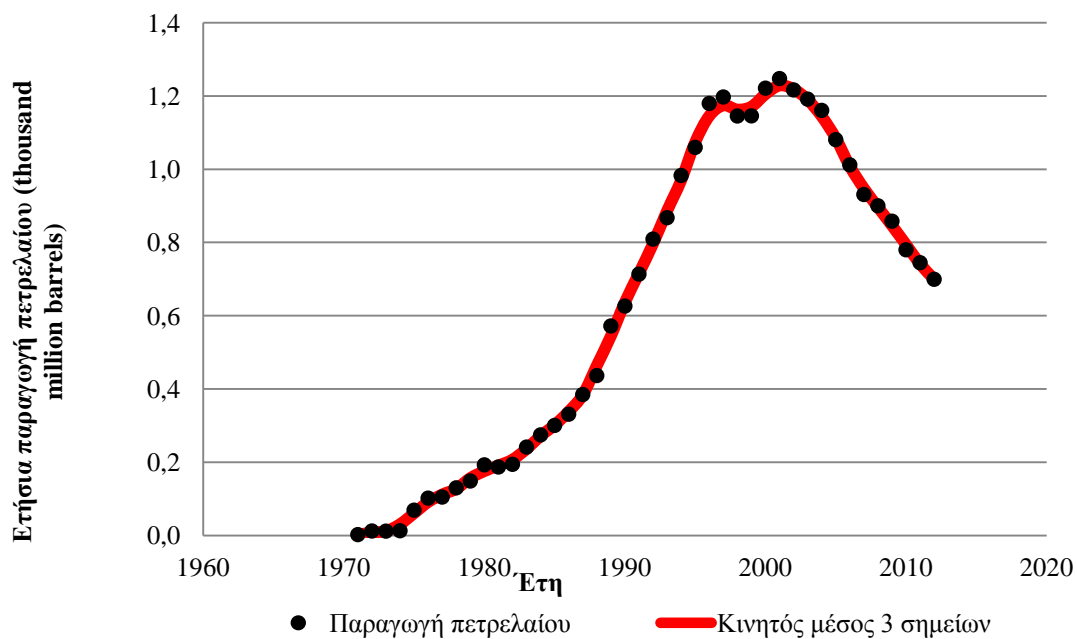
Διάγραμμα 55: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Δανίας για τις εκτιμηθείσες τιμές των παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η o επιλυτής αδυνατεί να υπολογίσει τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων a και b .

| | a | b | SEE |
|--|-------------|-------------|------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 786973,5861 | 0,592348083 | - |
| Με εφαρμογή solver | 786973,5861 | 0,348386257 | 0,00150559 |

Νορβηγία

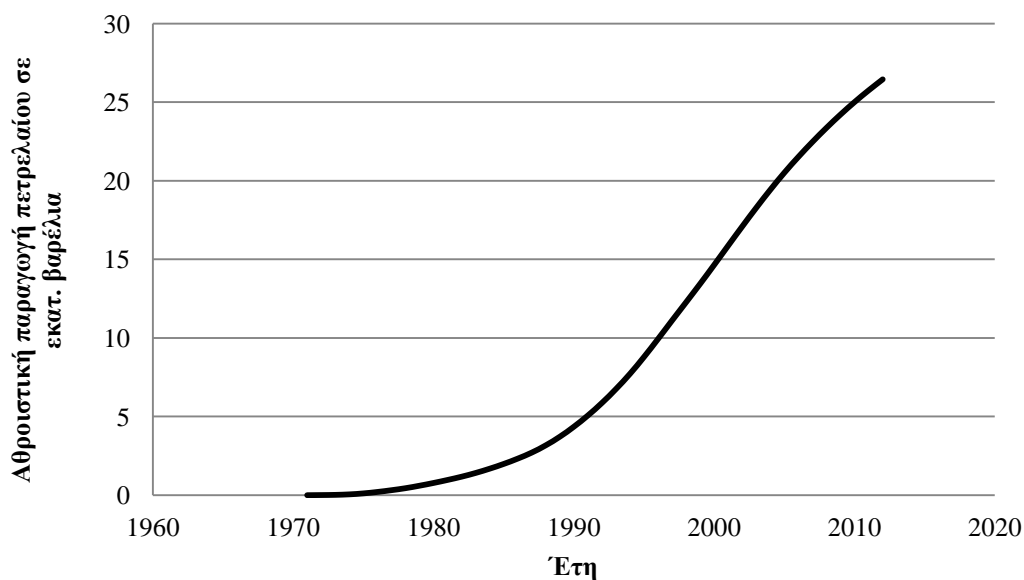
Ξεκινώντας με την ανακάλυψη του κοιτάσματος πετρελαίου Ekofisk το 1970, την επιτυχή εξερεύνηση στα ύδατα της Νορβηγίας στη Βόρεια Θάλασσα την έφερε να είναι η νούμερο ένα χώρα στην Ευρώπη με εξαίρεση αυτή της Ρωσικής Ομοσπονδίας από άποψη αποδεδειγμένων αποθεμάτων πετρελαίου και παραγωγής.



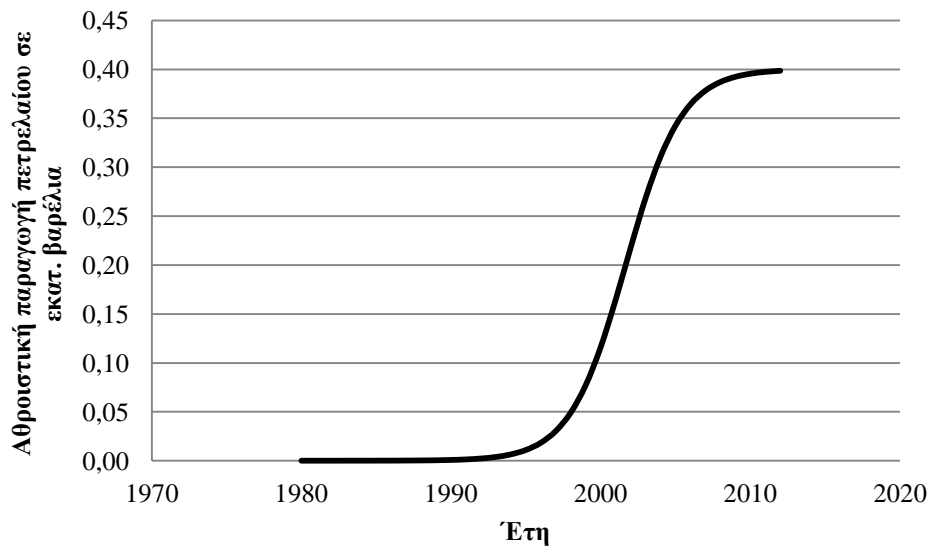
Διάγραμμα 56: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της Νορβηγίας

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Παρατηρείται πως η πετρελαϊκή παραγωγή της Νορβηγίας έφθασε σε κορύφωση το 2001 στα 1,247 χιλ. εκατ. βαρέλια.

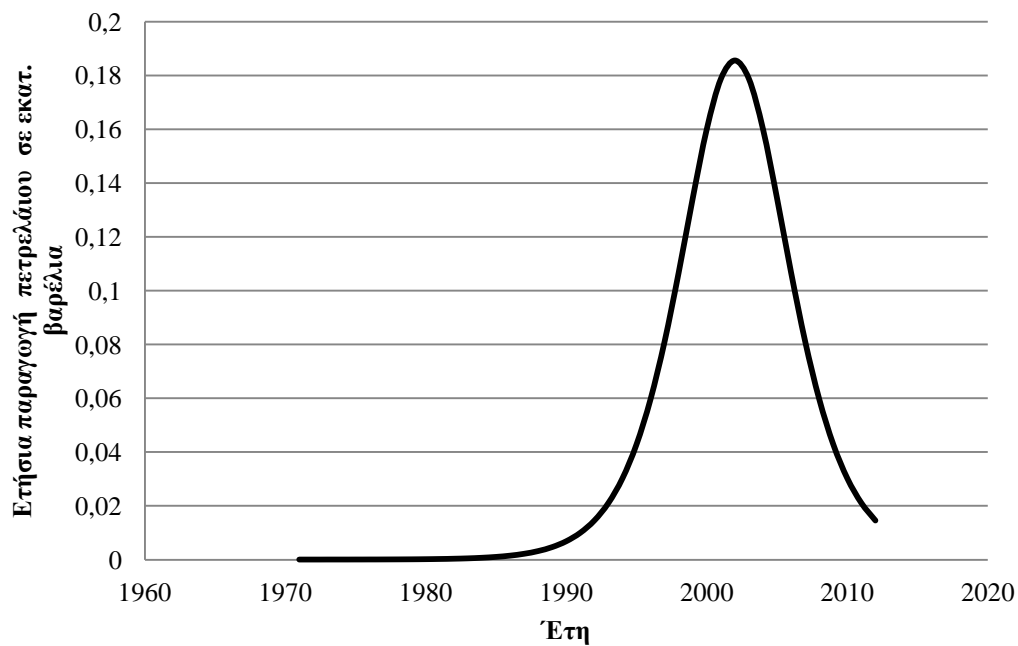


Διάγραμμα 57: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της Νορβηγίας

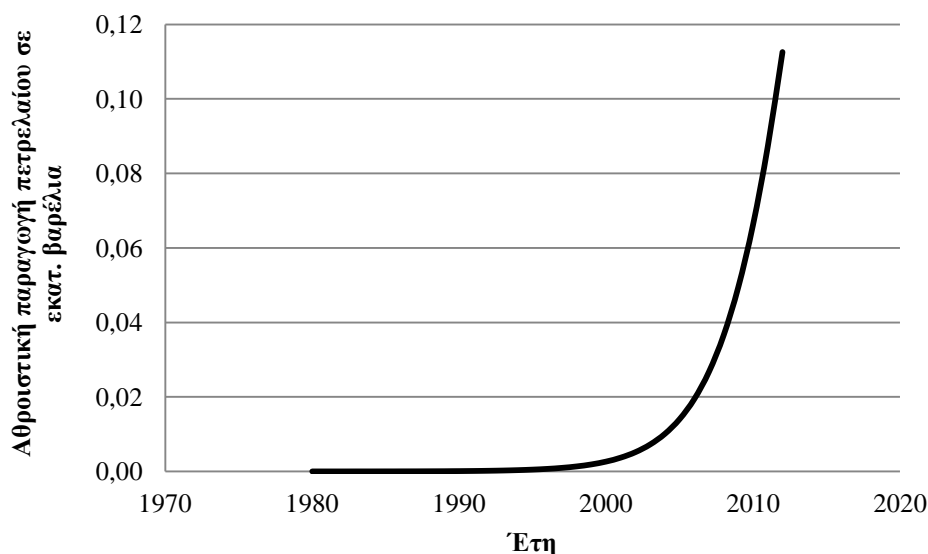


Διάγραμμα 58: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Νορβηγίας με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου

Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδής καμπύλης.



Διάγραμμα 59: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής της Νορβηγίας σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου



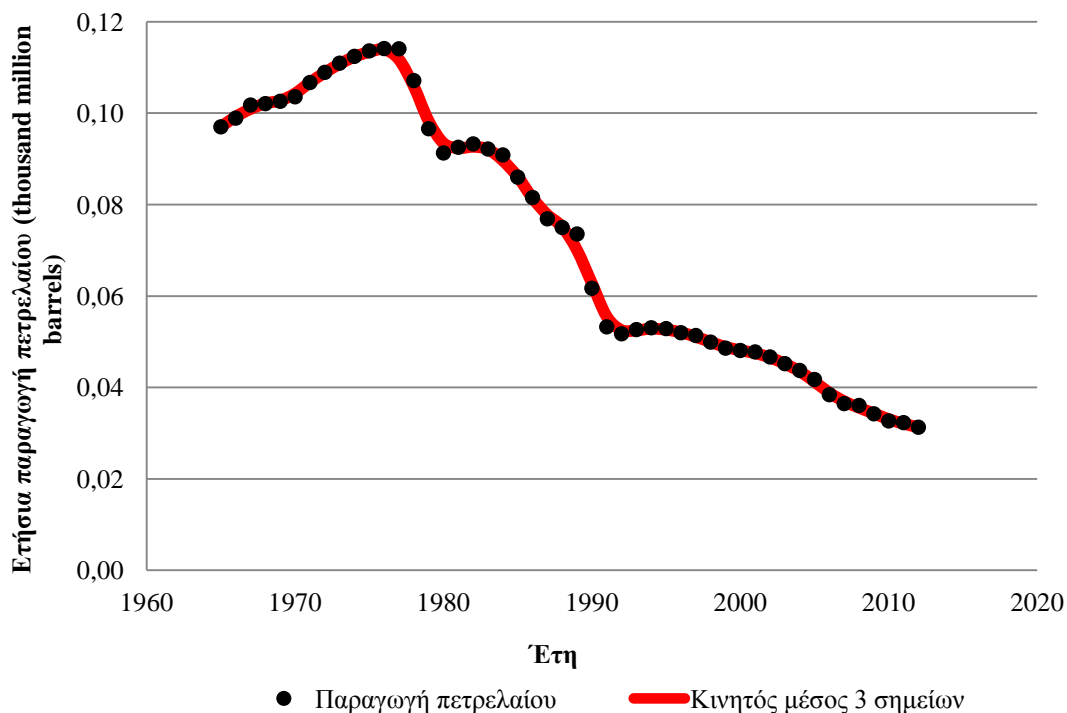
Διάγραμμα 60: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Νορβηγίας για τις εκτιμηθείσες τιμές των παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η ο επιλυτής αδυνατεί να υπολογίσει τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων a και b .

| | a | b | SEE |
|--|------------|-------------|-------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 187130,036 | 0,53545304 | - |
| Με εφαρμογή solver | 187130,036 | 0,339458315 | 0,013880142 |

Ρουμανία

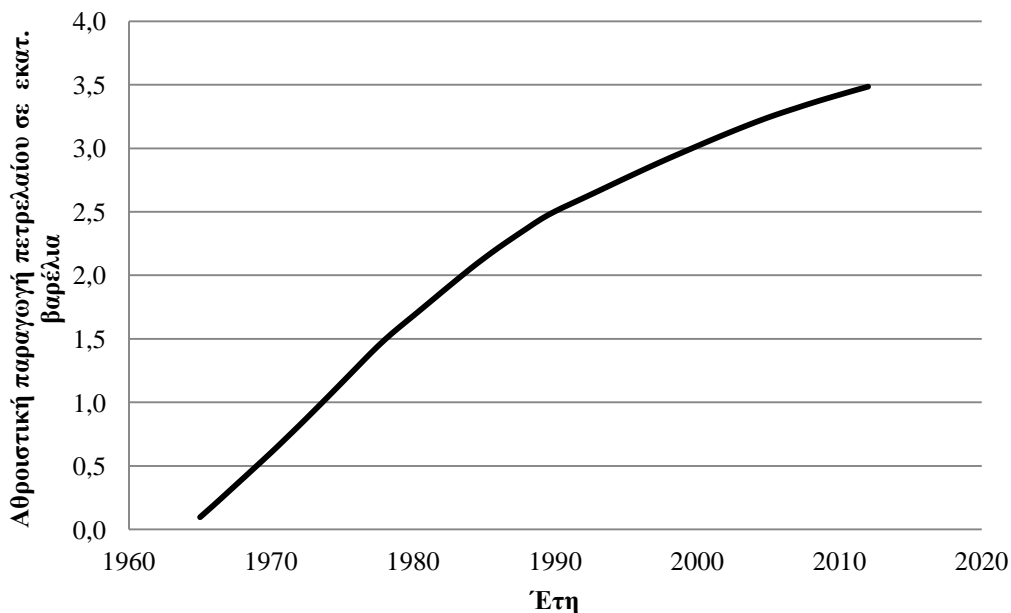
Παρά το γεγονός ότι είναι από τα παλαιότερα πετρελαιοπαραγωγά κράτη της Ευρώπης, η Ρουμανία εξακολουθεί να διαθέτει σημαντικούς πετρελαϊκούς πόρους. Η κύρια περιοχή παραγωγής εδώ και καιρό είναι η περιοχή Ploesti στη λεκάνη των Καρπαθίων στα βορειοδυτικά του Βουκουρεστίου, αλλά μια νέα επαρχία του έχει έρθει στο προσκήνιο τα τελευταία χρόνια, με την εκκίνηση της παραγωγής από δύο υπεράκτια πεδία (Δυτική και Ανατολική Lebada) στη Μαύρη Θάλασσα.



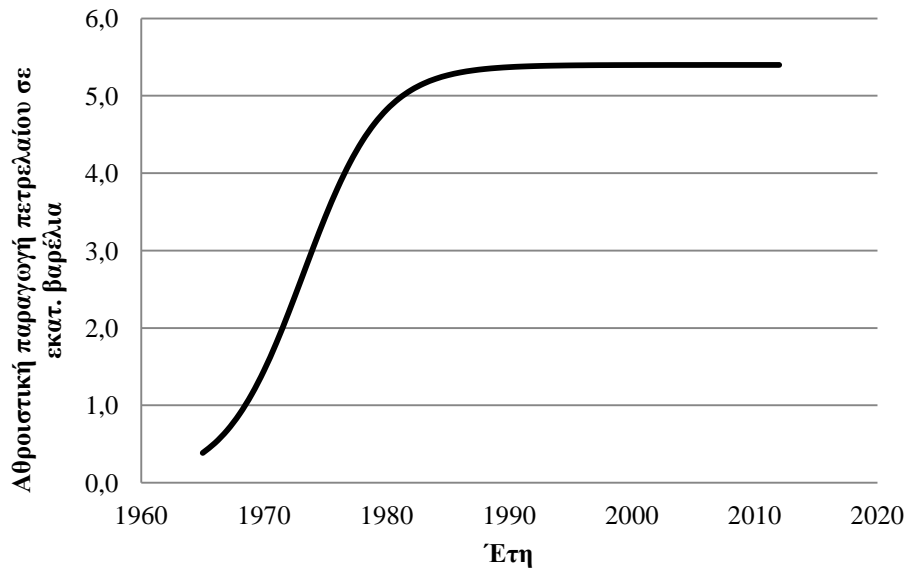
Διάγραμμα 61: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της Ρουμανίας

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Παρατηρείται πως η πετρελαϊκή παραγωγή της Ρουμανίας έφθασε σε κορύφωση το 1976 στα 0,114 χιλ. εκατ. βαρέλια.

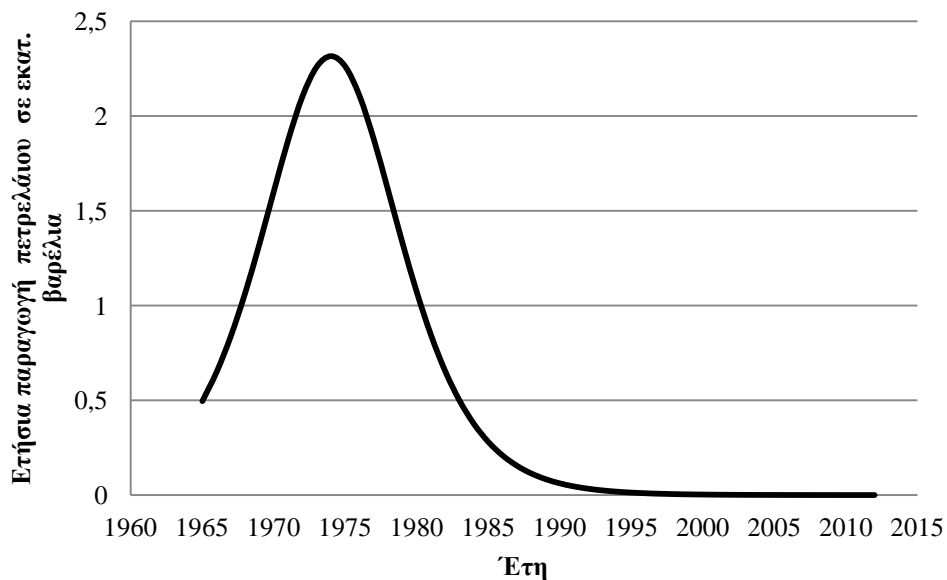


Διάγραμμα 62: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της Ρουμανίας

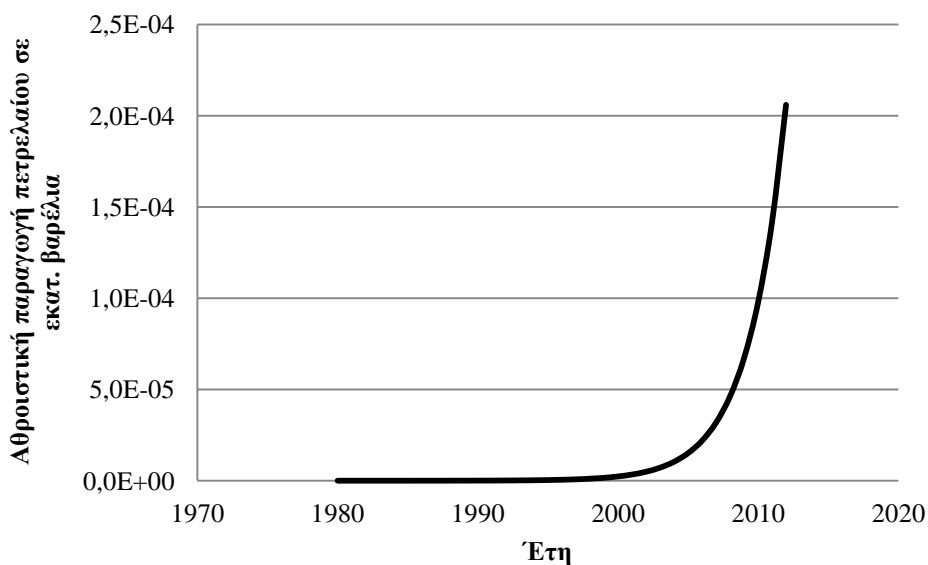


Διάγραμμα 63: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Ρουμανίας με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου

Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδούς καμπύλης.



Διάγραμμα 64: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής της Ρουμανίας σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου



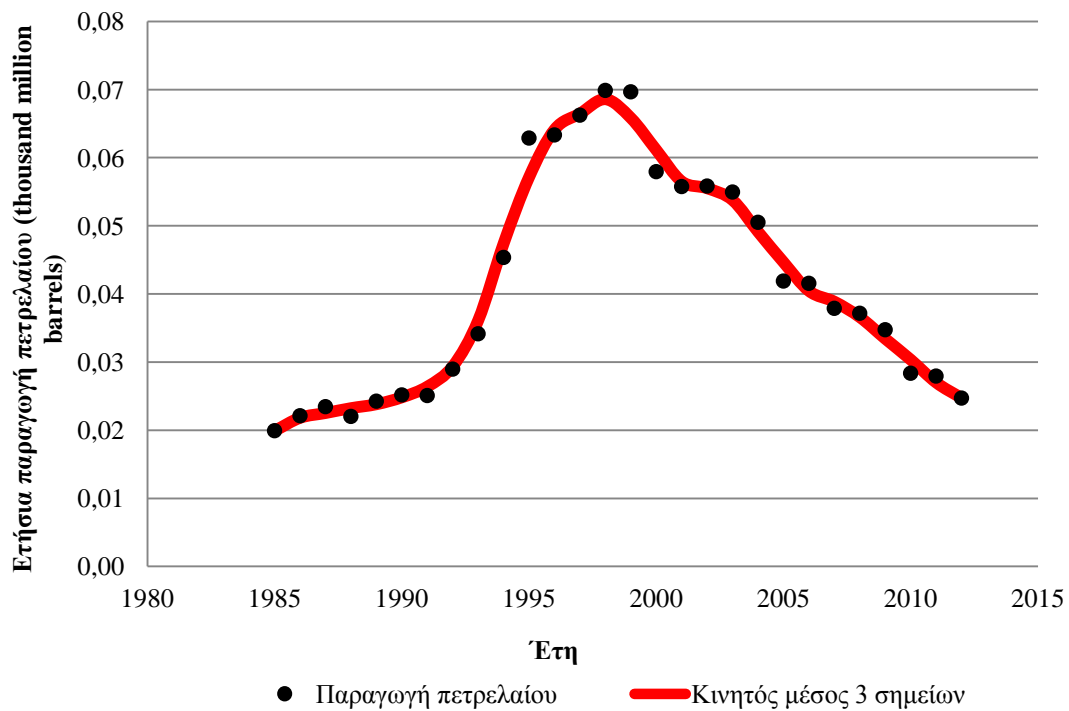
Διάγραμμα 65: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Ρουμανίας για τις εκτιμηθείσες τιμές των παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η ο επιλυτής αδυνατεί να υπολογίσει τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων a και b .

| | a | b | SEE |
|--|------------|-------------|-------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 1218347392 | 0,312349554 | - |
| Με εφαρμογή solver | 1218347392 | 0,373863591 | 2,350625736 |

Ουζμπεκιστάν

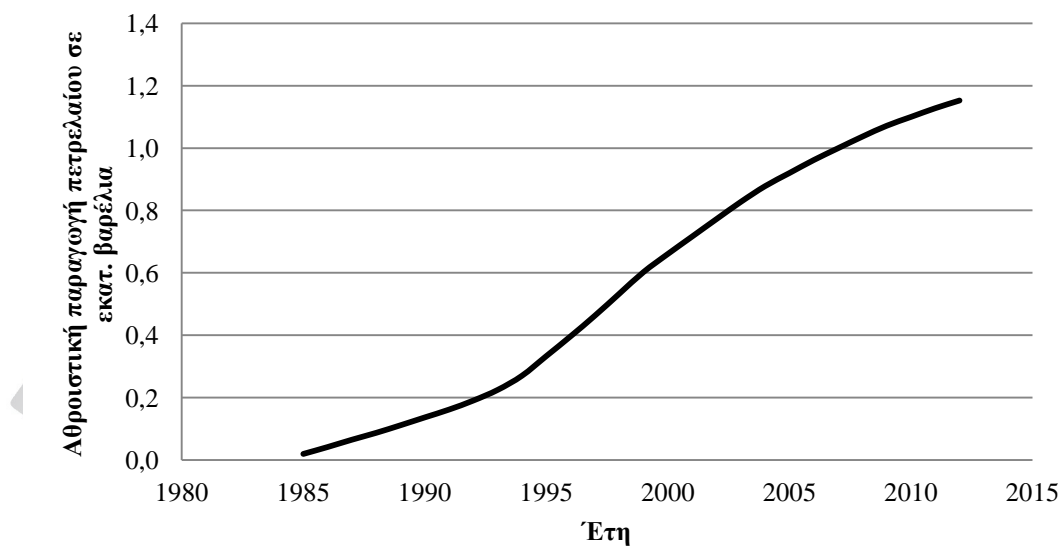
Παρά το γεγονός ότι εξάγει πετρέλαιο πάνω από έναν αιώνα μετά τη δεκαετία του '50 ξεκίνησαν οι αντλήσεις πετρελαίου σε μεγάλη κλίμακα. Η τρέχουσα εκτίμηση που δημοσιεύθηκε από το περιοδικό Oil & Gas (OGJ) έδειξε πως τα αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου ανέρχονται στα 594 εκατομμύρια βαρέλια, ποσότητα που παραμένει αμετάβλητη λόγω ότι το 1996 ανακαλύφθηκαν πετρελαιοπηγές οι οποίες βρίσκονται στο νοτιοδυτικό τμήμα της χώρας (λεκάνη Amu-Darya) και στη λεκάνη Tadjhik-Fergana στα ανατολικά της χώρας.



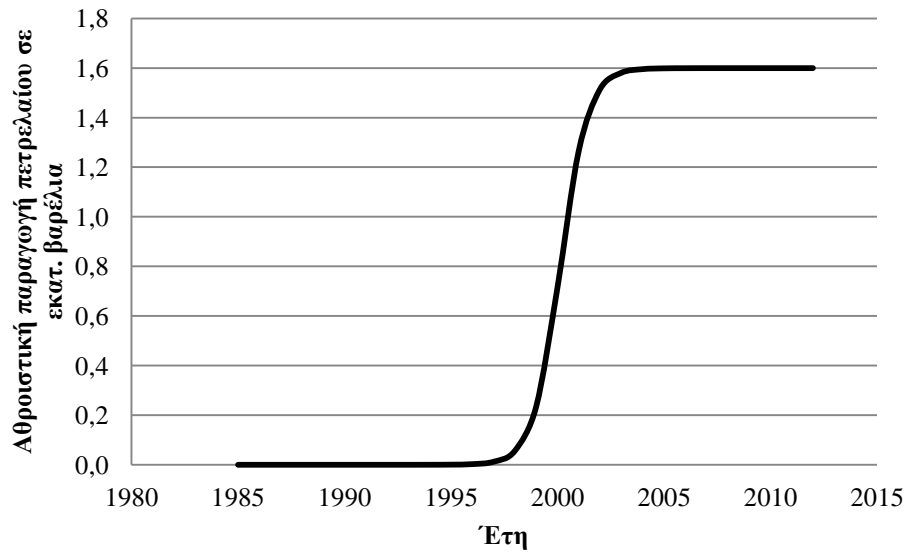
Διάγραμμα 66: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή του Ουζμπεκιστάν

(Πηγή: [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#))

Παρατηρείται πως η πετρελαϊκή παραγωγή του Ουζμπεκιστάν έφθασε σε κορύφωση το 1998 στα 0,5329 χιλ. εκατ. βαρέλια.

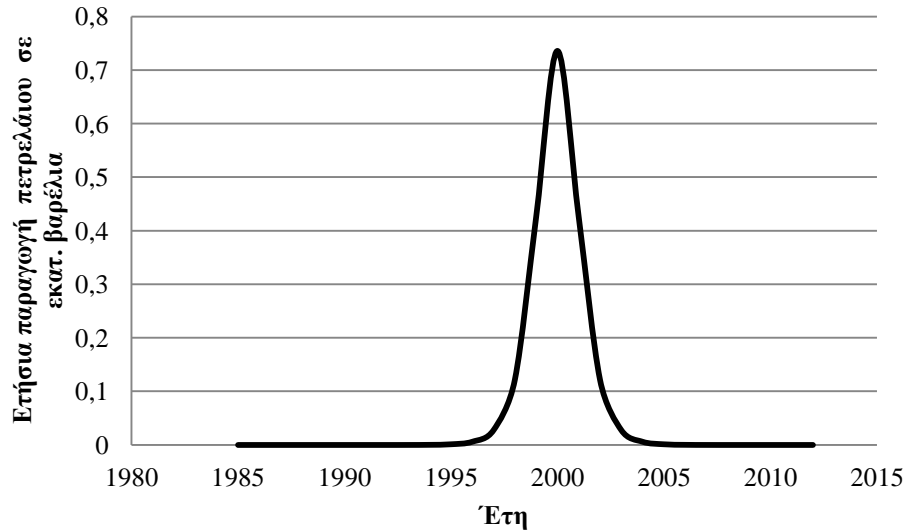


Διάγραμμα 67: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή του Ουζμπεκιστάν

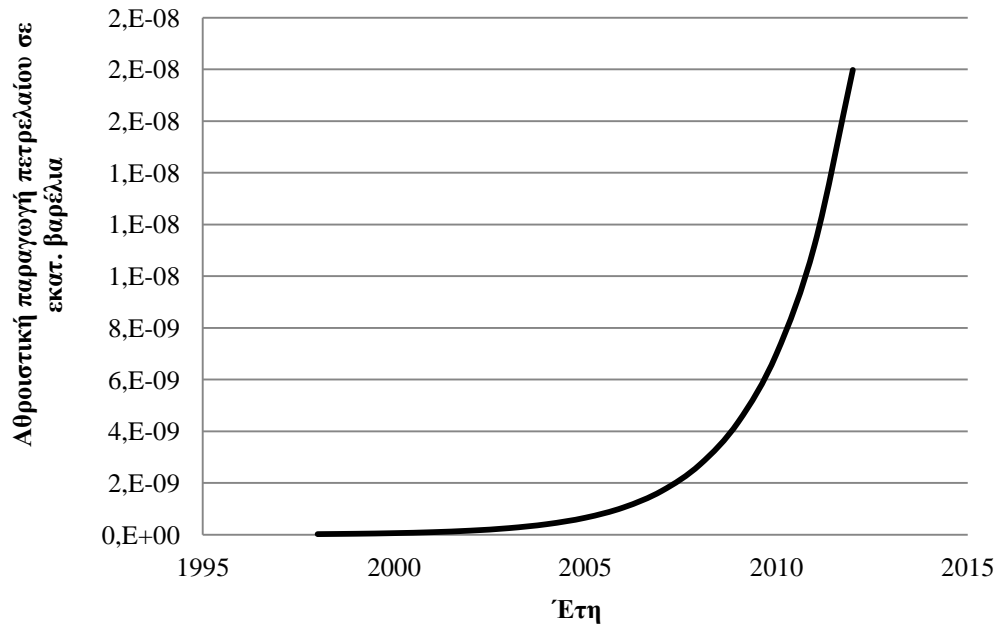


Διάγραμμα 68: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής του Ουζμπεκιστάν με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου

Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδής καμπύλης.



Διάγραμμα 69: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής του Ουζμπεκιστάν σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου



Διάγραμμα 70: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής του Ουζμπεκιστάν για τις εκτιμηθείσες τιμές των παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

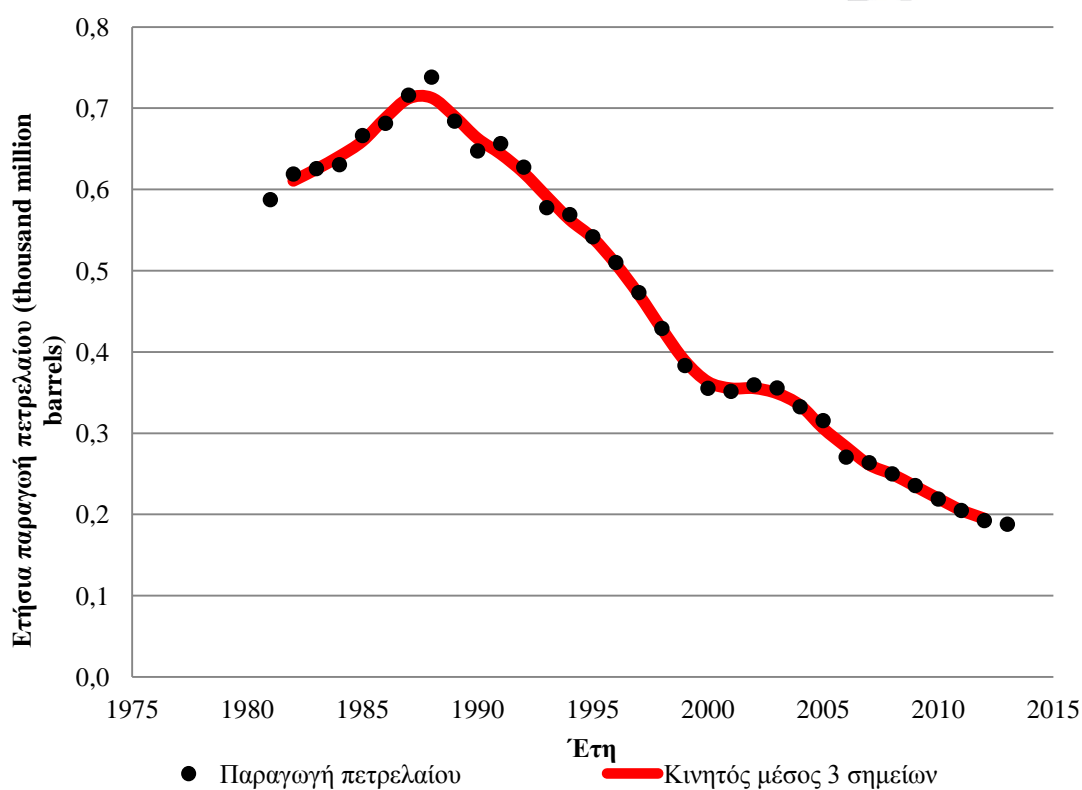
Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η ο επιλυτής αδυνατεί να υπολογίσει τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων a και b .

| | a | b | SEE |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 39621628918 | 1,54898 | - |
| Με εφαρμογή solver | 39621628918 | 0,035457858 | 0,268869993 |

6.2.2 Εφαρμογή του μοντέλου του Hubbert για την πρόβλεψη της κορύφωσης της παραγωγής πετρελαίου σε ορισμένες Πολιτείες των Η.Π.Α.

Εφαρμόστηκε το μοντέλο του Hubbert για τον υπολογισμό της αθροιστικής παραγωγής πετρελαίου σε ορισμένες πολιτείες της Αμερικής που έχουν φθάσει στην κορύφωσή τους, ο επιλυτής υπολογίζει τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων a και b του μοντέλου, όπως παρουσιάζεται στα παρακάτω παραδείγματα.

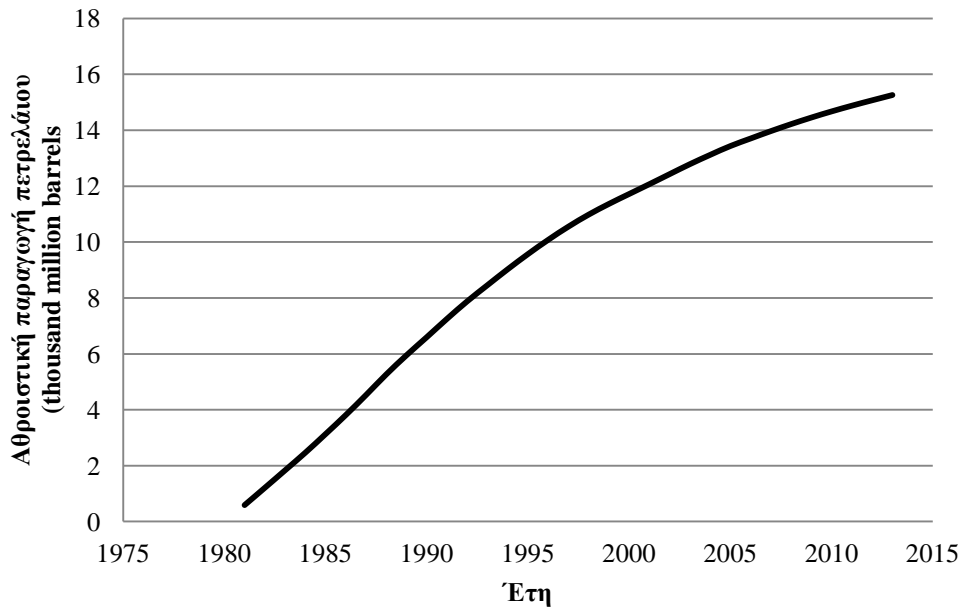
Πολιτεία της Αλάσκας



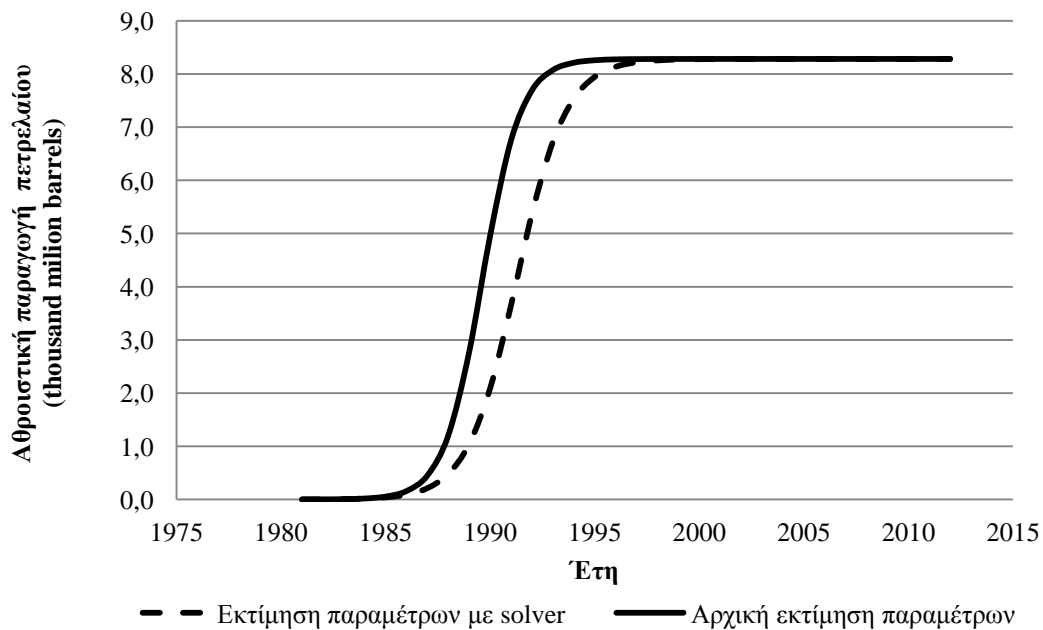
Διάγραμμα 71: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας της Αλάσκας

(Πηγή: [Energy Information Administration](#))

Παρατηρείται πως η πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας της Αλάσκας έφθασε σε κορύφωση το 1988 στα 0,738χιλ. εκατ. βαρέλια.



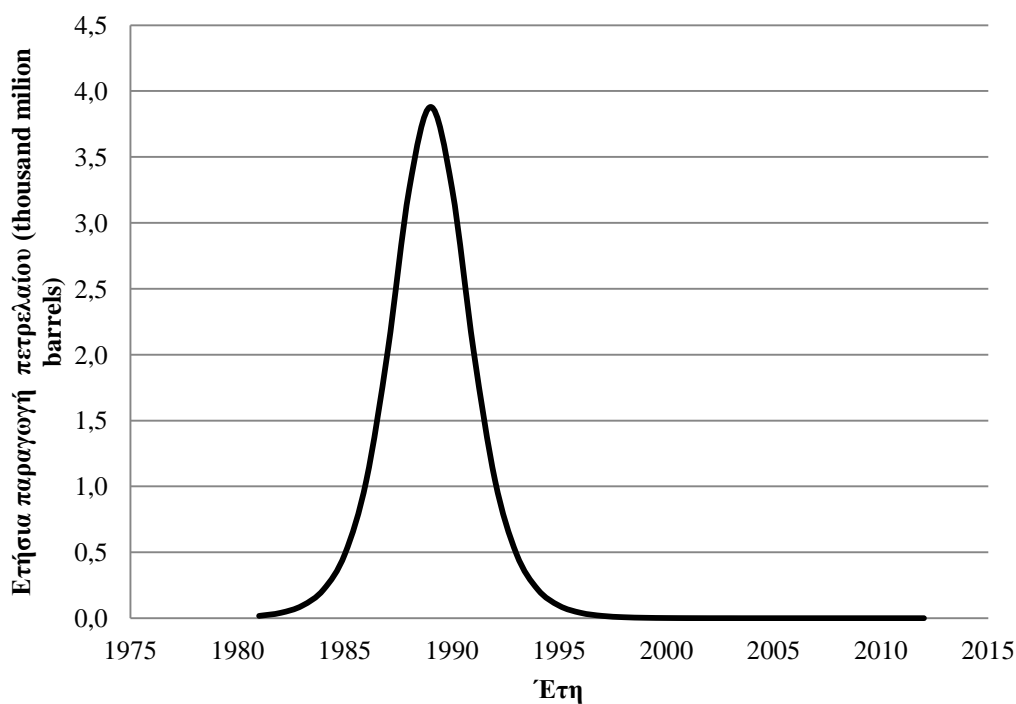
Διάγραμμα 72: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας της Αλάσκας



Διάγραμμα 73: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της πολιτείας της Αλάσκας με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδούς καμπύλης και πως η καμπύλη με τις εκτιμηθείσες παραμέτρους

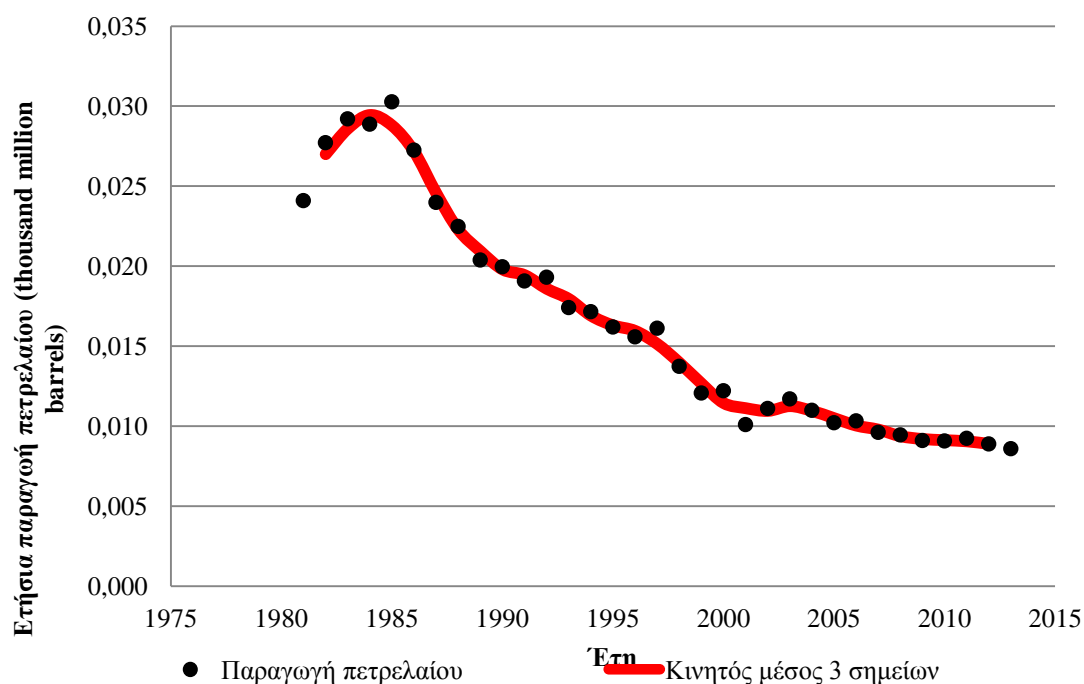
μετατοπίζει την καμπύλη προς τα δεξιά και αυτό διότι η εκτίμηση της παραμέτρου b επηρεάζει περισσότερο από ότι αυτή της a , όπως παρουσιάζονται οι τιμές αυτών στον παρακάτω πίνακα.



Διάγραμμα 74: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής της πολιτείας της Αλάσκας σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου

| | a | b | SEE |
|--|-------------|---------|-------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 34283,6909 | 1,08452 | - |
| Με εφαρμογή solver | 14346,54874 | 0,84878 | 6,632627419 |

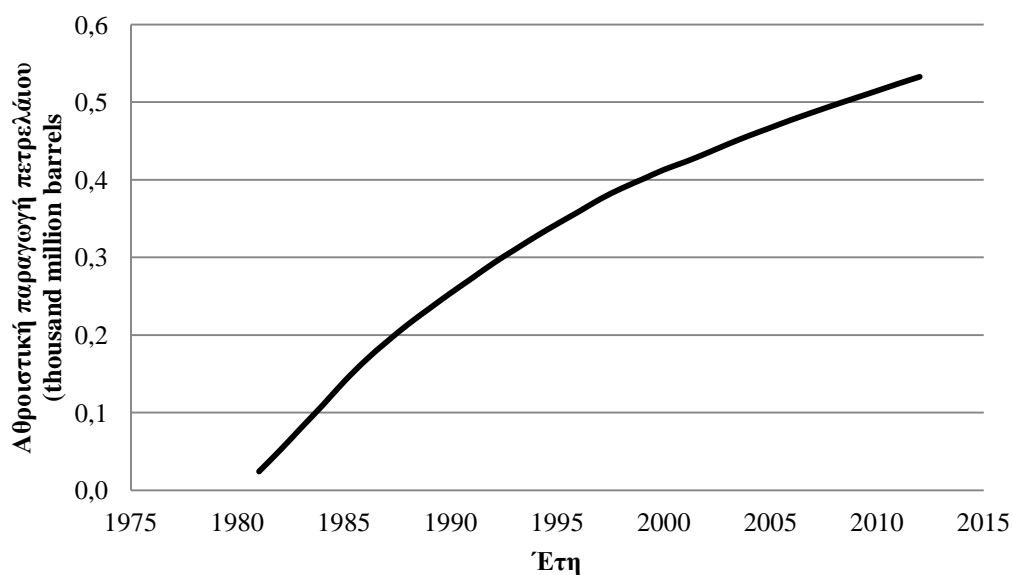
Πολιτεία του Ιλινόις



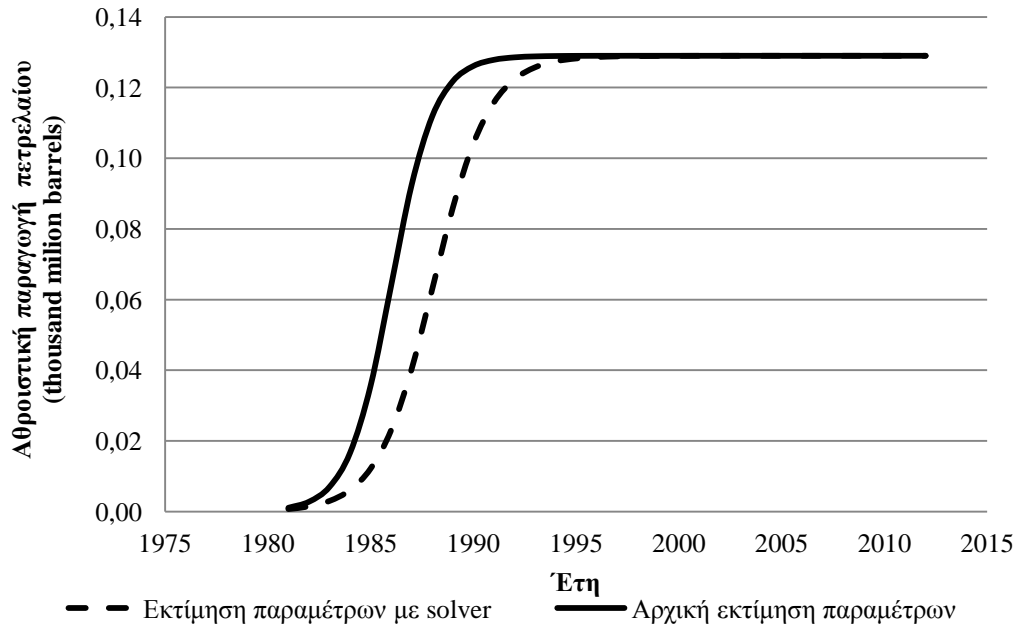
Διάγραμμα 75: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Ιλινόις

(Πηγή: [Energy Information Administration](#))

Παρατηρείται πως η πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Ιλινόις έφθασε σε κορύφωση το 1985 στα 0,0302 χιλ. εκατ. βαρέλια.

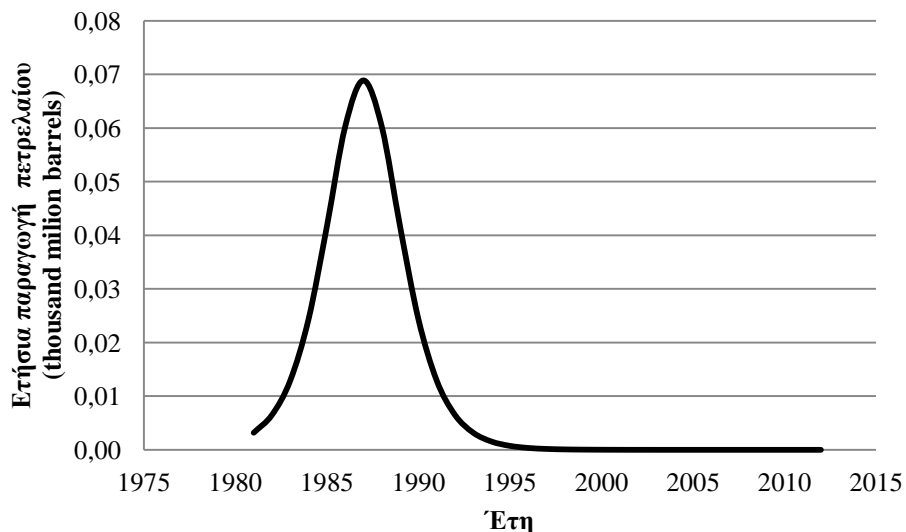


Διάγραμμα 76: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Ιλινόις



Διάγραμμα 77: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της πολιτείας του Ιλινόις με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

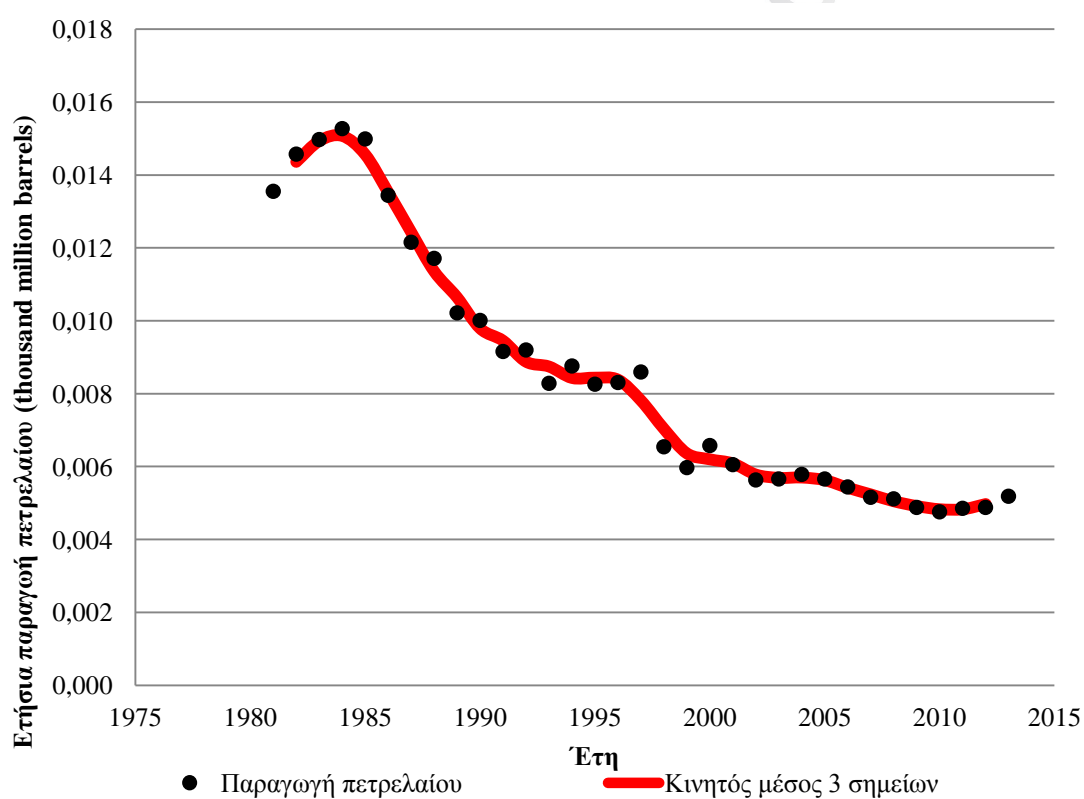
Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδούς καμπύλης και πώς η καμπύλη με τις εκτιμηθείσες παραμέτρους μετατοπίζει την καμπύλη προς τα δεξιά και αυτό διότι η εκτίμηση της παραμέτρου b επηρεάζει περισσότερο από ότι αυτή της a , όπως παρουσιάζονται οι τιμές αυτών στον παρακάτω πίνακα.



Διάγραμμα 78: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής της πολιτείας του Ιλινόις σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου

| | a | b | SEE |
|---|------------|-------------|-------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 387,5818 | 0,947377329 | - |
| Με εφαρμογή solver | 298,787854 | 0,739230018 | 0,112143625 |

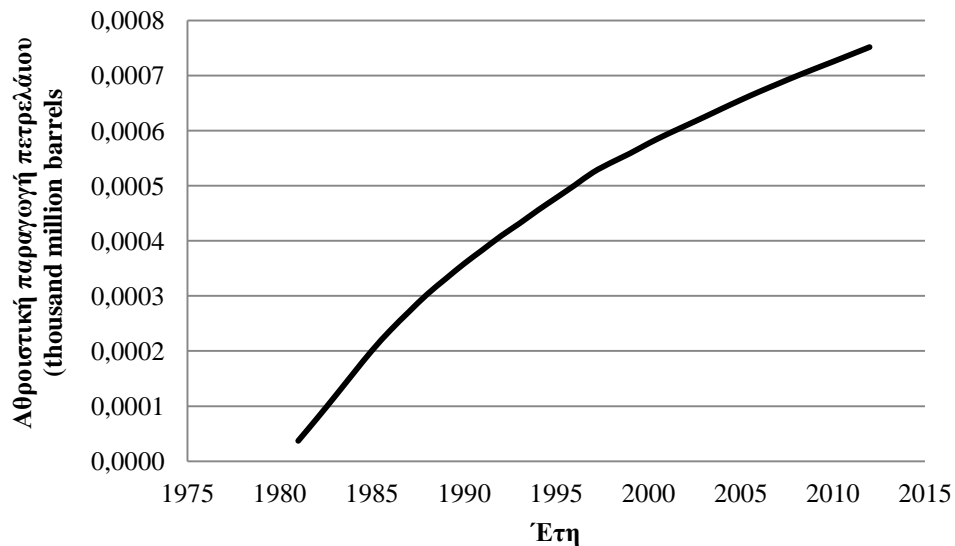
Πολιτεία του Οχάιο



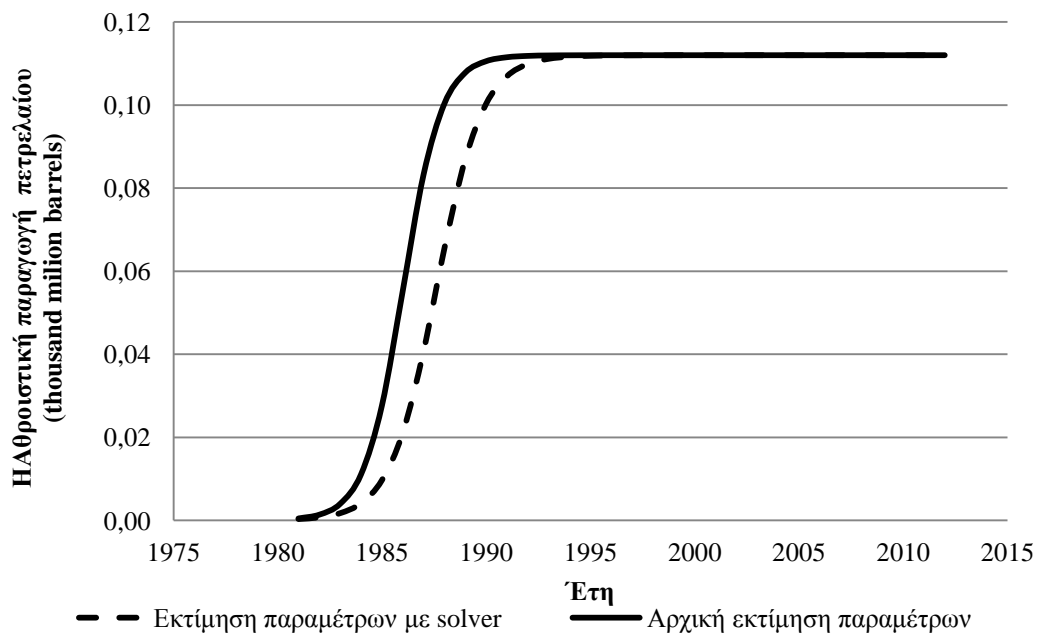
Διάγραμμα 79: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Οχάιο

(Πηγή: [Energy Information Administration](#))

Παρατηρείται πως η πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Οχάιο έφθασε σε κορύφωση το 1984 στα 0,015 χιλ. εκατ. βαρέλια.

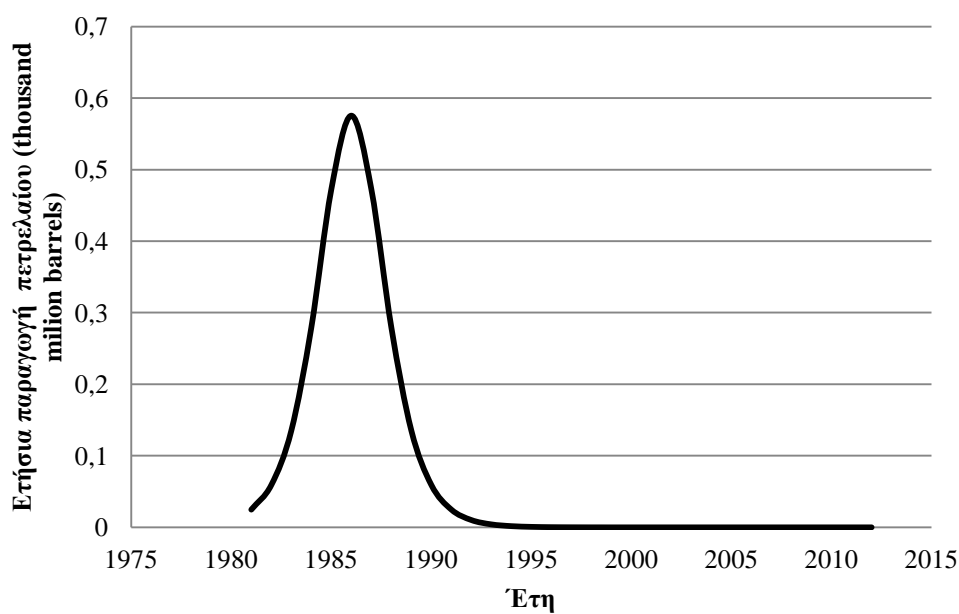


Διάγραμμα 80: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Οχάιο



Διάγραμμα 81: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της πολιτείας του Οχάιο με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

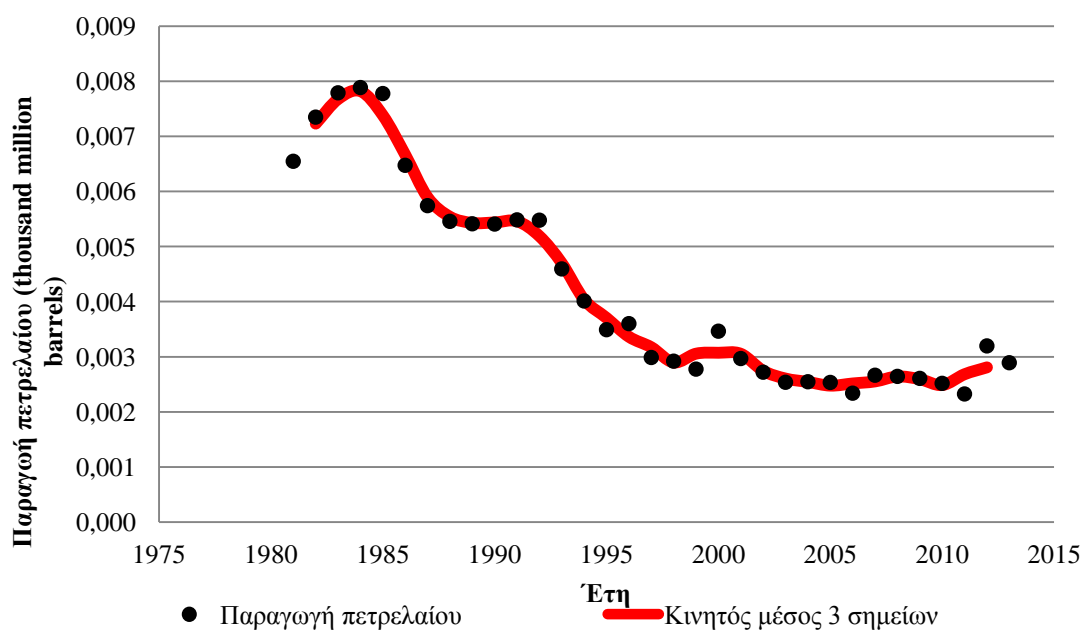
Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδούς καμπύλης και πως η καμπύλη με τις εκτιμηθείσες παραμέτρους μετατοπίζει την καμπύλη προς τα δεξιά και αυτό διότι η εκτίμηση της παραμέτρου b επηρεάζει περισσότερο από ότι αυτή της a , όπως παρουσιάζονται οι τιμές αυτών στον παρακάτω πίνακα.



Διάγραμμα 82: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής πολιτείας του Οχάιο σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου

| | a | b | SEE |
|--|----------|---------|-------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 968,0241 | 1,091 | - |
| Με εφαρμογή solver | 715,9887 | 0,90218 | 0,099177667 |

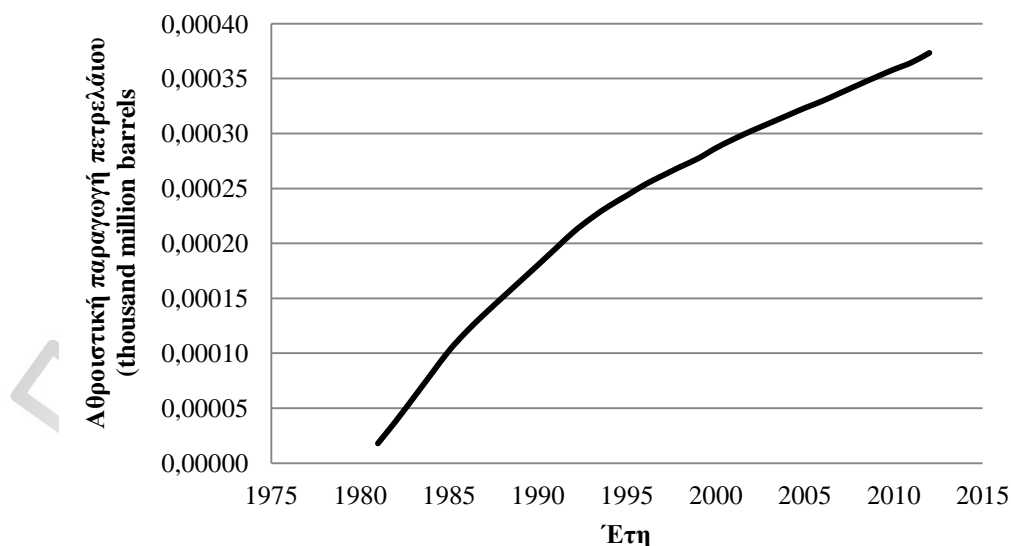
Πολιτεία του Κεντάκι



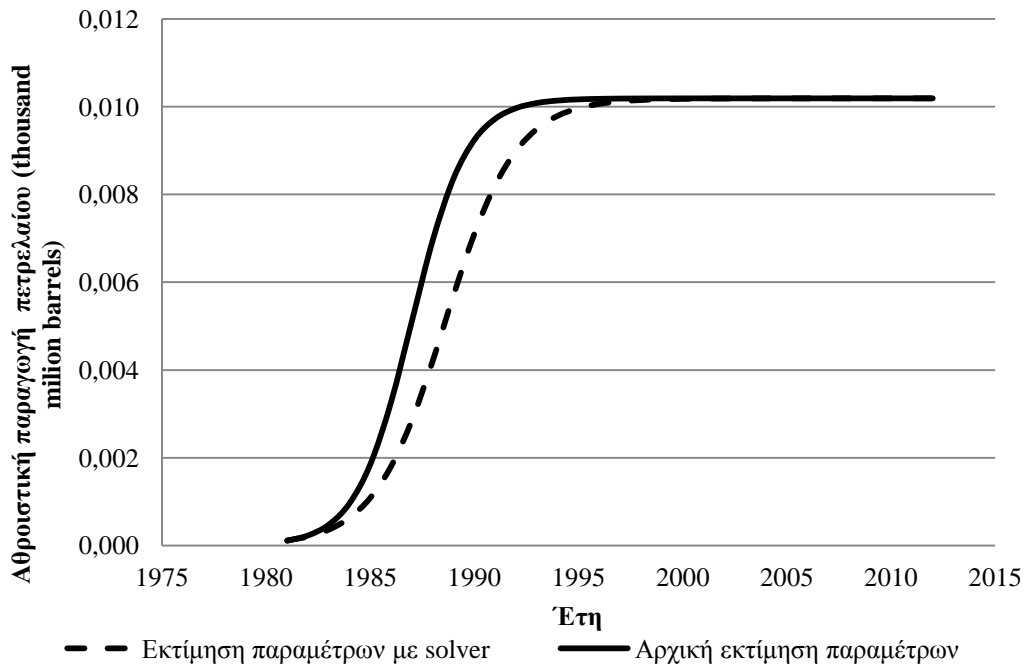
Διάγραμμα 83: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Κεντάκι

(Πηγή: [Energy Information Administration](#))

Παρατηρείται πως η πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Κεντάκι έφθασε σε κορύφωση το 1984 στα 0,0078 χιλ. εκατ. βαρέλια.

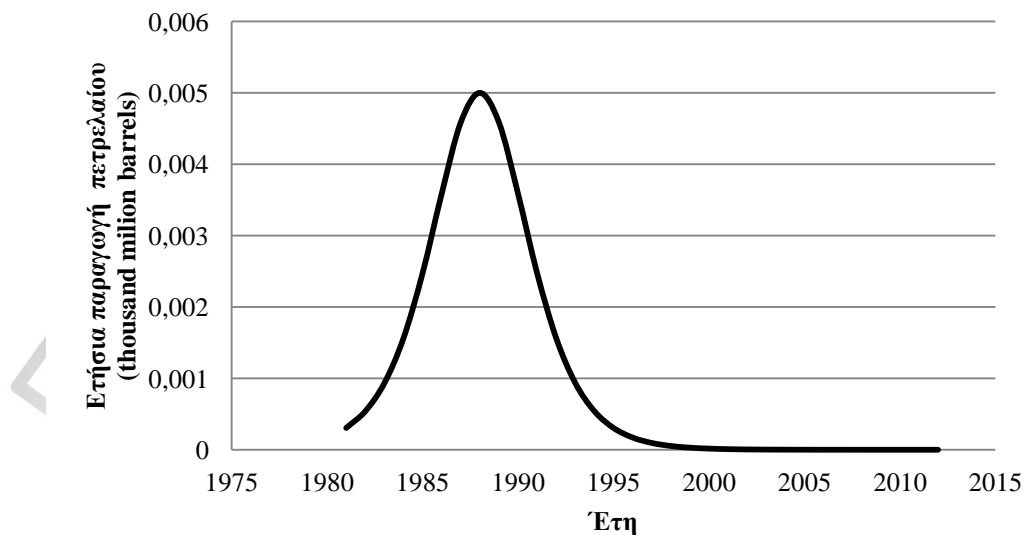


Διάγραμμα 84: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Κεντάκι



Διάγραμμα 85: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της πολιτείας του Κεντάκι με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

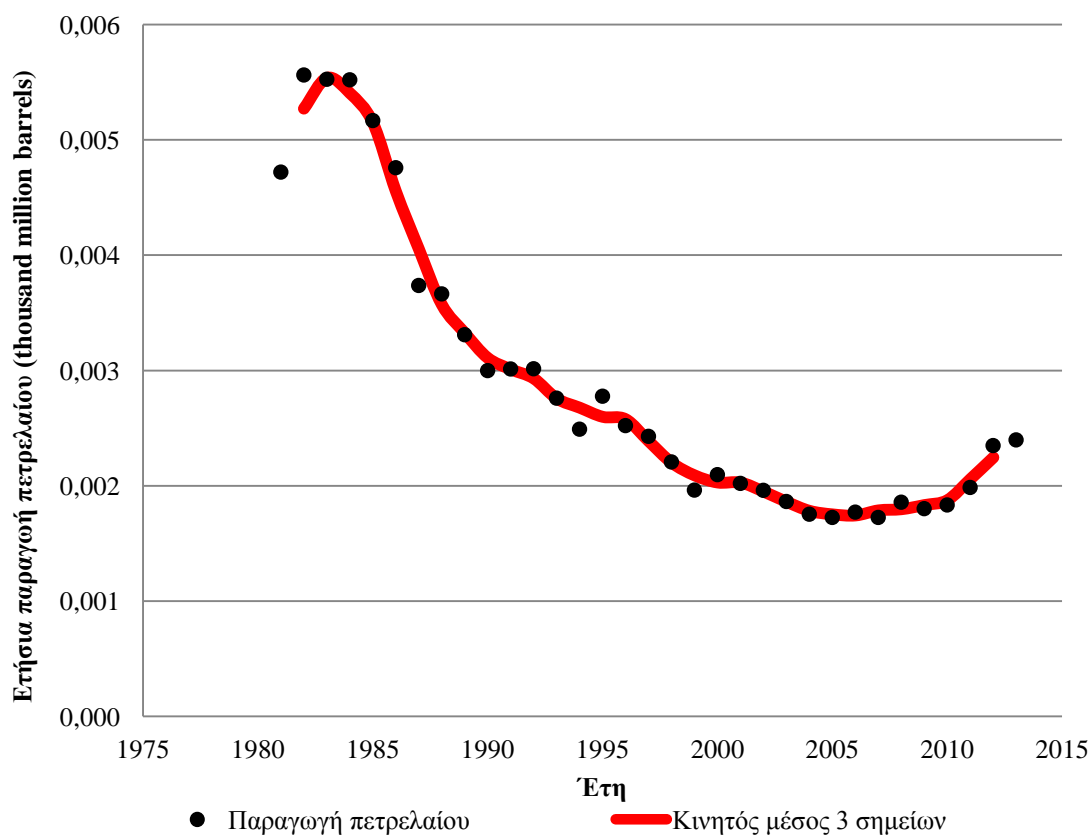
Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδούς καμπύλης και πως η καμπύλη με τις εκτιμηθείσες παραμέτρους μετατοπίζει την καμπύλη προς τα δεξιά και αυτό διότι η εκτίμηση της παραμέτρου b επηρεάζει περισσότερο από ότι αυτή της a , όπως παρουσιάζονται οι τιμές αυτών στον παρακάτω πίνακα.



Διάγραμμα 86: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής πολιτείας του Κεντάκι σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου

| | a | b | SEE |
|---|--------|---------|-------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 162,10 | 0,75766 | - |
| Με εφαρμογή solver | 198,16 | 0,59261 | 0,008510857 |

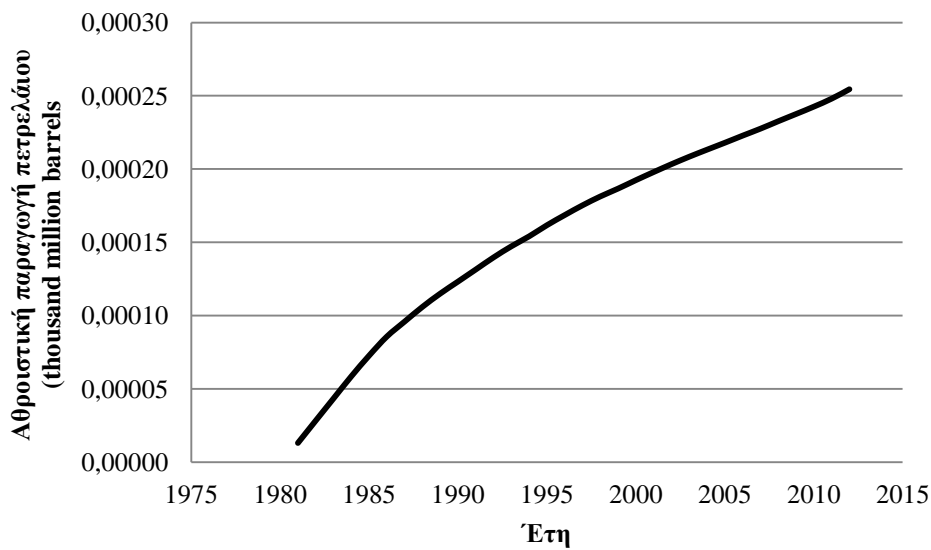
Πολιτεία της Ιντιάνας



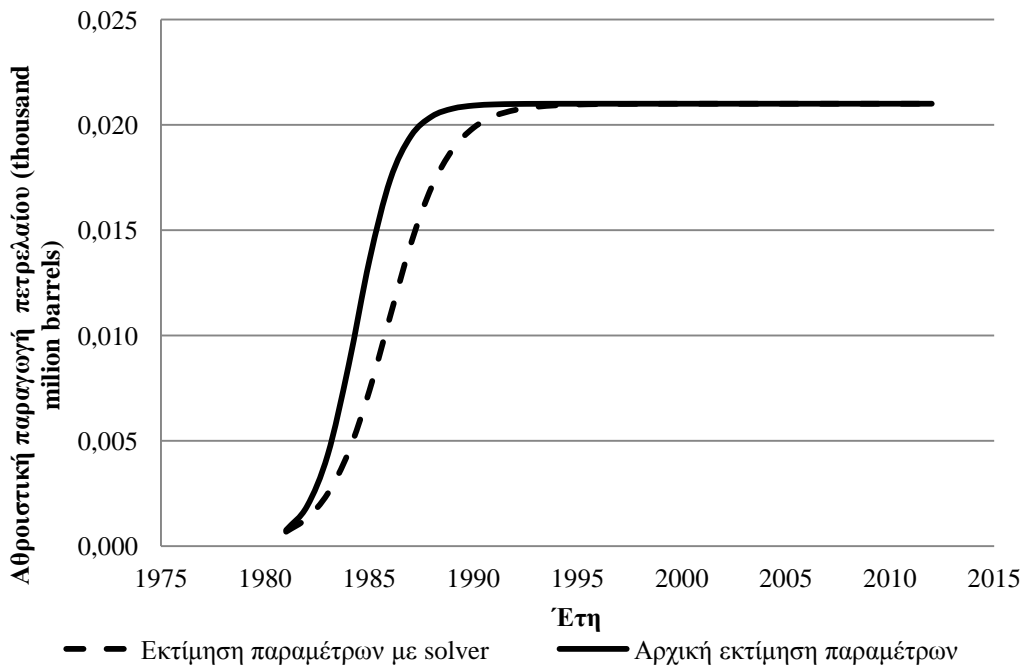
Διάγραμμα 87: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας της Ιντιάνας

(Πηγή: [Energy Information Administration](#))

Παρατηρείται πως η πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας της Ιντιάνας έφθασε σε κορύφωση το 1982 στα 0,0055 χιλ. εκατ. βαρέλια.

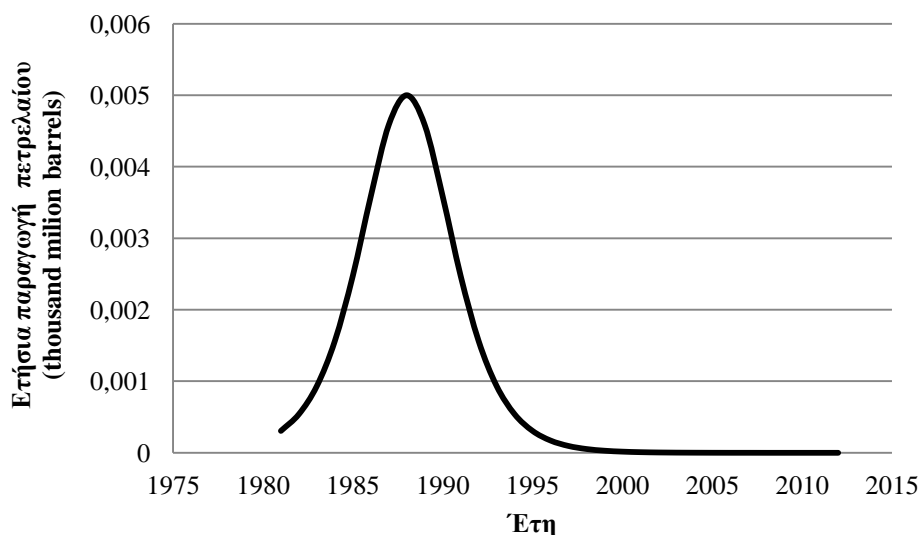


Διάγραμμα 88: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας της Ιντιάνας



Διάγραμμα 89: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της πολιτείας της Ιντιάνας με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδής καμπύλης και πως η καμπύλη με τις εκτιμηθείσες παραμέτρους μετατοπίζει την καμπύλη προς τα δεξιά και αυτό διότι η εκτίμηση της παραμέτρου b επηρεάζει περισσότερο από ότι αυτή της a , όπως παρουσιάζονται οι τιμές αυτών στον παρακάτω πίνακα.



Διάγραμμα 90: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής πολιτείας της Ιντιάνας σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου

| | a | b | SEE |
|--|--------|---------|-------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 162,10 | 0,75766 | - |
| Με εφαρμογή solver | 198,16 | 0,59261 | 0,008510857 |

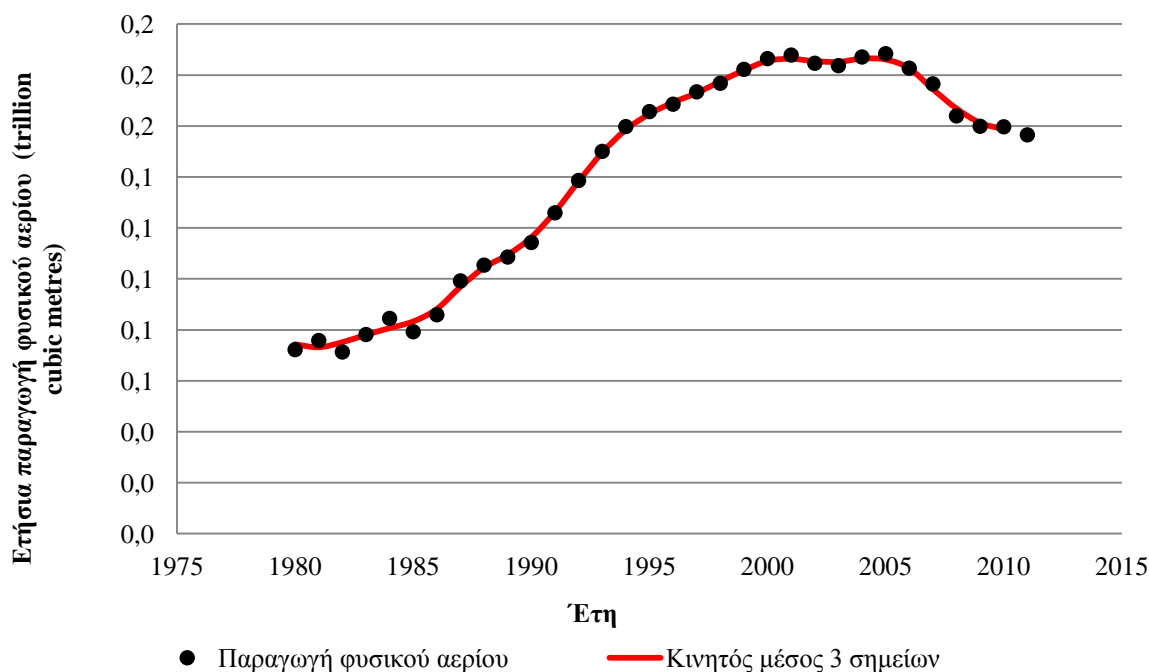
6.3 Εφαρμογή μοντέλων για την πρόβλεψη της κορύφωσης της παραγωγής φυσικού αερίου

Εφαρμόστηκε το μοντέλο του Hubbert για τον υπολογισμό της αθροιστικής παραγωγής φυσικού αερίου σε ορισμένες χώρες που έχουν φθάσει στην κορύφωσή τους, ο επιλυτής υπολογίζει τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων a και b του μοντέλου, όπως παρουσιάζεται στα παρακάτω παραδείγματα.

Η εφαρμογή του μοντέλου έγινε με βάση τα δεδομένα για το φυσικό αέριο της ετήσιας αναφοράς της BP για το έτος 2013 (BP Statistical Review of World Energy June 2013). Τα αποθέματα του φυσικού αερίου ετήσια παραγωγή καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1980-2012.

Στην χρήση του μοντέλου με την αθροιστική παραγωγή εφαρμόστηκε στα δεδομένα της ετήσιας παραγωγής ο κυλιόμενος μέσος τριών σημείων για να λειάνει απότομες αυξομειώσεις των σημείων. Επίσης εφαρμόστηκε γραμμικοποίηση για να εκτιμηθούν οι παράμετροι a και b με τη χρήση του επιλυτή (solver) διατηρώντας σταθερά τα αποθέματα σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του 1980.

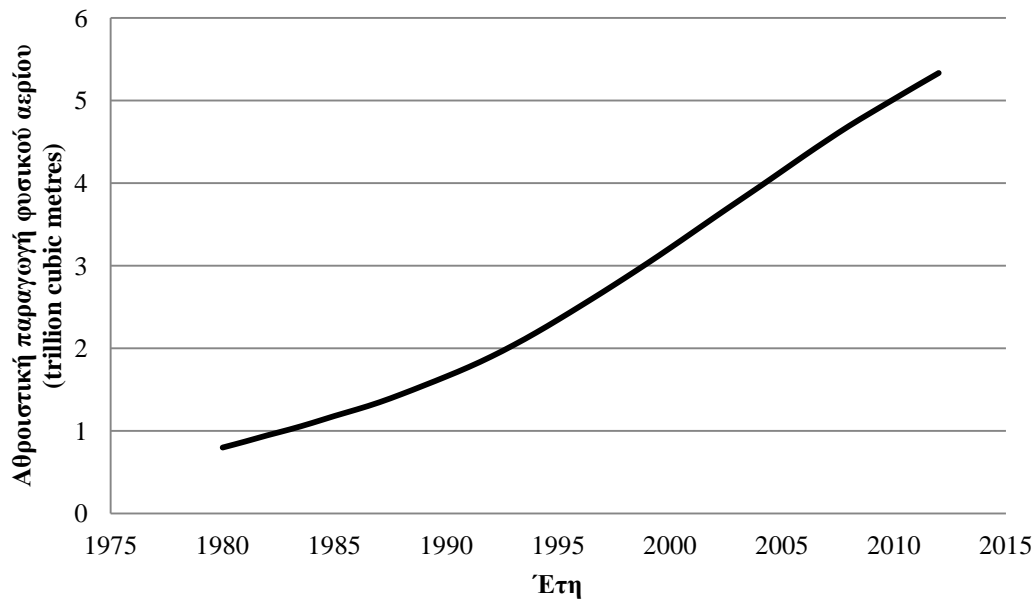
Καναδάς



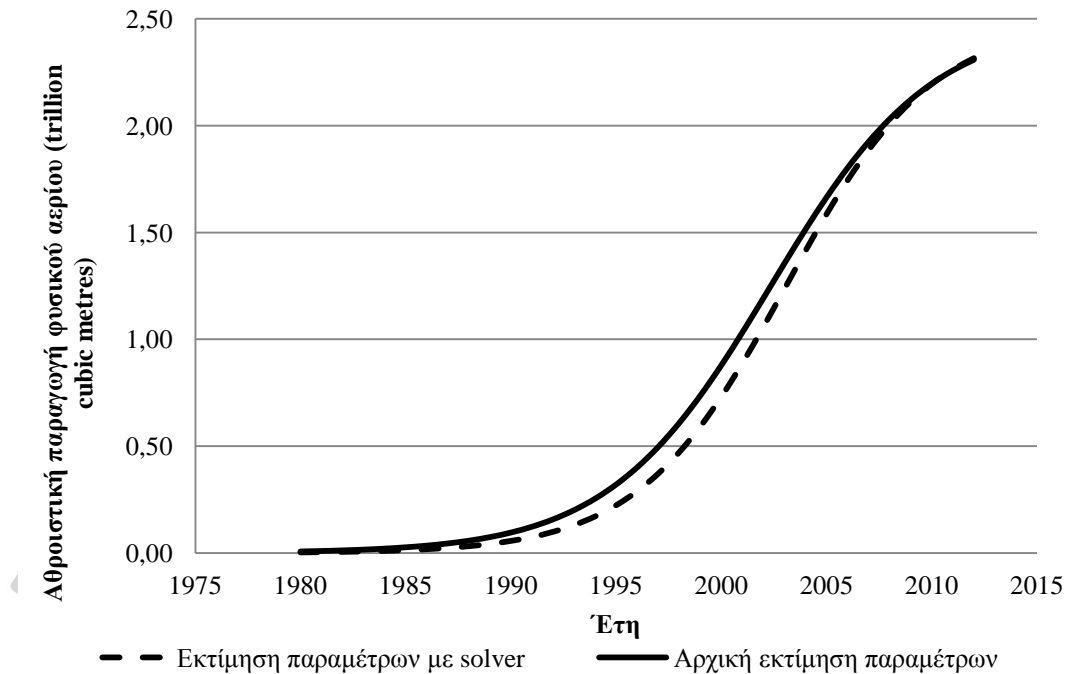
Διάγραμμα 91: Ετήσια παραγωγή φυσικού αερίου του Καναδά

(Πηγή: [Energy Information Administration](#))

Παρατηρείται πως η παραγωγή φυσικού αερίου του Καναδά έφθασε σε κορύφωση το 2002 στα 0,1879 τρισεκ. κυβικά μέτρα.

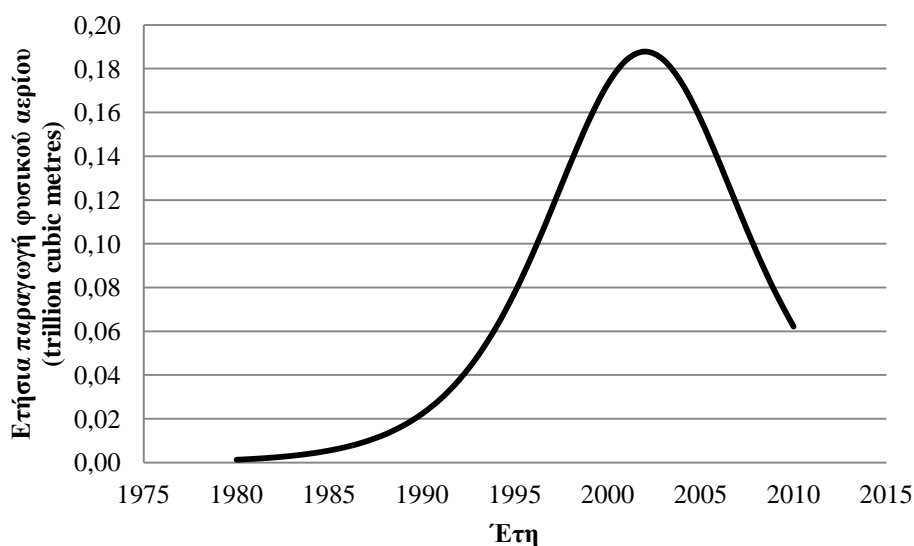


Διάγραμμα 92: Αθροιστική παραγωγή φυσικού αερίου του Καναδά



Διάγραμμα 93: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής του Καναδά με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

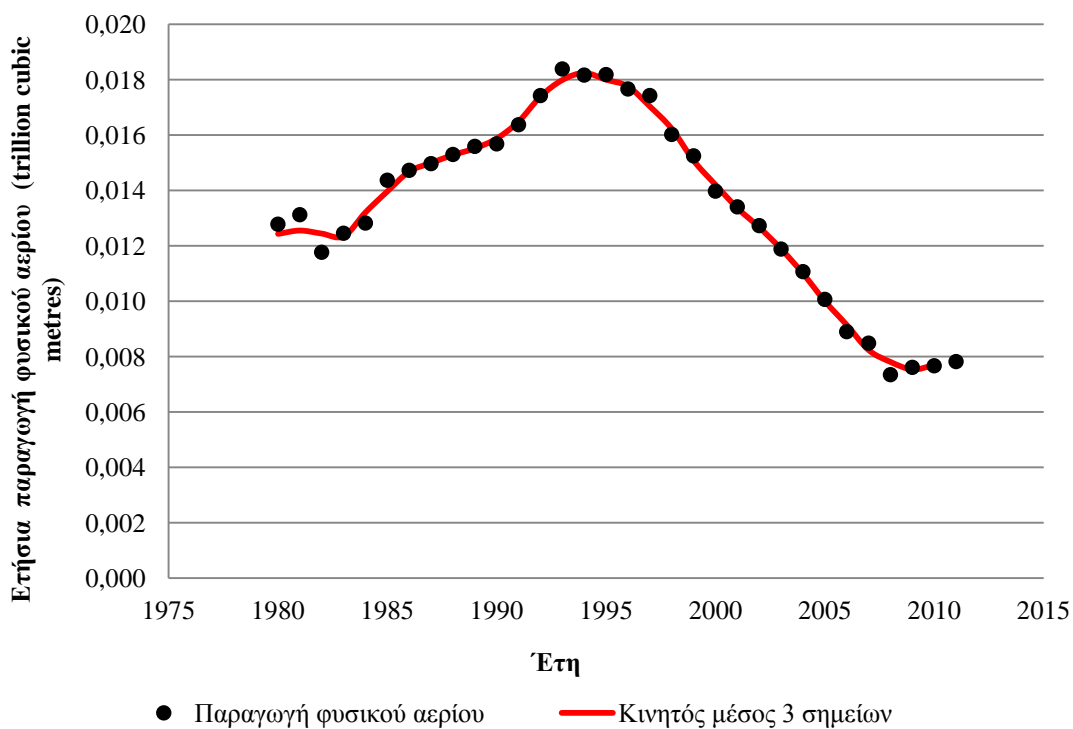
Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδής καμπύλης και πως η καμπύλη με τις εκτιμηθείσες παραμέτρους μετατοπίζει την καμπύλη προς τα δεξιά και αυτό διότι η εκτίμηση της παραμέτρου b επηρεάζει περισσότερο από ότι αυτή της a , όπως παρουσιάζονται οι τιμές αυτών στον παρακάτω πίνακα.



Διάγραμμα 94: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής του Καναδά σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου

| | a | b | SEE |
|--|-----------------|---------|-------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 442,61778217391 | 0,28762 | - |
| Με εφαρμογή solver | 1.010,4776866 | 0,26119 | 0,877629832 |

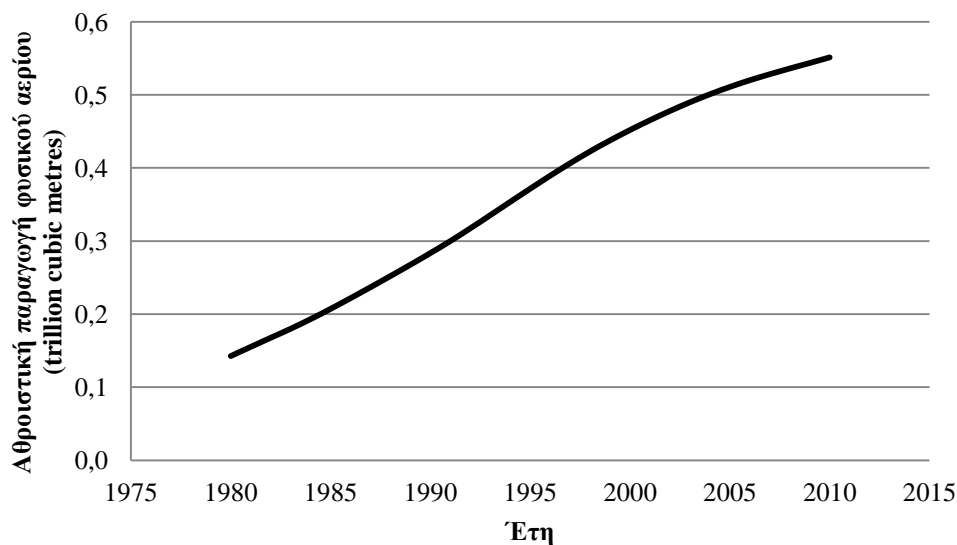
Ιταλία



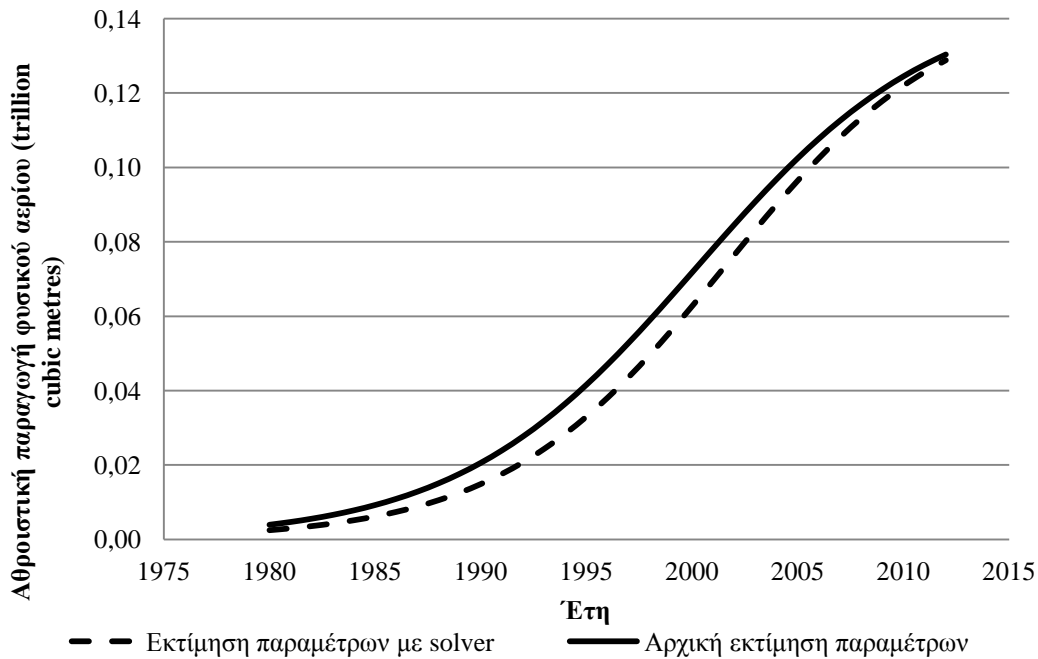
Διάγραμμα 95: Ετήσια παραγωγή φυσικού αερίου της Ιταλίας

(Πηγή: [Energy Information Administration](#))

Παρατηρείται πως η παραγωγή φυσικού αερίου της Ιταλίας έφθασε σε κορύφωση το 1994 στα 0,0184τρισεκ. κυβικά μέτρα.

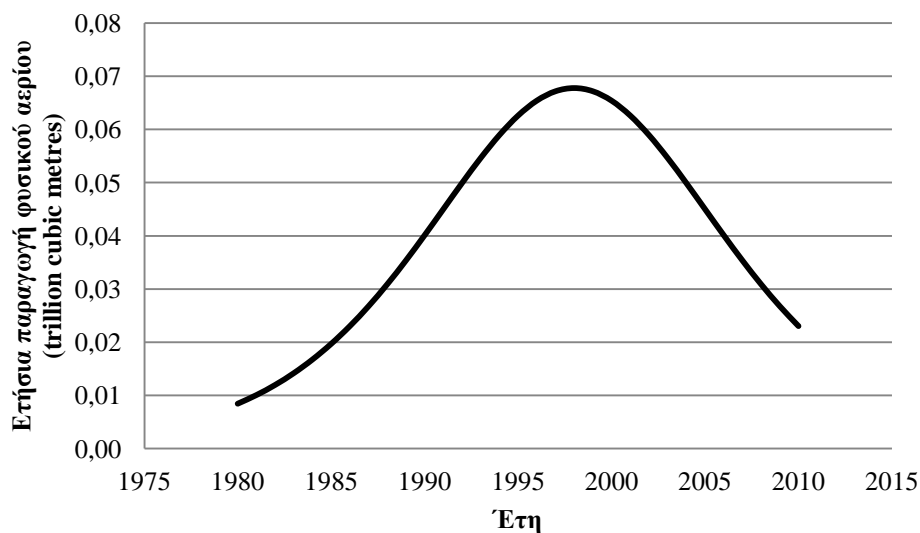


Διάγραμμα 96: Αθροιστική παραγωγή φυσικού αερίου της Ιταλίας



Διάγραμμα 97: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Ιταλίας με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

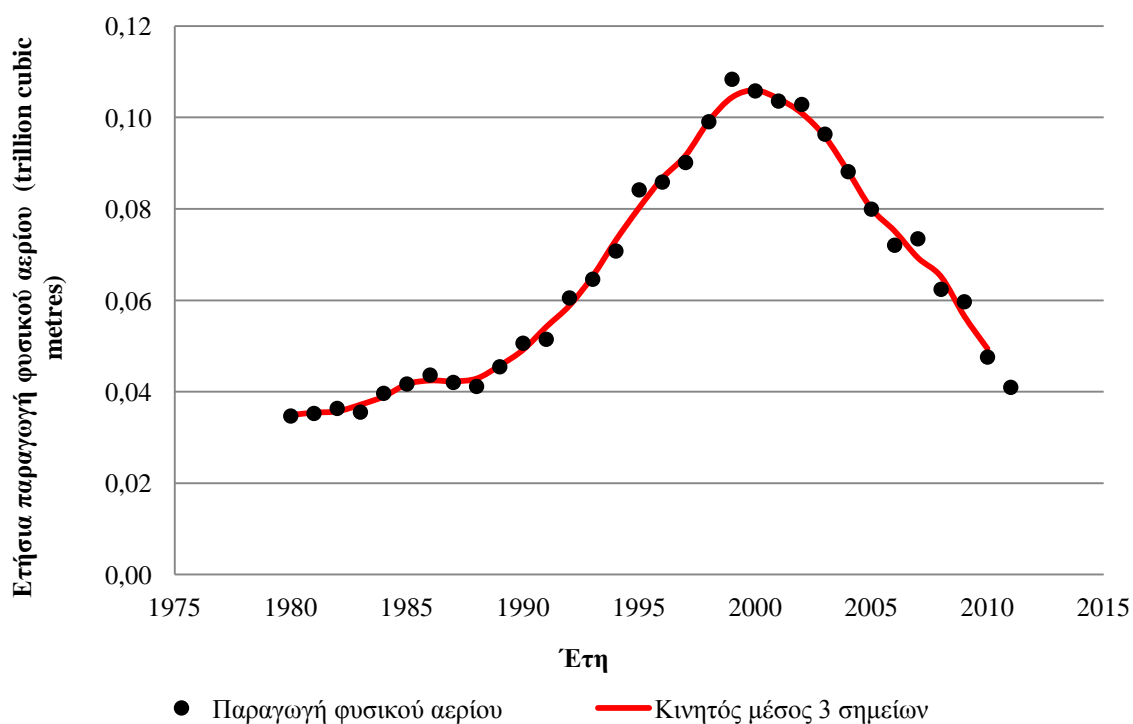
Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδούς καμπύλης και πως η καμπύλη με τις εκτιμηθείσες παραμέτρους μετατοπίζει την καμπύλη προς τα δεξιά και αυτό διότι η εκτίμηση της παραμέτρου b επηρεάζει περισσότερο από ότι αυτή της a , όπως παρουσιάζονται οι τιμές αυτών στον παρακάτω πίνακα.



Διάγραμμα 98: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής της Ιταλίας σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου

| | a | b | SEE |
|---|-----------------|---------|------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 42,73099327386 | 0,17686 | - |
| Με εφαρμογή solver | 70,879877188812 | 0,18905 | 0,05300091 |

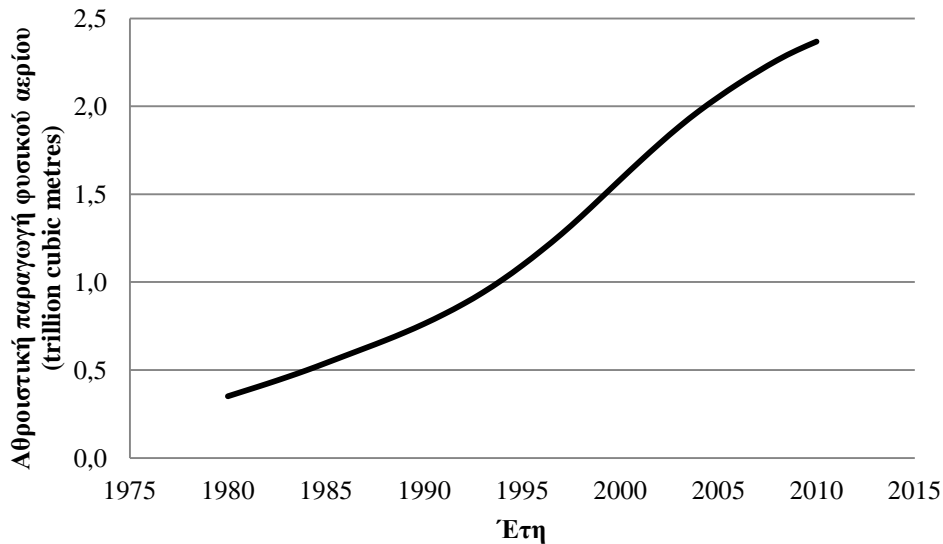
Ηνωμένο Βασίλειο



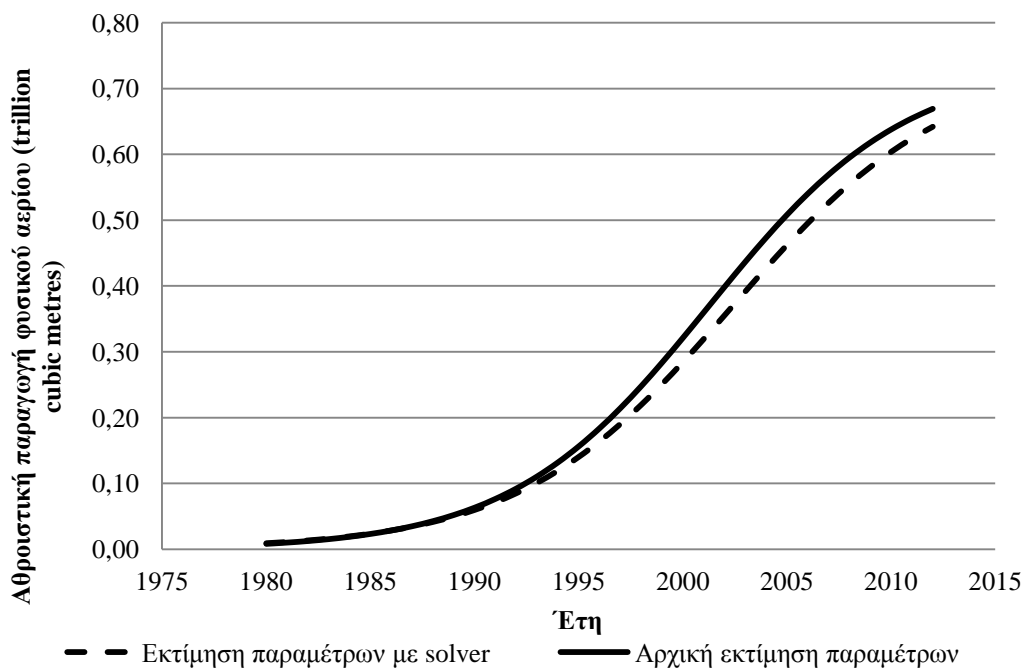
Διάγραμμα 99: Ετήσια παραγωγή φυσικού αερίου του Ηνωμένου Βασιλείου

(Πηγή: [Energy Information Administration](#))

Παρατηρείται πως η παραγωγή φυσικού αερίου του Ηνωμένου Βασιλείου έφθασε σε κορύφωση το 2000 στα 0,1084 τρισεκ. κυβικά μέτρα.



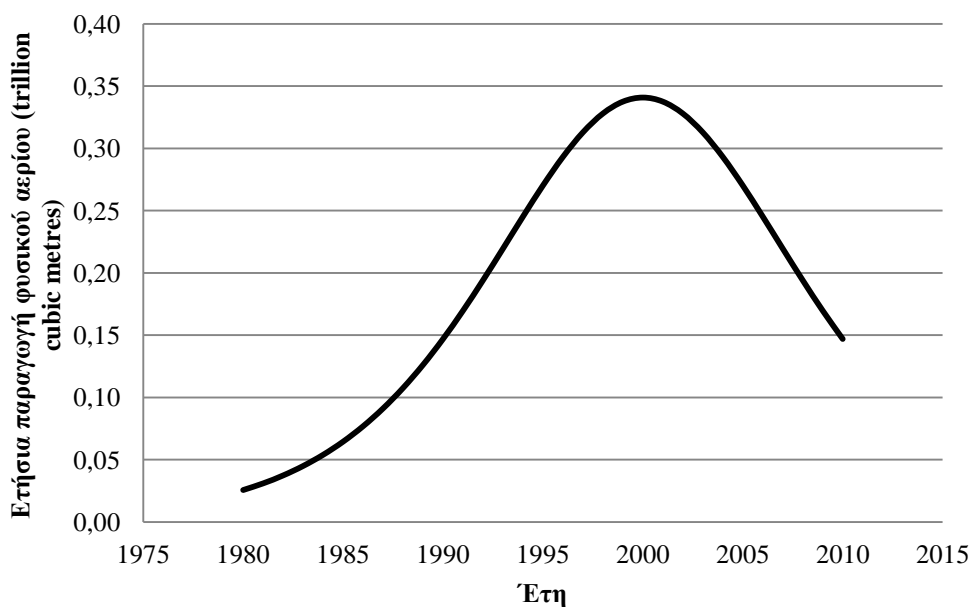
Διάγραμμα 100: Αθροιστική παραγωγή φυσικού αερίου του Ηνωμένου Βασιλείου



Διάγραμμα 101: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής του Ηνωμένου Βασιλείου με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel

Παρατηρείται στο προηγούμενο διάγραμμα ότι η αθροιστική παραγωγή έχει τη μορφή της σιγμοειδούς καμπύλης και πως η καμπύλη με τις εκτιμηθείσες παραμέτρους μετατοπίζει την καμπύλη προς τα δεξιά και αυτό διότι η εκτίμηση της παραμέτρου b

επηρεάζει περισσότερο από ότι αυτή της a , όπως παρουσιάζονται οι τιμές αυτών στον παρακάτω πίνακα.



Διάγραμμα 102: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής του Ηνωμένου Βασιλείου σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου

| | a | b | SEE |
|--|---------------|---------|-------------|
| Τιμές των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου | 108,054560683 | 0,21048 | - |
| Με εφαρμογή solver | 99,128855484 | 0,19647 | 0,235368178 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Ιστορικά οι υψηλές τιμές πετρελαίου έδειξαν πως ωθούν τις επενδύσεις στην εξερεύνηση και παραγωγή πετρελαίου και ως εκ τούτου στην αύξηση τόσο της παραγωγής όσο και της εξερεύνησης νέων αποθεμάτων.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ολοένα και σε υψηλότερο ποσοστό καλύπτουν την παγκόσμια ζήτηση για ενέργεια αλλά σε σχέση με τους υδρογονάνθρακες είναι ακόμη σε χαμηλά επίπεδα. Σύμφωνα με την αναφορά της Αμερικανικής Υπηρεσίας Ενεργειακών Πληροφοριών το 2013 το ποσοστό κατανάλωσης της συνολικής ενέργειας που καλύφθηκε από τις Α.Π.Ε. ανήλθε στο 11,4%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το πετρέλαιο ανήλθε στο 33,1%. Επίσης στην αναφορά εκτιμάται πως το 2040 το ποσοστό κατανάλωσης της συνολικής ενέργειας που θα καλυφθεί τις Α.Π.Ε. θα ανέλθει στα 14,5%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το πετρέλαιο θα ανέλθει στο 28,4%.

Οι εκτιμήσεις των αποθεμάτων του πετρελαίου είναι εγγενώς αβέβαιες, δεδομένου ότι βασίζονται σε πληροφορίες και παραδοχές σχετικά με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά ενός κοιτάσματος πετρελαίου, την τεχνολογία εξόρυξης πόρων και τα οικονομικά της παραγωγής πετρελαίου. Τα πολιτικά και τα χρηματοοικονομικά συμφέροντα είναι η κύρια αιτία που επηρεάζει την ορθή εκτίμηση των αποθεμάτων.

Σύμφωνα με το λόγο αποθεμάτων προς παραγωγή (R/P) τα κράτη- μέλη του ΟΠΕΚ διαθέτουν τα μεγαλύτερα εχέγγυα αναφορικά με τα αποθέματα αφού φθάνουν τα 88,5 έτη επάρκειας πετρελαίου, ενώ η Ευρωπαϊκή Ένωση θα έχει μόλις 12 έτη επάρκεια. Βέβαια ο δείκτης αυτός καθαυτός δεν θα πρέπει να αποτελεί τον μοναδικό τρόπο μέτρησης για τη διαχρονική και γεωγραφική σύγκριση της επάρκειας των αποθεμάτων.

Από το 1982 και έπειτα η κατανάλωση πετρελαίου υπερέρχει την παραγωγή και τα τελευταία έτη γίνεται ολοένα και πιο ξεκάθαρο, σύμφωνα με στοιχεία της BP, συνεπώς η ανθρωπότητα θα πρέπει να στρέψει το ενδιαφέρον της σε άλλες μορφές ενέργειας με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Τα κράτη-μέλη του ΟΠΕΚ προβλέπεται πως θα έχουν τη μεγαλύτερη άνοδο στην παραγωγή πετρελαίου έως το 2040, σύμφωνα με την ΕΙΑ.

Ένας σημαντικό παράγοντας που επηρεάζει την εκμετάλλευση ενός ταμειυτήρα είναι το πόσο βαθιά βρίσκεται στη θάλασσα σε σημείο που να κρίνεται και απαγορευτική, από οικονομική άποψη, η εκμετάλλευσή του.

Η πετρελαϊκή βιομηχανία έχει αναπτύξει νέες τεχνολογίες, που επιτρέπουν την ανακάλυψη και την παραγωγή πετρελαίου σε ακόμα πιο βαθιά νερά, σε ακόμα πιο αντίξοα περιβάλλοντα, αλλά και σε ακόμη μικρότερες ποσότητες. Αυτό δείχνει ότι η τεχνολογία από μόνη της δεν ανακαλύπτει μεγάλες ποσότητες πετρελαίου, αλλά θα πρέπει να εφαρμοστεί σε πεδία με καλές και μεγάλες προοπτικές.

Η θεωρία του Hubbert περί κορύφωσης της πετρελαϊκής παραγωγής είχε τους υποστηρικτές της αλλά και αυτούς που εναντιώνονται με αυτήν διότι είναι υπεραισιόδοξοι ότι η τεχνολογία και η τεχνογνωσία αρκούν για να ανακαλυφθούν και να αντληθούν νέα πετρελαϊκά πεδία. Τουλάχιστον η άνοδος της παραγωγής του πετρελαίου και του φυσικού αερίου από σχιστόλιθο σε συνδυασμό με άλλες μη συμβατικές πηγές ενέργειας ανά τον κόσμο θέτουν υπό αμφισβήτηση την θεωρία του peak oil.

Η αναφορά της Λέσχης της Ρώμης «Τα όρια της ανάπτυξης» αποτελεί βασικό παράγοντα στη δεκαετία του '70 που συνέβαλλε στην κατανόηση ότι οι πόροι είναι πεπερασμένο και άρα θα πρέπει η ανθρωπότητα να στραφεί σε άλλες μορφές ενέργειας (Α.Π.Ε.).

Η χρήση των πεπερασμένων πόρων και ιδιαίτερα των υδρογονανθράκων από τον άνθρωπο θα μπορούσε να φθάσει στα όρια εντός χρονικού διαστήματος που δεν ξεπερνά τη μέση διάρκεια ζωής του ανθρώπου σήμερα, ενώ οι πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πόρων, του πληθυσμού, του κεφαλαίου και της ρύπανσης απαιτούν νέα συστήματα σκέψης και άσκηση πολιτικής.

Το μοντέλο του Hubbert είναι μια καμπανοειδής μονοκόρυφη καμπύλη, ετήσιας παραγωγής (σιγμοειδής στην ολοκληρωμένη μορφή της σωρευτικής παραγωγής) και χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της κορύφωσης της πετρελαϊκής παραγωγής αποτέλεσε κινητήριο δύναμη στο να έχει η ανθρωπότητα κάποια στοιχεία για το τι μπορεί να συμβεί σε μερικές δεκαετίες. Γενικότερα το μοντέλο υπακούει στην απαγωγική/παραγωγική λογική (restrictive reasoning), είναι δηλαδή ένα ορθολογιστικό υπόδειγμα αδράνειας (inertial model) και δε μπορεί να εφαρμοστεί παντού διότι δεν λαμβάνει υπόψη άλλους παράγοντες, όπως π.χ. αύξηση των τιμών, ή κάποια πετρελαϊκή ή οικονομική κρίση.

Στην πράξη το μοντέλο του Hubbert μπορεί να εφαρμοστεί με μεγαλύτερη επιτυχία σε πεδία και ή με μηδενική επιτυχία στην πετρελαϊκή παραγωγή ενός κράτους, ενώ η εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων είναι αξιόπιστη μόνον όταν έχουμε δεδομένα για χρονικά διαστήματα που να καλύπτουν και την κορύφωση. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε πως το μοντέλο του Hubbert στα κράτη των Η.Π.Α., Δανία, Νορβηγία, Ρουμανία και Ουζμπεκιστάν, στα οποία έχει ήδη φθάσει η κορύφωση της πετρελαϊκής τους παραγωγής, πως αδυνατεί να προβλέψει την ήδη υπάρχουσα πετρελαϊκή κορύφωση του κράτους. Αντίθετα το μοντέλο του Hubbert έδειξε να εφαρμόζει στα δεδομένα της πετρελαϊκής παραγωγής ορισμένων πολιτειών των Η.Π.Α. (Αλάσκα, Ιλινόις, Οχάιο, Κεντάκι και Ιντιάνα) των οποίων η πετρελαϊκή κορύφωση ήδη έχει συμβεί με την παράμετρο a να επηρεάζει περισσότερο την μετατόπιση της καμπύλης προς τα δεξιά του άξονα x που είναι τα έτη. Όσον αφορά το φυσικό αέριο το μοντέλο του Hubbert έδειξε πως εφαρμόζει με μεγάλη ακρίβεια σε ορισμένες χώρες, έχοντας απόκλιση στην εκτιμώμενη χρονιά όπου πραγματοποιείται η κορύφωση της παραγωγής φυσικού αερίου έως τρία έτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Βιβλία & Papers

1. N. Πασαδάκης, Σημειώσεις μαθήματος Ορυκτά Καύσιμα, Χανιά, 2009
2. N. Βαρότσης, Σημειώσεις μαθήματος: Μηχανική Ταμιευτήρων, Χανιά, 2007
3. [M. Höök, Depletion and Decline Curve Analysis in Crude Oil Production, Global Energy Systems Department for Physics and Astronomy, Uppsala University, May 2009](#)
4. [Robelius, F., Giant Oil Fields - The Highway to Oil: Giant Oil Fields and their Importance for Future Oil Production. Doctoral thesis from Uppsala University, 2007](#)
5. [A. E. Bopp and G . M. Lady, A comparison of petroleum futures versus spot prices as predictors of prices in the future, Energy Economics, Volume 13, Issue 4, October 1991, Pages 274–282](#)
6. [World Energy Resources 2013 survey, world Energy council](#)
7. Miller G. Tyler, Βιώνοντας στο περιβάλλον, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2009.
8. [European Parliament, Directorate – General For Internal Policies, Policy Department Economic and scientific policy A, Impacts of shale gas and shale oil extraction on the environment and on human health, ENVI 2001](#)
9. [BP Statistical Review of World Energy June 2013](#)
10. [Advanced Resources International, Inc \(ARI\) 2013](#)
11. [Oil & Gas Journal, World de Report, December 3, 2012, U.S. Geological Survey, An Estimate of Undiscovered Conventional Oil and Gas Resources of the World, 2012, Fact Sheet 2012-3028, March 2012; U.S. Geological Survey, Assessment Potential Additions to Conventional Oil and Gas Resources of the World \(Outside the U.S.\) from Reserve Growth, 2012, Fact Sheet 2012-3052, April 2012](#)
12. [M. Tiemann Congressional Research Service., Safe Drinking Water Act \(SDWA\): A Summary of the Act and Its Major Requirements, 7-5700, RL31243, 2014.](#)
13. [EPA \(2005\). The relevant section 322 in the Energy Policy Act of 2005 explicetely states: ”Paragraph \(1\) of section 1421\(d\) of the Safe Drinking Water Act \(U.S.C. 300h\(d\)\) is amended to read as follows: \(1\) Underground injection. – The term underground injection – \(A\) means the subsurface emplacement of fluids by well injection; and \(B\) excludes – \(i\) the underground injection of natural gas for purposes of storage; and \(ii\) the underground injection of fluids or propping agents \(other than diesel fuels\) pursuant to hydraulic fracturing operations related to oil, gas, or geothermal production activities.” \(see Public law 109 – 58 Aug 8 2005; Energy Policy Act of 2005, Subtitle C Production, Section 322, Page 102.](#)
14. [Chesapeake Energy, Water use in deep shale gas exploration, 2012](#)
15. [A. Korn, Prospects for unconventional gas in Europe, Andreas Korn, eon-Ruhrgas, 2010.](#)
16. [WEO \(2011\). World Energy Outlook 2011, special report: Are we entering a golden age of gas?, International Energy Agency, Paris, June 2011.](#)

17. [E. Ridlington and J. Rumpler, Fracking by the Numbers, Key Impacts of Dirty Drilling at the State and National Level, 2013](#)
18. [Sumi L. \(2008\). Shale gas: focus on Marcellus shale. Report for the Oil & Gas Accountability Project/ Earthworks. May 2008](#)
19. [J. D. Hamilton Historical Oil Shocks Department of Economics, NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH University of California, San Diego, 2011](#)
20. [Europe facing peak oil-A study from The Greens | EFA Group in the European Parliament, November 2012](#)
21. [Gates R., et al., "Oil shockwave-oil crisis executive simulation", National Commission on Energy Policy and Securing Americas Future Energy, 2005.](#)
22. [Hirsch, R.L.et al., "Peaking of world oil production: Impacts, mitigation, & risk management", DOE NETL, 2005.](#)
23. [N. P.K. & R. Smyth, "Energy Consumption and real GDP in G7 countries: New Evidence from panel cointegration with structural breaks", Energy Economics, 2008.](#)
24. [Φ. Μπατζιάς, Διοίκηση Ολικής Ποιότητας και Διαχείριση Περιβάλλοντος, Τόμος Γ, Διαχείριση Φυσικών Πόρων, ΕΑΠ Πάτρα 2002.](#)
25. [A. H. Cordesman, K. R. Al-Rodham, The Global Oil Market: Risks and Uncertainties, Washington: The CSIS Press, 2006.](#)
26. [M. Tsoskounoglo, G. Ayeride, E Tritopoulou, The end of cheap oil: Current status and prospects, Energy Policy 36, 2008, pp 3797– 3806.](#)
27. [Χριστοφής Ι Κορωναίος, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, 2012](#)
28. [N. Ανδρίτσος, «Ενέργεια και Περιβάλλον» 1, 2008](#)
29. [N. Ανδρίτσος, «Ενέργεια και Περιβάλλον» 2, 2008](#)
30. [Περιβαλλοντικός Οδηγός Γεωθερμίας, ΥΠΕΚΑ, 2008.](#)
31. [Φραγκίσκος Μπατζιάς, Διοίκηση Ολικής Ποιότητας και Διαχείριση Περιβάλλοντος, Τόμος Γ, Διαχείριση Φυσικών Πόρων, ΕΑΠ Πάτρα 2002.](#)
32. [Α. Ζερβός, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, 2011.](#)
33. [Global Oil Depletion, An assessment of the evidence for a near-term peak in global oil production, ISBN number 1-903144-0-35, 2009.](#)
34. [McKelvey, V. E. \(1972\). "Mineral resource estimates and public policy." American Scientist, 60, pp. 32-40.](#)
35. [Annual Energy Outlook 2014 with projections to 2040, EIA, 2014.](#)
36. [BP Energy Outlook 2035, 2014.](#)
37. [International Energy Outlook 2013, EIA, 2013.](#)
38. [The Lamp, An ExxonMobil publication, Enable films cut waste, save energy, R&D and technology bring competitive advantages, Sakhin-Energy from under the ice,2008](#)
39. [Campbell, C.J., Laherre, J., «The end of cheap oil», Scientific American, March 1998. p.80.](#)
40. [Q.Y. Meng, R.W. Bentle, Global oil peaking: Responding to the case for 'abundant supplies of oil', ELSEVIER Energy 33, 2008.](#)
41. [K. Aleklett Peeking at Peak Oil, DOI 10.1007/978-1-4614-3424-5_2, 7 © Springer Science+Business Media New York 2012.](#)
42. [Meadows et all, «The limits to Growth» 1972.](#)

43. Σωτήρης Κ. Καρβούνης, ΤΑ ΟΡΙΑ, Μύθος ή πραγματικότητα; Εκδόσεις: Α. Σταμούλης, Πειραιάς 1987
44. [BP Statistical Review of World Energy June 2012.](#)
45. [U. Bardi, Peak oil: The four stages of a new idea, ELSEVIER, Energy Volume 34, 2009, pp. 323–326.](#)
46. [Lin Zhao, Lianyong Feng, Charles A.S. Hall, Is peakoilism coming?, ELSEVIER, Energy Policy, 2009, pp. 2136–2138.](#)
47. [R.W. Bentley, c/o Department of Cybernetics, Oil Forecasts, Past and Present, International Workshop on Oil Depletion, Uppsala, Sweden, May 23-24, 2002.](#)
48. [Why the “Peak Oil” Theory Falls Down, Myths, Legends, and the Future of Oil Resources, DECISION BRIEF, CERA Advisory Services, November 2006.](#)
49. [Lane David C. and John D. Sterman \(2011\) Jay Wright Forrester. Chapter 20 in Profiles in Operations Research: Pioneers and Innovators. S. Gass and A. Assad \(eds.\). New York, Springer: 363-386.](#)
50. [D RILLING & P RODUCTION, Peak oil models forecast China’s oil supply, demand, OIL GAS & JOURNAL, 2008](#)
51. [J. Wang, L. Feng, L. Zhao, S. Snowden, Xu Wang, A comparison of two typical multicuclic models used to forecast the world’s conventional oil production, Energy Policy, 2011, p.p.7616-7621](#)
52. [Feng, Li, Pang, China’s oil reserve forecast and analysis based on peak oil models, ELSEVIER, Energy Policy 3, 2008, pp.4149–415.](#)

Ιστοσελίδες

- a. <http://www.depa.gr/>
- b. <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=11611>
- c. <http://www.eia.gov/>
- d. http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%81%CE%B3%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82_%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CF%8E%CE%BD_%CF%80%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CF%8E%CE%BD_%CF%87%CF%89%CF%81%CF%8E%CE%BD
- e. <http://www.iags.org/geopolitics.html>
- f. <http://research.stlouisfed.org/fred2/series/OILPRICE/downloaddata?cid=98>
- g. <http://www.stopclimatechange.gr>
- h. <http://www.eia.gov/countries/index.cfm?view=reserves>
- i. <http://www.eia.gov/countries/index.cfm?view=production>
- j. <http://www.eia.gov/countries/index.cfm?view=consumption>
- k. <http://www.peakoil.net/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|---|-----|
| Σχήμα 1: Διάγραμμα ταξινόμησης των πετρελαίων | 3 |
| Σχήμα 2: Δευτερογενής ανάκτηση πετρελαίου με εισαγωγή νερού και αερίων | 4 |
| Σχήμα 3: Τύποι πλατφόρμας άντλησης πετρελαίου | 5 |
| Σχήμα 4: Δημιουργία ρευστών υδρογονανθράκων..... | 6 |
| Σχήμα 5: Υπόγειες και επιφανειακές μέθοδοι παραγωγής συνθετικού πετρελαίου από αποθέματα πισσούχου σχίστη | 14 |
| Σχήμα 6: Σχηματική παράσταση παραγωγής συνθετικού πετρελαίου από αποθέματα ασφαλτούχου άμμου | 15 |
| Σχήμα 7: Απεικόνιση εξόρυξης του σχιστολιθικού φυσικού αερίου με τη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης | 33 |
| Σχήμα 8: Δυνητικές ροές εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων, επιβλαβών ουσιών και φυσικών ραδιενεργών ουσιών (NORM)..... | 36 |
| Σχήμα 9: Ενδεικτικές βραχυχρόνιες οικονομικές επιδράσεις από τη μεταβολή της τιμής του πετρελαίου σε μια οικονομία που βασίζεται κυρίως σε άλλες πηγές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας..... | 46 |
| Σχήμα 10: Μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας στις διάφορες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας | 54 |
| Σχήμα 11: Διάγραμμα ροής ενέργειας στη γη | 55 |
| Σχήμα 12: Εκμετάλλευση θερμικής ενέργειας των ωκεανών (σύστημα Otec) | 61 |
| Σχήμα 13: Σχηματική τομή του εσωτερικού της γης..... | 66 |
| Σχήμα 14: Σύστημα ταξινόμησης πόρων, 'McKelvey Box' | 74 |
| Σχήμα 15: Μια θεωρητική καμπύλη παραγωγής, που περιγράφει τα διάφορα στάδια της ωριμότητας μιας πετρελαιοπηγής..... | 92 |
| Σχήμα 16: Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα πετρελαίου, σε δισεκατομμύρια βαρέλια (Gb) για μια σειρά σημαντικών πετρελαιοπαραγωγών χωρών και η τιμή του πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1925-2005. Τα πεδία μεταξύ των ετών 1985 και 1999 είναι αυτά με το μεγαλύτερο υδάτινο βάθος. | 94 |
| Σχήμα 17: Πρόβλεψη της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενής ενέργειας ανά περιοχή έως το 2035 | 102 |
| Σχήμα 18: Πρόβλεψη της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενής ενέργειας ανά τομέα έως το 2035 | 103 |
| Σχήμα 19: Καμπύλη κορύφωσης του Hubbert | 105 |
| Σχήμα 20: Καμπύλη κορύφωσης του πετρελαίου που έχει ανακαλυφθεί ως απόθεμα και της παραγωγής του σύμφωνα με το μοντέλο του Hubbert..... | 106 |
| Σχήμα 21: Πρόγνωση της παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής συμβατικού πετρελαίου και η πραγματική ζήτηση αυτού για το χρονικό διάστημα 1930-2050 | 126 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 1: Λύχνος Bunsen..... | 17 |
| Εικόνα 2: Λεκάνες σε παγκόσμια κλίμακα με αξιολογημένους σχηματισμούς σχιστολιθικού αερίου και σχιστολιθικού πετρελαίου..... | 26 |
| Εικόνα 3: Συνολική παραγωγή υγρών καυσίμων (παγκοσμίως και ΟΠΕΚ) και η τιμή του ανά βαρέλι για το χρονικό διάστημα 2004-2008 | 43 |
| Εικόνα 5: Τα κράτη-μέλη του ΟΠΕΚ..... | 47 |
| Εικόνα 5: Απεικόνιση των θερμότερων γεωθερμικών περιοχών στον κόσμο | 67 |
| Εικόνα 6: Παγκόσμια συμμετοχή στο Πρωτόκολλο του Κιότο | 71 |
| Εικόνα 7: Απεικόνιση των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου (δισεκατ. βαρέλια) για το 2012..... | 75 |
| Εικόνα 8: Απεικόνιση της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου (εκ. βαρέλια ημερησίως) για το έτος 2012 | 81 |
| Εικόνα 9: Απεικόνιση της παγκόσμιας κατανάλωσης πετρελαίου (εκ. βαρέλια ημερησίως) για το έτος 2012 | 85 |
| Εικόνα 10: Απεικόνιση των εμπορικών κινήσεων πετρελαίου παγκοσμίως για το έτος 2012 σε εκατομμύρια τόνους..... | 90 |
| Εικόνα 11: Το μοντέλο του κόσμου αποτυπωμένο σε διάγραμμα ροής..... | 113 |
| Εικόνα 12: Τα εκτιμώμενα αποθέματα των μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων σύμφωνα με την αναφορά της Λέσχης της Ρώμης. Τα όρια της ανάπτυξης | 114 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

| | |
|--|----|
| Διάγραμμα 1: Αποθέματα σχιστολιθικού πετρελαίου των πέντε χωρών με τα υψηλότερα αποθέματα παγκοσμίως σε εκ. βαρέλια για το έτος 2011..... | 11 |
| Διάγραμμα 2: Παγκόσμια παραγωγή και κατανάλωση φυσικού αερίου για το χρονικό διάστημα 1980-2012..... | 20 |
| Διάγραμμα 3: Διαφορά της παγκόσμιας ημερήσιας κατανάλωσης από την ημερήσια παραγωγή φυσικού αερίου για το χρονικό διάστημα 1980 - 2012..... | 21 |
| Διάγραμμα 4: Απεικόνιση των ανακτήσιμων αποθεμάτων (εκ. βαρέλια) σε συμβατικό και σχιστολιθικό πετρέλαιο για το έτος 2013..... | 27 |
| Διάγραμμα 5: Απεικόνιση των ανακτήσιμων αποθεμάτων (τρισεκατ. κυβικά πόδια) σε φυσικό αέριο και σε σχιστολιθικό φυσικό αέριο για το έτος 2013..... | 28 |
| Διάγραμμα 6: Τα ποσοστά των δέκα κυριότερων χωρών παγκοσμίως με τεχνικά ανακτήσιμες πηγές σχιστολιθικού πετρελαίου επί του παγκόσμιου ποσοστού για το έτος 2013..... | 29 |
| Διάγραμμα 7: Τα ποσοστά των δέκα κυριότερων χωρών παγκοσμίως με τεχνικά ανακτήσιμες πηγές σχιστολιθικού αερίου επί του παγκόσμιου ποσοστού για το έτος 2013..... | 30 |
| Διάγραμμα 8: Παγκόσμια παραγωγή και κατανάλωση άνθρακα για το χρονικό διάστημα 1980-2012..... | 37 |
| Διάγραμμα 9: Τιμές Αργού Πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1945-2012..... | 44 |
| Διάγραμμα 10: Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας από Α.Π.Ε. για το χρονικό διάστημα 1980-2012..... | 57 |
| Διάγραμμα 11: Παγκόσμια κατανάλωση υδροηλεκτρικής ενέργειας για το χρονικό διάστημα 1980-2012..... | 60 |
| Διάγραμμα 12: Παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1980-2012..... | 76 |
| Διάγραμμα 13 : Αποθέματα πετρελαίου ανά περιοχή για το έτος 2012..... | 76 |
| Διάγραμμα 14: Αποθέματα πετρελαίου ανά οργανισμό και ένωση για το έτος 2012..... | 77 |
| Διάγραμμα 15: Ποσοστό επί του συνόλου των αποθεμάτων πετρελαίου ανά οργανισμό και ένωση για το έτος 2012..... | 78 |
| Διάγραμμα 16: Λόγος αποθεμάτων προς παραγωγή, ανά οργανισμό, ένωση και παγκόσμια για το έτος 2012 (R/P)..... | 79 |
| Διάγραμμα 17: Λόγος αποθεμάτων παραγωγής, ανά περιοχή και παγκόσμια για το έτος 2012 (R/P)..... | 79 |
| Διάγραμμα 18: Απεικόνιση της παγκόσμιας ημερήσιας παραγωγής και κατανάλωσης πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012..... | 81 |
| Διάγραμμα 19: Διαφορά της παγκόσμιας ημερήσιας κατανάλωσης από την ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012..... | 82 |
| Διάγραμμα 20: Απεικόνιση της ημερήσιας παραγωγής πετρελαίου ανά περιοχή για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012..... | 83 |

| | |
|---|----|
| Διάγραμμα 21: Απεικόνιση των τεσσάρων χωρών με την μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012 | 83 |
| Διάγραμμα 22: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής πετρελαίου των τεσσάρων χωρών με την μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012 | 84 |
| Διάγραμμα 23: Απεικόνιση της ημερήσιας παραγωγής πετρελαίου ανά περιοχή για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012 | 85 |
| Διάγραμμα 24: Απεικόνιση των τεσσάρων χωρών με την μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή πετρελαίου σε σχέση με την κατανάλωση του για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012 | 86 |
| Διάγραμμα 25: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής πετρελαίου των τεσσάρων χωρών με την μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή πετρελαίου σε σχέση με την κατανάλωση του για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012..... | 87 |
| Διάγραμμα 26: Διαφορά της ημερήσιας κατανάλωσης των Η.Π.Α. από την ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012 | 87 |
| Διάγραμμα 27: Διαφορά της ημερήσιας κατανάλωσης της Ρωσίας από την ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012 | 88 |
| Διάγραμμα 28: Διαφορά της ημερήσιας κατανάλωσης της Σαουδικής Αραβίας από την ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012 | 88 |
| Διάγραμμα 29: Διαφορά της ημερήσιας κατανάλωσης της Κίνας από την ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012 | 89 |
| Διάγραμμα 30: Διαφορά της ημερήσιας κατανάλωσης της Κίνας από την ημερήσια παραγωγή πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1965 - 2012 | 89 |
| Διάγραμμα 31: Απεικόνιση των χωρών με τις μεγαλύτερες εισαγωγές πετρελαίου παγκοσμίως για το έτος 2012..... | 91 |
| Διάγραμμα 32: Απεικόνιση των χωρών με τις μεγαλύτερες εξαγωγές πετρελαίου παγκοσμίως για το έτος 2012..... | 91 |
| Διάγραμμα 33: Πρόβλεψη της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου έως το 2040, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως..... | 95 |
| Διάγραμμα 34: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για ορισμένες περιοχές/χώρες, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως | 96 |
| Διάγραμμα 35: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για τις χώρες εκτός ΟΟΣΑ, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως | 97 |
| Διάγραμμα 36: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για τις χώρες του ΟΟΣΑ, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως..... | 97 |
| Διάγραμμα 37: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για τις χώρες εκτός ΟΠΕΚ, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως..... | 98 |
| Διάγραμμα 38: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για τις χώρες του ΟΠΕΚ, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως..... | 98 |
| Διάγραμμα 39: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για τη Μέση Ανατολή, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως..... | 99 |
| Διάγραμμα 40: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για την Αφρική, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως..... | 99 |

| | |
|--|-----|
| Διάγραμμα 41: Πρόβλεψη της παραγωγής πετρελαίου έως το 2040 για την Νότια Αμερική, σε εκατ. βαρέλια ημερησίως..... | 100 |
| Διάγραμμα 42: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως για το έτος 2012. | 101 |
| Διάγραμμα 43: Προβλέψεις για την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου, έως το 2040 σε τετράκις εκατομμύρια Btu | 102 |
| Διάγραμμα 44: Παραγωγή πετρελαίου των Η.Π.Α. για τα έτη 1965-2012..... | 106 |
| Διάγραμμα 45: Ποσοστά πρόγνωσης της ημερομηνίας κορύφωσης της παγκόσμιας προσφοράς του πετρελαίου (των συμβατικών του μορφών)..... | 123 |
| Διάγραμμα 46: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή των Η.Π.Α..... | 131 |
| Διάγραμμα 47: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή των Η.Π.Α. | 131 |
| Διάγραμμα 48: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής των Η.Π.Α. με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου..... | 132 |
| Διάγραμμα 49: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής των Η.Π.Α. σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου | 132 |
| Διάγραμμα 50: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής των Η.Π.Α. για τις εκτιμηθείσες τιμές των παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel..... | 133 |
| Διάγραμμα 51: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της Δανίας..... | 134 |
| Διάγραμμα 52: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της Δανίας | 134 |
| Διάγραμμα 53: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Δανίας με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου..... | 135 |
| Διάγραμμα 54: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής της Δανίας σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου | 135 |
| Διάγραμμα 55: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Δανίας για τις εκτιμηθείσες τιμές των παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel..... | 136 |
| Διάγραμμα 56: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της Νορβηγίας..... | 137 |
| Διάγραμμα 57: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της Νορβηγίας | 137 |
| Διάγραμμα 58: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Νορβηγίας με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου..... | 138 |
| Διάγραμμα 59: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής της Νορβηγίας σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου | 138 |
| Διάγραμμα 60: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Νορβηγίας για τις εκτιμηθείσες τιμές των παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel..... | 139 |
| Διάγραμμα 61: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της Ρουμανίας..... | 140 |
| Διάγραμμα 62: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της Ρουμανίας..... | 140 |
| Διάγραμμα 63: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Ρουμανίας με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου..... | 141 |
| Διάγραμμα 64: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής της Ρουμανίας σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου | 141 |
| Διάγραμμα 65: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Ρουμανίας για τις εκτιμηθείσες τιμές των παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel..... | 142 |
| Διάγραμμα 66: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή του Ουζμπεκιστάν..... | 143 |
| Διάγραμμα 67: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή του Ουζμπεκιστάν | 143 |

| | |
|--|-----|
| Διάγραμμα 68: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής του Ουζμπεκιστάν με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου..... | 144 |
| Διάγραμμα 69: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής του Ουζμπεκιστάν σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου | 144 |
| Διάγραμμα 70: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής του Ουζμπεκιστάν για τις εκτιμηθείσες τιμές των παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel..... | 145 |
| Διάγραμμα 71: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας της Αλάσκας..... | 146 |
| Διάγραμμα 72: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας της Αλάσκας..... | 147 |
| Διάγραμμα 73: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της πολιτείας της Αλάσκας με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel | 147 |
| Διάγραμμα 74: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής της πολιτείας της Αλάσκας σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου | 148 |
| Διάγραμμα 75: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Ιλινόις..... | 149 |
| Διάγραμμα 76: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Ιλινόις | 149 |
| Διάγραμμα 77: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της πολιτείας του Ιλινόις με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel | 150 |
| Διάγραμμα 74: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής της πολιτείας του Ιλινόις σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου | 150 |
| Διάγραμμα 79: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Οχάιο..... | 151 |
| Διάγραμμα 80: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Οχάιο | 152 |
| Διάγραμμα 66: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της πολιτείας του Οχάιο με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel | 152 |
| Διάγραμμα 82: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής πολιτείας του Οχάιο σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου | 153 |
| Διάγραμμα 83: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Κεντάκι | 154 |
| Διάγραμμα 84: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας του Κεντάκι..... | 154 |
| Διάγραμμα 85: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της πολιτείας του Κεντάκι με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel | 155 |
| Διάγραμμα 86: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής πολιτείας του Κεντάκι σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου..... | 155 |
| Διάγραμμα 87: Ετήσια πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας της Ιντιάνας | 156 |
| Διάγραμμα 88: Αθροιστική πετρελαϊκή παραγωγή της πολιτείας της Ιντιάνας..... | 157 |
| Διάγραμμα 89: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της πολιτείας της Ιντιάνας με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel | 157 |
| Διάγραμμα 90: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής πολιτείας της Ιντιάνας σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου..... | 158 |
| Διάγραμμα 91: Ετήσια παραγωγή φυσικού αερίου του Καναδά..... | 159 |
| Διάγραμμα 92: Αθροιστική παραγωγή φυσικού αερίου του Καναδά | 160 |

| | |
|---|-----|
| Διάγραμμα 93: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής του Καναδά με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel | 160 |
| Διάγραμμα 94: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής του Καναδά σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου | 161 |
| Διάγραμμα 95: Ετήσια παραγωγή φυσικού αερίου της Ιταλίας | 162 |
| Διάγραμμα 96: Αθροιστική παραγωγή φυσικού αερίου της Ιταλίας..... | 162 |
| Διάγραμμα 97: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής της Ιταλίας με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel | 163 |
| Διάγραμμα 98: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής της Ιταλίας σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου | 163 |
| Διάγραμμα 99: Ετήσια παραγωγή φυσικού αερίου του Ηνωμένου Βασιλείου | 164 |
| Διάγραμμα 100: Αθροιστική παραγωγή φυσικού αερίου του Ηνωμένου Βασιλείου | 165 |
| Διάγραμμα 101: Απεικόνιση της αθροιστικής παραγωγής του Ηνωμένου Βασιλείου με χρήση των τιμών των a και b έπειτα από γραμμικοποίηση του μοντέλου, αλλά και των εκτιμηθέντων παραμέτρων a και b με χρήση του επιλυτή του excel | 165 |
| Διάγραμμα 102: Απεικόνιση της ετήσιας παραγωγής του Ηνωμένου Βασιλείου σύμφωνα με τα δεδομένα της γραμμικοποίησης του μοντέλου | 166 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 1: Στοιχεία των τεχνικά ανακτήσιμων πηγών σχιστολιθικού αερίου και σχιστολιθικού πετρελαίου στο πλαίσιο των συνολικών παγκόσμιων πόρων για το έτος 2013..... | 26 |
| Πίνακας 2: Οι δέκα κυριότερες χώρες παγκοσμίως με τεχνικά ανακτήσιμες πηγές σχιστολιθικού πετρελαίου για το έτος 2013 | 28 |
| Πίνακας 3: Οι δέκα κυριότερες χώρες παγκοσμίως με τεχνικά ανακτήσιμες πηγές σχιστολιθικού αερίου για το έτος 2013..... | 29 |
| Πίνακας 4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Α.Π.Ε..... | 56 |
| Πίνακας 5: Ποσοστά μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά χώρα ή ομάδα χωρών, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο | 72 |
| Πίνακας 6: Ιστορική αναμενόμενη διάρκεια ζωής των σημαντικότερων καυσίμων, σύμφωνα με την έκθεση του MIT, που σήμανε την έναρξη μιας νέας εποχής με τη μελέτη των Ορίων της Ανάπτυξης «The limits to Growth». | 109 |
| Πίνακας 7: Προβλέψεις για την παγκόσμια προσφορά πετρελαίου για το χρονικό διάστημα 1972-2002 | 122 |
| Πίνακας 8: Μοντέλα πρόβλεψης κορύφωσης της πετρελαϊκής παραγωγής | 129 |