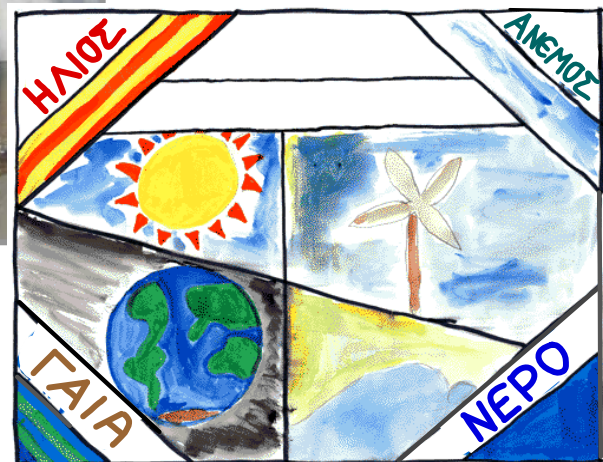




ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



Διδακτικές Σημειώσεις

Ν. Ανδρίτσος
Αναπληρωτής Καθηγητής



ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- Συμβατικές Μορφές Ενέργειας
- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- Εξοικονόμηση Ενέργειας

Διδακτικές Σημειώσεις

Ν. Ανδρίτσος
Αναπληρωτής Καθηγητής

Βόλος, Οκτώβριος 2008

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα θέματα ενέργειας και περιβάλλοντος είναι προφανώς ιδιαίτερα σημαντικά για όλους μας, μια που επηρεάζουν άμεσα τη ζωή μας. Και οι δύο όροι άρχισαν να γίνονται κοινοί σε όλους μας στη δεκαετία του 70 (κυρίως μετά την «ενεργειακή κρίση» του 1973), ενώ τα τελευταία χρόνια τούς βρίσκουμε σχεδόν καθημερινά στα μαζικά μέσα ενημέρωσης. Σκοπός αυτών των σημειώσεων είναι να περιγράψει με συνοπτικό τρόπο όλες τις ενεργειακές πηγές, ανανεώσιμες και μη, συμπεριλαμβανομένων και των περιβαλλοντικών και οικονομικών συνεπειών από τη χρήση τους. Συγχρόνως, καλύπτονται εν συντομία κρίσιμα περιβαλλοντικά προβλήματα (παγκόσμια υπερθέρμανση, μείωση της στιβάδας του όζοντος) που έχουν στραμμένα επάνω τους τα φώτα της δημοσιότητας.

Οι παρούσες σημειώσεις βασίστηκαν κυρίως στις διαφάνειες που προετοιμάστηκαν από τον διδάσκοντα για τις παραδόσεις του μαθήματος «Ενέργεια και Περιβάλλον» τα τελευταία πέντε χρόνια, με αποτέλεσμα ορισμένα κεφάλαια ή τμήματα να εμφανίζονται περιληπτικά ή και αποσπασματικά. Για αυτό το εγγενές πρόβλημα των σημειώσεων θα ήθελα να ζητήσω εκ των προτέρων συγγνώμη από τους σπουδαστές που παρακολουθούν το μάθημα και θα τους προέτρεπα να μου δώσουν γραπτά ή προφορικά οποιεσδήποτε παρατηρήσεις, σχόλια ή διορθώσεις σε αναπόφευκτα λάθη ή παραδρομές.

Οι σημειώσεις χωρίζονται σε δεκαέξι μικρά ή μεγάλα κεφάλαια και σε δύο παραρτήματα. Στο πρώτο κεφάλαιο, ύστερα από την παράθεση των στόχων του μαθήματος, γίνεται σύντομη ιστορική αναδρομή στο θέμα της χρήσης και της μετατροπής της ενέργειας και εισαγωγή στην έννοια της αιεφορίας. Επίσης ορίζονται οι διάφοροι τύποι και μορφές ενέργειας, τα ορυκτά καύσιμα και το ενεργειακό πρόβλημα και παρέχονται στατιστικά στοιχεία για την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα σε παγκόσμιο επίπεδο και στη χώρα μας. Το δεύτερο κεφάλαιο πραγματεύεται τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση των συμβατικών καυσίμων, με έμφαση στην «Παγκόσμια υπερθέρμανση» και την «Οξίνη Βροχή». Στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται συζήτηση για το πρόβλημα της μείωσης της στιβάδα του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Τα κεφάλαια 3-6 είναι αφιερωμένα σε τέσσερις συμβατικές μορφές ενέργειας: το γαιάνθρακα, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και την πυρηνική ενέργεια. Για κάθε ορυκτό καύσιμο παρουσιάζονται συνοπτικά η προέλευση, οι ιδιότητες, η επεξεργασία, οι χρήσεις και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και γίνεται αναφορά στα αποθέματά τους και το χρόνο ζωής τους.

Οι επιπτώσεις από την καύση των συμβατικών καυσίμων, μαζί με την εξαντλησιμότητα των καυσίμων αυτών, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης τόσο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) όσο και της Εξοικονόμησης Ενέργειας. Το έβδομο κεφάλαιο αφορά στους ορισμούς των ΑΠΕ, στο δυναμικό τους, στα προβλήματα διείσδυσης στην αγορά, στη Λευκή Βίβλο της Ε.Ε. κ.ά. Οι κυριότερες ΑΠΕ (ηλιακή, βιομάζα, αιολική, υδραυλική, γεωθερμική και ενέργεια από τη θάλασσα) εξετάζονται στα Κεφάλαια 8-13, άλλες λιγότερο και άλλες περισσότερο διεξοδικά. Η ανάγκη και οι τρόποι αποθήκευσης της ενέργειας πραγματεύονται στο κεφάλαιο 14.

Το Κεφάλαιο 15 πραγματεύεται ορισμένα θέματα ενεργειακής απόδοσης διεργασιών και συσκευών εξοικονόμησης της ενέργειας. Τέλος, στο Κεφάλαιο 16

δίνονται κάποια συνοπτικά στοιχεία για την αποτίμηση του κόστους μιας ανανεώσιμης εφαρμογής.

Στο Παράρτημα I υπάρχει κατάλογος με ορισμένα βιβλία που αναφέρονται σε θέματα σχετικά με το περιεχόμενο του μαθήματος, με ονόματα επιστημονικών περιοδικών και με ηλεκτρονικές διευθύνσεις σχετικών ιστοσελίδων στο διαδίκτυο. Σημειώνεται ότι σήμερα στο διαδίκτυο υπάρχει πληθώρα πληροφοριών σε θέματα ΑΠΕ, συμβατικών καυσίμων και εξοικονόμησης ενέργειας, χρήσιμα τόσο για τον διδάσκοντα όσο και για τον σπουδαστή που ενδιαφέρεται για κάτι περισσότερο από το μάθημα. Ακόμη δίνονται οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στον τομέα της ενέργειας, οι συντελεστές μετατροπής για τις κυριότερες μονάδες και η θερμογόνο αξία πολλών καυσίμων και βιοκαυσίμων. Το Παράρτημα II πραγματεύεται πολύ συνοπτικά τα στάδια μιας τεχνικο-οικονομικής μελέτης.

Βόλος, Σεπτέμβριος 2008

Νίκος Ανδρίτσος
Αναπληρωτής Καθηγητής

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΟΡΙΣΜΟΙ, ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ	
1.1 Ορισμοί - Στόχοι του μαθήματος	1
1.2 Ιστορική αναδρομή	3
1.3 Αειφορία και αειφορική ενέργεια.....	7
1.4 Ενεργειακές πηγές - Μορφές ενέργειας	12
1.5 Ορυκτά καύσιμα	16
1.6 Το ενεργειακό πρόβλημα και η αντιμετώπισή του	20
1.7 Κατανάλωση ενέργειας σε κόσμο και Ελλάδα	24
2. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	
2.1 Παραγωγή ενέργειας και ρύπανση του περιβάλλοντος	43
2.2 Ρύπανση της ατμόσφαιρας	44
2.3 Φαινόμενο του θερμοκηπίου	48
2.4 Όξινη βροχή.....	59
2.5 Αιθαλομίχλη - φωτοχημικό νέφος	65
2.6 Θερμική ρύπανση	66
2.7 Ενέργεια και άλλες μορφές ρύπανσης	66
2.8 Μείωση της στιβάδας του όζοντος.....	68
3. ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑΣ	
3.1 Εισαγωγή	75
3.2 Σχηματισμός γαιανθράκων	75
3.3 Ταξινόμηση και ιδιότητες γαιανθράκων	76
3.4 Ανάλυση γαιάνθρακα	78
3.5 Εξόρυξη, Επεξεργασία και Μεταφορά	80
3.6 Χρήσεις	82
3.7 Περιβαλλοντικά προβλήματα.....	87
3.8 Πόροι και Αποθέματα	91
3.9 Η κατάσταση στη χώρα μας	91
4. ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	
4.1 Εισαγωγή - Ιστορικό	95
4.2 Σχηματισμός του πετρελαίου	96
4.3 Συμβατικό και μη-συμβατικό πετρέλαιο	99
4.4 Σύσταση του αργού πετρελαίου	99
4.5 Ταξινόμηση των πετρελαίων	101
4.6 Αξιοποίηση αργού πετρελαίου	101
4.7 Αποθέματα πετρελαίου	112
4.8 Αξιοποίηση Κοιτασμάτων Πισσούχου Σχίστη και Ασφαλτούχου Άμμου	114
5. ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	
5.1 Εισαγωγή	117
5.2 Σχηματισμός Φυσικού Αερίου	118
5.3 Ιδιότητες του φυσικού αερίου.....	118
5.4 Αξιοποίηση του Φυσικού Αερίου	121
5.5 Χρήσεις	124
5.6 Παραγωγή και Αποθέματα Φυσικού Αερίου.....	127
5.7 Το Φυσικό Αέριο στην Ελλάδα	129
6. ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	
6.1 Εισαγωγή	131
6.2 Μετατροπή μάζας σε ενέργεια	132
6.3 Πυρηνικοί αντιδραστήρες.....	134
6.4 Διαθεσιμότητα Ουρανίου	136
6.5 Απαιτήσεις σε καύσιμο	138
6.6 Εμπλουτισμός Ουρανίου.....	138

6.8	Ο κύκλος του πυρηνικού καυσίμου.....	140
6.8	Αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων.....	141
6.9	Ανάγκες ενέργειας στην Πυρηνική ηλεκτρική ενέργεια.....	142
6.10	Πυρηνικά απόβλητα	143
7. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ		
7.1	Εισαγωγή - ορισμοί	145
7.2	Τεχνολογίες αξιοποίησης των ΑΠΕ	148
7.3	Εκτίμηση των ανανεώσιμων πόρων	150
7.4	Η θέση των ΑΠΕ στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας.....	150
7.5	Οι ΑΠΕ στην Ελλάδα	154
7.6	Περιβαλλοντικά οφέλη από τις ΑΠΕ.....	156
7.7	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις ΑΠΕ	158
7.8	Πρόωθηση των ΑΠΕ.....	158
7.9	Περιορισμοί στην ανάπτυξη των ΑΠΕ	160
7.10	Η Λευκή Βίβλος - Ενέργεια για το μέλλον: ΑΠΕ	162
7.11	Ανάπτυξη των ΑΠΕ στην ΕΕ - Προοπτικές	164
7.12	Ανταγωνιστικό κόστος των ΑΠΕ	166
8. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		
8.1	Εισαγωγή.....	169
8.2	Ηλιακή ακτινοβολία.....	169
8.3	Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας	172
8.4	Παθητικά ηλιακά συστήματα	173
8.5	Μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα	176
8.6	Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	186
8.7	Φωτοηλεκτροχημικά Στοιχεία	195
9. ΒΙΟΜΑΖΑ		
9.1	Εισαγωγή.....	197
9.2	Είδη και προέλευση της βιομάζας	197
9.3	Τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας.....	199
9.4	Καύση βιομάζας	200
9.5	Μετατροπή της βιομάζας.....	203
9.6	Πλεονεκτήματα - περιορισμοί	207
9.7	Το μέλλον της βιομάζας.....	209
9.8	Τα βιοκαύσιμα στην Ευρώπη και την Ελλάδα.....	209
10. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		
10.1	Εισαγωγή.....	211
10.2	Χαρακτηριστικά του Ανέμου	213
10.3	Διαθέσιμη Ισχύς του Ανέμου	216
10.4	Είδη ανεμογεννητριών.....	217
10.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	222
10.6	Κόστος αιολικής ενέργειας	223
10.7	Ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας.....	225
11. ΥΔΡΟΪΣΧΥΣ - ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		
11.1	Εισαγωγή.....	229
11.2	Ταξινόμηση υδροηλεκτρικών συστημάτων.....	231
11.3	Τύποι υδροστροβίλων	233
11.4	Πλεονεκτήματα και περιορισμοί	236
11.5	Γενικά στοιχεία	238
11.5	Μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα	239
12. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		
12.1	Εισαγωγή.....	241
12.2	Το γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας.....	244
12.3	Χρήσεις της γεωθερμικής Ενέργειας	245
12.4	Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.....	256

12.5	Αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στη χώρα μας.....	259
12.6	Σχηματισμός επικαθίσεων σε γεωθερμικές μονάδες.....	261
12.7	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	264
13.	ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	
13.1	Εισαγωγή.....	265
13.2	Ενέργεια από τα κύματα	265
13.3	Παλιρροϊκή ενέργεια.....	272
13.4	Θερμική ενέργεια των ωκεανών	278
14.	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
14.1	Τεχνητή αποθήκευση ενέργειας	281
14.2	Αναγκαιότητα αποθήκευσης της ενέργειας	282
14.3	Αποθήκευση ηλεκτρισμού με δυναμική ενέργεια.....	282
14.4	Αποθήκευση ηλεκτρισμού με κινητική ενέργεια.....	285
14.5	Αποθήκευση ηλεκτρισμού με χημική ενέργεια.....	287
14.6	Αποθήκευση θερμότητας.....	290
15.	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
15.1	Ενεργειακή απόδοση	293
15.2	Ενεργειακή αξιολόγηση - καταγραφή.....	295
15.3	Εξοικονόμηση ενέργειας σε βιομηχανία και κτήριο	296
15.4	Συμπαράγωγη	299
15.5	Αντλίες θερμότητας σε συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού	301
16.	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΙΑΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	
16.1	Εισαγωγή.....	307
16.2	Κοστολόγηση ενός ενεργειακού σχεδίου	307
16.3	Κοστολόγηση ενός γεωθερμικού σχεδίου	311
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΜΟΝΑΔΕΣ - ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ.....	313
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ	321

1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΟΡΙΣΜΟΙ, ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ

1.1 Ορισμοί - Στόχοι του Μαθήματος

«Ο πρωταρχικός στόχος της εκπαίδευσης δε θα έπρεπε να είναι το πώς να προετοιμάσει τους νέους για τη σταδιοδρομία τους, αλλά πως να τους δώσει τη δυνατότητα να αναπτύξουν το σεβασμό για τη ζωή.»

Norman Cousin

Σχεδόν κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα εξαρτάται από την ενέργεια. Το επίπεδο ευημερίας που έχουμε σήμερα κατακτήθηκε χάρη στην άφθονη και φθηνή ενέργεια που απολαμβάνει σημαντικό τμήμα της ανθρωπότητας. Η ενέργεια μάς ζεσταίνει, μας δίνει φως, κινεί τα αυτοκίνητα, τα αεροπλάνα, τα εργοστάσια. Μεταβολές στην προσφορά της ενέργειας ή της τιμής της μπορεί να έχουν τεράστιες επιπτώσεις στην οικονομία και στην ποιότητα ζωής κάθε χώρας. Αυτό έγινε καθαρό με το σκληρότερο τρόπο στη δεκαετία του 70 με τις δύο ενεργειακές κρίσεις (όταν η ανθρωπότητα έμαθε με οδυνηρό τρόπο τη λέξη «ενέργεια»), αλλά και το περασμένο καλοκαίρι (2008) με την αλματώδη αύξηση της τιμής του πετρελαίου που άγγιξε τα 140 δολάρια το βαρέλι. Συγχρόνως, η ενεργειακή κατανάλωση συνδέεται άμεσα με την οικολογική ισορροπία του πλανήτη μας. Η παραγωγή ενέργειας σε όλα τα στάδιά της προκαλεί αναμφίβολα υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Η «όξινη βροχή», «το φαινόμενο του θερμοκηπίου» και η «τρύπα του όζοντος» μας απασχολούν όλους, το συζητάμε, ενώ τα θέματα αυτά «παίζονται» στα μαζικά μέσα ενημέρωσης. Οι παραπάνω βέβαια επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας μπορούν να περιοριστούν με τη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη λήψη μέτρων για εξοικονόμηση ενέργειας, θέματα που αποτελούν τον κορμό αυτών των σημειώσεων.

Το πρόβλημα της ενέργειας, εκτός από τις συνιστώσες της τιμής της (*ανάγκη για φθηνότερη ενέργεια και ενέργεια για όλους*) και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (*ανάγκη για ενέργεια με το μικρότερο περιβαλλοντικό κόστος*), έχει και μια τρίτη, σημαντική επίσης, συνιστώσα: την εξαντλησιμότητα των συμβατικών καυσίμων, δηλαδή του γαιάνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, αλλά και των πυρηνικών καυσίμων.

Η ενέργεια είναι μία σχετικά απροσδιόριστη έννοια, την οποία όμως μπορούμε να την αντιληφθούμε. Για παράδειγμα, μπορούμε να αντιληφθούμε τη δυνατότητα μεταφοράς θερμότητας. Από φυσική άποψη, με τον όρο «ενέργεια» νοείται η ικανότητα ενός συστήματος να παράγει έργο σε ένα άλλο σύστημα. Βέβαια η λέξη «έργο» είναι και αυτή ένας γενικός όρος. Ο ορισμός του έργου είναι το γινόμενο μιας δύναμης επί την απόσταση στην οποία δρα η δύναμη. Ένα κοινό παράδειγμα του έργου μπορεί να δοθεί από τη δύναμη με την οποία ωθούμε ένα αντικείμενο πάνω σε μία τραχιά επιφάνεια. Η δύναμη αυτή μπορεί να ασκηθεί από τον άνθρωπο, το ζώο, την ατμομηχανή, τον ηλεκτροκινητήρα. Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.), το έργο έχει μονάδες N·s (Newton×second). Η ενέργεια έχει και αυτή τις ίδιες μονάδες. Περισσότερες πληροφορίες για τις μονάδες ενέργειας και τις μετατροπές από ένα σύστημα μονάδων σε άλλο δίνονται στο Παράρτημα Ι.

Πρακτικά υπάρχουν πολλές **μορφές ενέργειας**: η χημική ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα, η ηλεκτρική ενέργεια, η πυρηνική, η ηλιακή. **Ενεργειακές πηγές** είναι οι πηγές από τις οποίες μπορεί να παραχθεί ενέργεια για θέρμανση, κίνηση, φωτισμό και ηλεκτρική ισχύ, με απόλυτη πηγή τον ήλιο.

Το μάθημα «Ενέργεια και Περιβάλλον», που διδάσκεται στο 9^ο εξάμηνο του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, έχει ως στόχο την εμπέδωση και τον προβληματισμό πάνω στους περιορισμούς (οικονομικούς, περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς) των συμβατικών μορφών ενέργειας και στην ανάγκη για την περαιτέρω ανάπτυξη τόσο των **Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)**, όσο και των μέτρων για την **Εξοικονόμηση Ενέργειας**. Η ανάγκη για το μάθημα, αλλά και η περαιτέρω διεύρυνσή του, γίνεται επιτακτική από τα παρακάτω γεγονότα και συνθήκες:

- 1) *Πρωτόκολλο του Κιότο (1997)*: σύμφωνα με αυτό το πρωτόκολλο, οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σε 37 βιομηχανικές χώρες και την Ε.Ε. θα πρέπει στην περίοδο 2008-2012 να μειωθούν κατά ένα μέσο ποσοστό 5% σε σχέση με τις εκπομπές του 1990. Για την Ευρώπη προβλέπεται μείωση κατά 8% των εκπομπών του 1990, αν και οι στόχοι διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα. Τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου του 2005 και μέχρι σήμερα (2007) 183 χώρες έχουν υπογράψει το πρωτόκολλο.
- 2) Ο στόχος που έχει τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση στη «*Λευκή Βίβλο*» για αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ένωσης από το 6% το 1995 στο 12% το 2010. Επίσης, η Οδηγία 2001/77/ΕΚ καθορίζει στο 21% το ενδεικτικό μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής να επιτευχθεί μερίδιο ύψους 19% έως το 2010 αντί του 21%. (Περαιτέρω συζήτηση στο Κεφάλαιο 7.)
- 3) Η *απελευθέρωση της ενεργειακής αγοράς στην Ελλάδα*, αρχικά κατά 30% από τον Φεβρουάριο του 2001 και πλήρως από το 2007, αναμενόταν ότι θα άνοιγε το δρόμο για την ανάπτυξη των ΑΠΕ, της συμπαραγωγής θερμότητας και ισχύος κ.ά. Μέχρι σήμερα (2008) πάντως τα αποτελέσματα μάλλον κρίνονται πενιχρά.
- 4) Οι εκτιμήσεις πολλών οργανισμών, ερευνητικών κέντρων και εταιριών για το ενεργειακό τοπίο που θα επικρατεί στο κόσμο το 2050 και το ρόλο των ανανεώσιμων πηγών, όπως καταδεικνύεται παρακάτω.

Εκτιμήσεις το ενεργειακό τοπίο το 2050

(α) Γερμανικό Κέντρο Αεροδιαστημικής για την Γερμανία (2001)

- Περισσότερο αποδοτικές ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες, σημαντική συμμετοχή της συμπαραγωγής και των στοιχείων καυσίμων
- Αποκεντρωμένη χρήση των ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή, βιομάζα κ.α.)
- Διακοπή λειτουργίας των πυρηνικών μονάδων
- Ηλιακές θερμικές μονάδες θα εγκατασταθούν στις μεσογειακές χώρες
- Οι ανάγκες της Γερμανίας θα καλύπτονται κατά 50% από ΑΠΕ (τοπικές και από τη Μεσόγειο).

(β) Εταιρεία Shell: “Energy Needs, Choices and Possibilities - Scenarios to 2050” (2001)

- Το 60% των ενεργειακών αναγκών θα καλύπτεται από τις ΑΠΕ.

(γ) Περιοδικό Newsweek (8/4/2002)

- Τέλος εποχής των ορυκτών καυσίμων
- Ήλιος, άνεμος και υδρογόνο
- Η υποδομή του φυσικού αερίου χρησιμοποιείται για το H₂
- Πυρηνική ενέργεια(;)

Εκτιμήσεις το ενεργειακό τοπίο το 2100

2007 Survey of Energy Resources - World Energy Council

- Το 70% των ενεργειακών αναγκών από τις ΑΠΕ

1.2 Ιστορική Διαδρομή στη Χρήση και τη Μετατροπή Ενέργειας

Η μεγάλης κλίμακας χρήση των ορυκτών καυσίμων σήμερα (καθώς και η μικρότερη κλίμακας χρήση της πυρηνικής ενέργειας) αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό των σύγχρονων βιομηχανικών κοινωνιών. Τα ορυκτά καύσιμα είναι απαραίτητα για την καλλιέργεια, διανομή και παρασκευή των τροφίμων, τη βιομηχανία, τις μεταφορές και πολλές ακόμη ανθρώπινες δραστηριότητες. Πάντως, είναι ενδιαφέρον ότι στην ιστορία της ανθρωπότητας, η χρήση ορυκτών καυσίμων καλύπτει μόνο μία *ελάχιστη χρονική περίοδο και έχει ημερομηνία λήξης*.

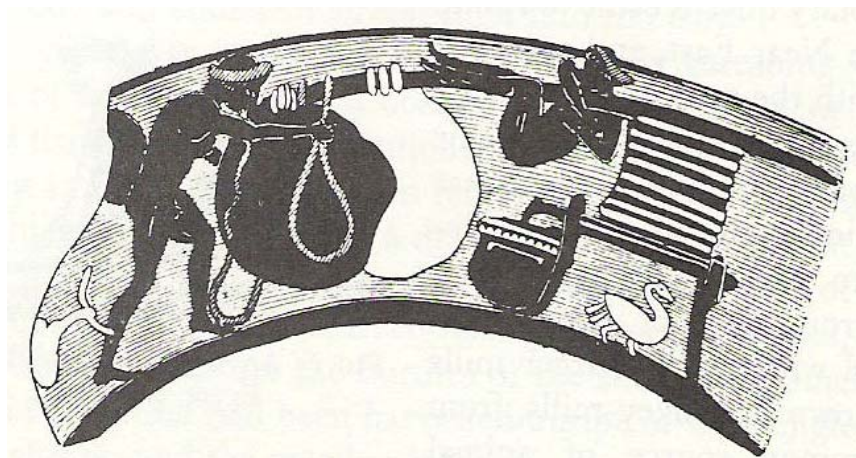
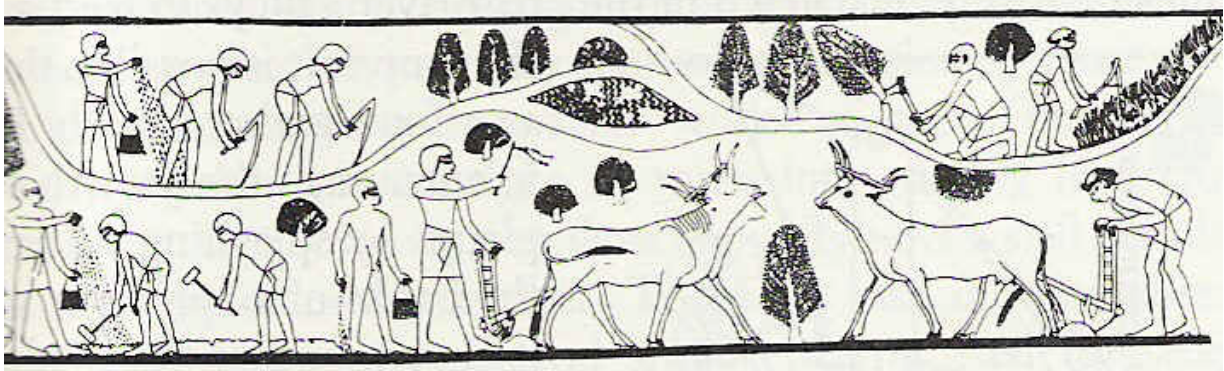
Η πρώτη ασφαλώς φάση της χρήσης ενέργειας από τον άνθρωπο συνδέεται με τη χρήση της *μυϊκής του δύναμης*. Μπορεί να υποτεθεί ότι η μέση χρήση της μυϊκής δύναμης ανερχόταν τότε στα 25 W (Sorensen, 2000). Η ηλιακή ενέργεια, εκτός από την άμεση θέρμανση του ανθρώπου, πιθανόν να χρησίμευε αρχικά και για την ξήρανση τροφίμων. Όταν γενικεύτηκε η χρήση της φωτιάς, θα πρέπει να πραγματοποιούνταν μια σειρά από δραστηριότητες που βασίζονταν στην καύση της ξυλείας και των υποπροϊόντων της (θέρμανση, παρασκευή τροφίμων, επεξεργασία εργαλείων κτλ.). Η παλαιότερη ένδειξη φωτιάς σε κατοικίες βρέθηκε στην Ουγγαρία και χρονολογείται 400.000-350.000 χρόνια πριν από σήμερα. Αν και είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η μέση χρήση ενέργειας από την καύση της ξυλείας, η χρήση αυτή δύσκολα θα ξεπερνούσε τα 110 W.

Η επόμενη φάση στη χρήση της ενέργειας θα πρέπει να συνδέεται με την εξημέρωση ορισμένων άγριων ζώων και με την εισαγωγή των αγροτικών καλλιεργειών. Αυτές οι δραστηριότητες χρονολογούνται περίπου πριν από 10000 χρόνια και αναπτύχθηκαν κυρίως στην Εγγύς Ανατολή (Μεσοποταμία, Νείλος ποταμός) και σε ορισμένα μεμονωμένα μέρη (Ταϊλάνδη, Ινδός ποταμός, Περού). Η εποχή αυτή συμπίπτει με το λιώσιμο των πάγων που κάλυπταν μεγάλο μέρος της Ευρώπης και άλλων ηπείρων.

Η ανάπτυξη πληθυσμών σε σημαντικό μέγεθος με παράλληλη αύξηση του πολιτιστικού επιπέδου (σχηματισμός πόλεων στον Ευφράτη, Τίγρη και Νείλο) γύρω στα 5000 χρόνια πριν από το σήμερα αποτελεί ασφαλώς αναμφισβήτητο μάρτυρα της αυξημένης χρήσης ενέργειας για όργωμα, άλεση, άρδευση και μεταφορά τροφίμων και για κατασκευή υλικών, κτηρίων και μνημείων. Δεν είναι γνωστό τι ποσοστό ενέργειας καλυπτόταν από τον άνθρωπο και τι ποσοστό από τα ζώα, αλλά είναι πιθανόν η χρήση ενέργειας στις πιο αναπτυγμένες κοινότητες να ανερχόταν στα 200-300 W. Οι ενεργειακές πηγές που βρίσκονταν στο προσκήνιο εκείνη την εποχή είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, η πρωτογενής βιομάζα (για τροφή και καύση), η βιομάζα από τα ζώα, καθώς και το μηχανικό έργο από τη μυϊκή δύναμη των ζώων. Οι βάρκες με πανιά εμφανίζονται στην Ανατολική Μεσόγειο εδώ και 4500-5000 χρόνια, αν και η ανάπτυξη του θαλάσσιου εμπορίου δεν θα πρέπει να συνεισέφερε σημαντικά

στην κατά κεφαλήν μέση χρήση ενέργειας. Στο Σχήμα 1.1 παρουσιάζονται σκηνές της καθημερινής ζωής της ανθρωπότητας στην αρχαιότητα με τη χρήση της μυϊκής δύναμης των ανθρώπων και των ζώων.

Η κατασκευή σπιτιών σε πολλές περιπτώσεις (Αρχαία Ελλάδα, Ρώμη) συνεπαγόταν και τη χρήση της ηλιακής ενέργειας (παθητικά ηλιακά συστήματα). Ήδη από τον 5^ο αιώνα π.Χ. ο Σωκράτης συνιστούσε τη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων. Στις περιοχές με σχετικά ψυχρό κλίμα, χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά από μονωτικά υλικά (π.χ. στέγες από άχυρο) για να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας. Οι νερόμυλοι και οι ανεμόμυλοι έπαιξαν κάποιο, μικρό σχετικά, ρόλο στη χρήση ενέργειας. Η παλαιότερη αναφορά ανεμόμυλων σε χρήση είναι από την Ινδία και την Περσία, περίπου πριν από 2300 χρόνια. Αναφορές στους νερόμυλους από Έλληνες και Ρωμαίους γίνονται κατά τον 2^ο π.Χ. αιώνα (περιγράφονται από τον Αντίπατρο τον Θεσσαλονικέα), ενώ κατά την ίδια εποχή οι Ρωμαίοι και οι Κινέζοι θερμαίνονταν με γεωθερμικά νερά. Το 1400 μ.Χ. οι Ολλανδοί χρησιμοποιούσαν τη ξυλεία για να ανεβάσουν την θερμοκρασία στα κυτήρια σιδήρου στους 1600°C. Αν και η χρήση του γαιάνθρακα αναφέρεται από τον 1^ο μ.Χ. αιώνα στην Ανατολή (και από τον 11^ο μ.Χ. αι. στην Αγγλία), η ξυλεία, ο άνεμος και το νερό, δηλαδή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυριαρχούσαν στην αγορά ενέργειας του Δυτικού Πολιτισμού μέχρι τον 16^ο μ.Χ. αιώνα. Σύνοψη της εξέλιξης των συσκευών ενεργειακής μετατροπής στον κόσμο παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.1.



Σχήμα 1.1. Επάνω, σκηνές καθημερινότητας στην Αρχαία Αίγυπτο με τη χρήση της μυϊκής δύναμης. Κάτω, χειροκίνητο ελαιοτριβείο στην Αρχαία Ελλάδα (από αρχαίο αγγείο του 6^{ου} π.Χ. αιώνα). [Πηγή: Derry, T.K. and Williams, T.I, *A short history of technology*, Dover, 1993.]

Πίνακας 1.1. Εξέλιξη των Συσκευών Ενεργειακής Μετατροπής

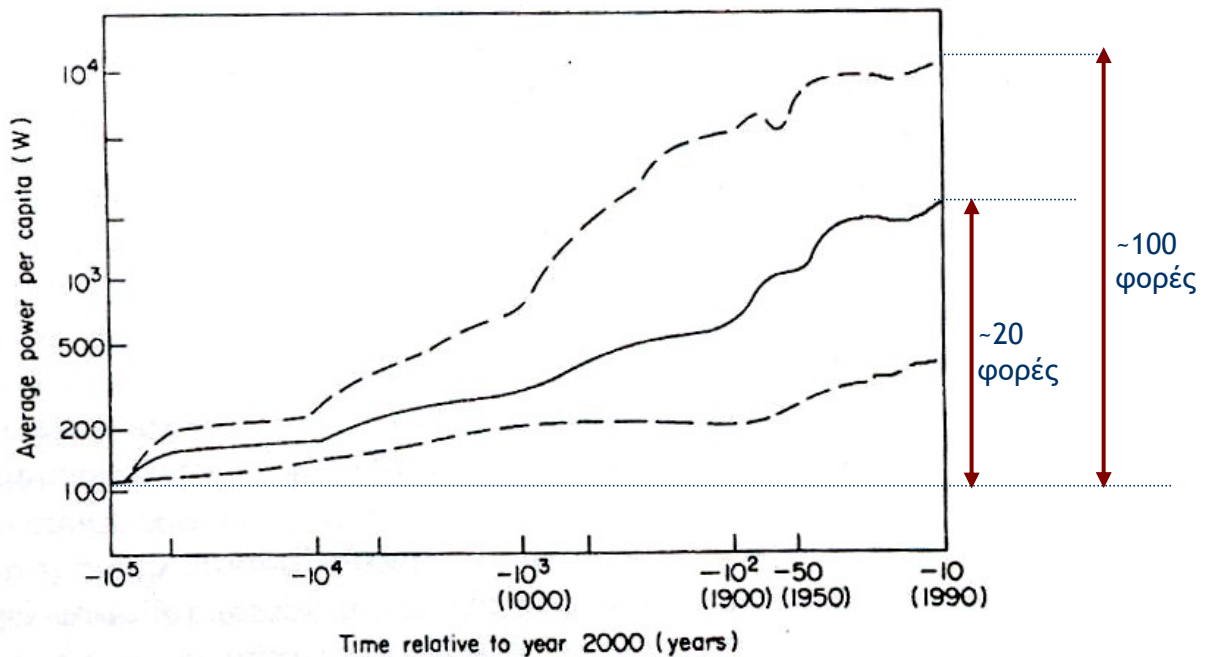
Εμφάνιση του ανθρώπου	4.000.000 π.Χ.
Εμφάνιση του πολιτισμού (με τη φωτιά να χρησιμοποιείται στην κεραμική και χρήση κατοικίδιων ζώων)	5.000 π.Χ.
Ανάπτυξη ανεμόμυλου (αρχικά σε Ινδία και Περσία, ενώ αναφέρεται και από τον Ήρωνα)	~3 ^{ος} αιώνας π.Χ.
Ανάπτυξη οριζόντιου νεροτροχού (κατακόρυφος άξονας)	~2 ^{ος} αιώνας π.Χ.
Ανάπτυξη της πρώτης μετατροπής ατμού σε μηχανικό έργο από το Ήρωνα	~2 ^{ος} αιώνας π.Χ.
Ανάπτυξη κατακόρυφου νεροτροχού (στη Δύση ~1200 μ.Χ.)	4 ^{ος} αιώνας μ.Χ.
Ανακάλυψη του κανονιού	1318
Πειράματα με την πρώτη ατμοσφαιρική ατμομηχανή (Denis Papin)	1690
Ανάπτυξη της πρώτης (ατμοσφαιρικής) ατμομηχανής (Newcomen)	1712
Ανάπτυξη της μοντέρνας ατμομηχανής (Watt)	1769
Βιομηχανίες που χρησιμοποιούν για κίνηση μηχανών νερόμυλους	1790
Ανακάλυψη της μπαταρίας (A. Volta)	1800
Ανακάλυψη του ηλεκτρικού κινητήρα (Faraday)	1820
Ανακάλυψη υδροστροβίλων (Benoit Fourneyron)	1832
Ανακάλυψη του ηλεκτρικού λαμπτήρα από τον Edison	1879
Ανάπτυξη της μηχανής αυτοκινήτου (G. Daimler)	1883
Ηλεκτρική ενέργεια από γεωθερμική στο Larderello (Ιταλία)	1904
Λειτουργία της πρώτης εμπορικής πυρηνικής μονάδας (Shipping Port, ΗΠΑ)	1952
Ανάπτυξη του πρώτου ηλιακού στοιχείου πυριτίου	1954

Από τα τέλη του 1600 ο γαιάνθρακας είχε γίνει η κοινότερη καύσιμη ύλη στην Αγγλία. Τότε τα ορυχεία συχνά πλημμύριζαν και απαιτούνταν κατάλληλες συσκευές για την άντληση του νερού. Έτσι, το 1696 αναπτύχθηκε η πρώτη ατμομηχανή (που λειτουργούσε σε ατμοσφαιρική πίεση) από τον Thomas Savery για να κάνει αυτή τη δουλειά, δηλ. την άντληση νερών. Η ανακάλυψη αυτή άνοιξε ασφαλώς το δρόμο στη βιομηχανική επανάσταση, η οποία βεβαίως αρχικά βασίστηκε ολοκληρωτικά στα κοιτάσματα άνθρακα και αρκετά αργότερα, στον 20^ο αιώνα, στο πετρέλαιο. Η βιομηχανική επανάσταση, πριν από 200-300 χρόνια, συνδέθηκε με τη χρήση από το άνθρωπο σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Οι κύριες ενεργειακές πηγές ήταν αρχικά, όπως αναφέρθηκε, τα καυσόξυλα και το κάρβουνο, ενώ η μεγάλη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας κατά τον 20^ο αιώνα έγινε δυνατή από τη διαθεσιμότητα φθηνών ορυκτών καυσίμων: κάρβουνου, πετρελαίου και φυσικού αερίου.

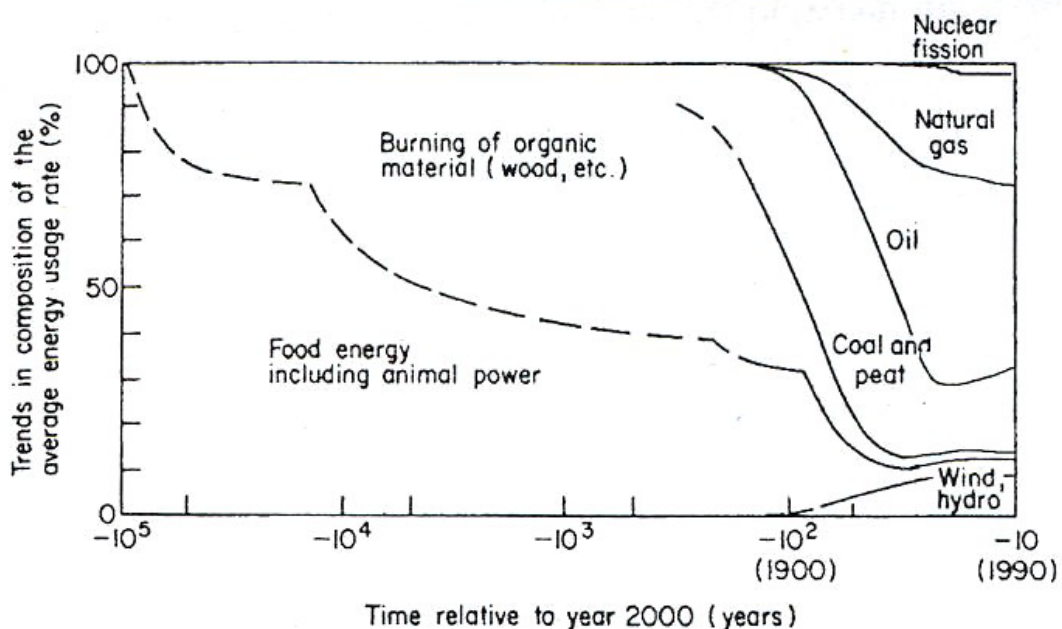
Μια σύνοψη της ανάπτυξης της ενεργειακής χρήσης στη πρόσφατη σχετικά ιστορία του ανθρώπου δίνεται στα Σχήματα 1.2 και 1.3. Βέβαια, σχετικά αξιόπιστα στοιχεία υπάρχουν μόνον για τους τελευταίους δύο αιώνες. Το Σχήμα 1.2 παρουσιάζει την εξέλιξη της μέσης ενεργειακής μετατροπής ανά κάτοικο σε λογαριθμική κλίμακα. Στο Σχήμα 1.3 επιχειρείται ένα σκαρίφημα της κατανομής των ενεργειακών πηγών.

Η λέξη **ενέργεια** αναφέρεται για πρώτη φορά το 1599 (σε μη ελληνικά κείμενα), αλλά η ακριβής σημασία της στη φυσική δεν είναι ξεκάθαρη μέχρι το 1850. Η έννοια της ενέργειας αναπτύχθηκε από το αρχαϊκό «**πυρ**», ένα από τα τέσσερα βασικά «στοιχεία» της φύσης σύμφωνα με τον Εμπεδοκλή κατά τον 5^ο αιώνα π.Χ. (τα άλλα τρία ήταν η γη, το νερό και ο αέρας), έννοια που έμεινε ακλόνητη σχεδόν για 2000 χρόνια, στη «**ζώσα δύναμη**» (vis viva) του 18^{ου} αιώνα. Το 1807, ο Thomas Young ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τον όρο «ενέργεια» αντί της «ζώσας δύναμης» για να αναφερθεί στο γινόμενο της μάζας ενός αντικειμένου επί του τετραγώνου της ταχύτητάς του. Το 1829 ο Gustave-Gaspard Coriolis

περιέγραψε τον όρο «κινητική ενέργεια» με τη σημερινή του έννοια και το 1953 ο, William Rankine επινόησε τον όρο «δυναμική ενέργεια».



Σχήμα 1.2. Η χρονική εξέλιξη της ανά κεφαλή ενεργειακής μετατροπής (συνεχής γραμμή). Οι διακεκομμένες γραμμές αντιστοιχούν στις κοινωνίες με την μικρότερη και την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας (Sorensen, 2000).



Σχήμα 1.3. Η τάση της κατανομής των διαφόρων ενεργειακών πόρων. Οι εκτιμήσεις αυτές θα πρέπει να θεωρηθούν αρκετά χοντρικές (Sorensen, 2000).

Ιστορική Σύνοψη των Ενεργειακών Πηγών

Ξύλο. Το κυρίαρχο καύσιμο όλων των εποχών, χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες.

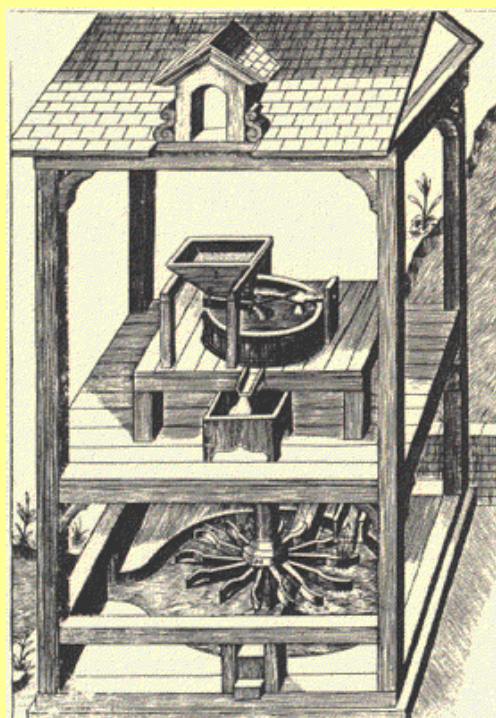
Άνθρακας. Αποδείχτηκε ότι τον ήξεραν οι κάτοικοι της Ουαλίας κατά την εποχή του χαλκού, αργότερα οι Ρωμαίοι, οι Ινδιάνοι στη Β. Αμερική, ήταν γνωστός στην Κίνα, και από τον 12^ο μ.Χ. αιώνα στην Αγγλία. Η κύρια πηγή ενέργειας που έδωσε ώθηση στην βιομηχανική επανάσταση.

Πετρέλαιο. Πρώτη φορά αντλήθηκε το 1857 στο Αμβούργο και το 1859 στην Πενσυλβάνια, αν και ήταν γνωστό σε πολλούς πολιτισμούς (Εγγύς Ανατολή, Κίνα).

Φυσικό αέριο. Η πρώτη γεώτρηση έγινε το 1865 στη Νέα Υόρκη και αρχικά χρησιμοποιούνταν για φωτισμό (παλαιότερα χρήση σε Κίνα και Ιαπωνία).

Ηλεκτρική ενέργεια. Το 1878 ιδρύθηκε η εταιρία του Edison, ο οποίος το 1882 ανακάλυψε και τον ηλεκτρικό λαμπτήρα.

Υδροίσχύς. Αξιοποιείται εδώ και χιλιάδες χρόνια. Οι υδροτροχοί εμφανίστηκαν περίπου το 200 π.Χ. Το μεγαλύτερο συγκρότημα αρχαίου μύλου που εικάζεται ότι είχε κατασκευαστεί είχε ισχύ 20 hp (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4. Σχέδιο οριζόντιου υδρόμυλου (ονομαζόμενου και ελληνικού ή σκανδιναβικού) στη ρωμαϊκή εποχή

Ενεργειακή Κρίση στην Αρχαία Ελλάδα και Ρώμη

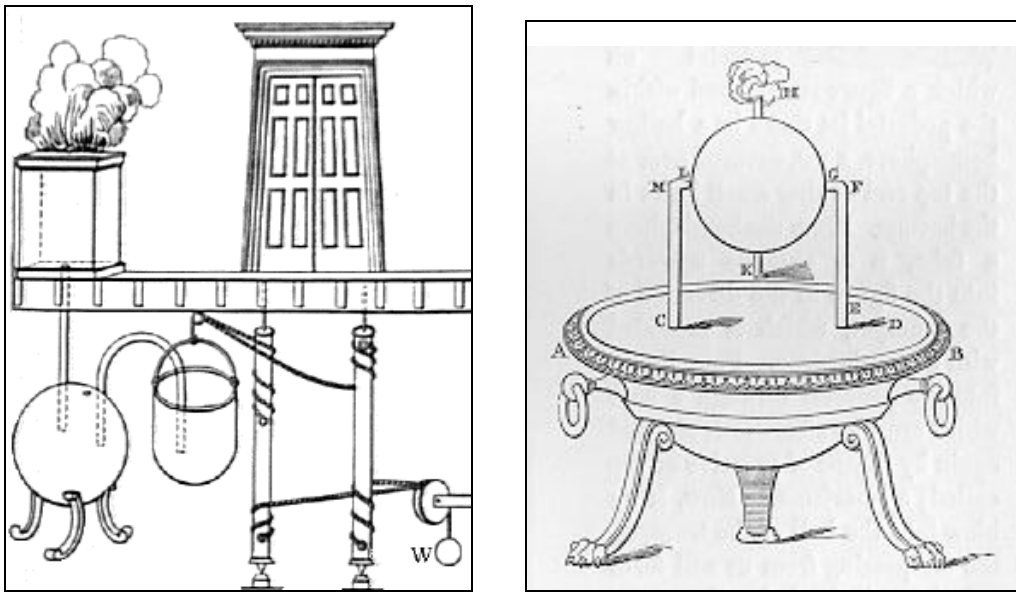
Στην κλασική περίοδο της αρχαιότητας κύρια πηγή ενέργειας ήταν το ξύλο. Κατά τον 5^ο αιώνα π.Χ. παρατηρήθηκαν ελλείψεις καύσιμης ξυλείας στην Αττική. Είχαν καταστραφεί τα περισσότερα κοντινά δάση και ο κόσμος άρχισε να κόβει ελαιόδενδρα για χρήση ως καύσιμη ύλη. Η υποβάθμιση της περιοχής και ο κίνδυνος της μείωσης της παραγωγής ελαιολάδου υπαγόρευσε τη θέσπιση νόμου τον 4^ο αιώνα π.Χ., με τον οποίο απαγορεύτηκε το κόψιμο των ελαιόδενδρων. Εικάζεται ότι η χρήση και η διάδοση των παθητικών ηλιακών συστημάτων στην αρχαιότητα υπαγορεύτηκε και από την έλλειψη των καυσίμων-ξυλείας.

Επίσης στη Ρώμη κατά τον 1^ο αιώνα μ.Χ. αναφέρεται ότι πλούσιοι Ρωμαίοι έκαigan μέχρι και 120 κιλά ξύλα σε 4 ώρες! Η έλλειψη ξυλείας που παρατηρήθηκε εκείνα τα χρόνια οφειλόταν με βεβαιότητα στην υπερχρησιμοποίηση αυτού του ενεργειακού πόρου. Για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Ρώμης μεταφερόταν ξυλεία από αποστάσεις μέχρι και 1500 km (από τις Άλπεις). Είναι πολύ πιθανόν η έλλειψη ξυλείας να βοήθησε στην χρήση της ηλιακής ενέργειας και των γυάλινων παραθύρων, ενώ τα δημόσια κτήρια (π.χ. λουτρά) κτίζονταν παίρνοντας υπόψη τους αρχές των παθητικών ηλιακών συστημάτων.

Ενεργειακές Μετατροπές του Ήρωνα του Αλεξανδρινός (2ος αιώνας π.Χ.)

Η μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική δεν είναι εφεύρεση της βιομηχανικής επανάστασης. Ο Ήρων ο Αλεξανδρινός (περί το 100 π.Χ.) στο βιβλίο του «Πνευματικά» μελέτησε τις ιδιότητες των υγρών και των αερίων και αξιοποίησε την τάση διαστολής του ατμού για να παραγάγει περιστροφική κίνηση με τη λεγόμενη «σφαίρα του Αιόλου» (Σχήμα 1.5). Στο

ίδιο βιβλίο περιγράφεται και η αυτόματη πύλη του ναού (δεξιά), όπου «μόλις γίνει η θυσία στο βωμό που βρίσκεται στην είσοδο του ναού, οι πόρτες του ναού ανοίγουν αυτόματα, και μόλις σβήσει η φωτιά στο βωμό, οι πόρτες κλείνουν πάλι από μόνες τους». Περισσότερες πληροφορίες μπορεί να βρει ο αναγνώστης στο διαδίκτυο (π.χ. στην ιστοσελίδα www.history.rochester.edu/steam/hero/index.html) ή σε ελληνικά και ξενόγλωσσα βιβλία (π.χ. Δ. Καλλιγεροπούλου, Η τέχνη της κατασκευής των αυτομάτων του Έρωνα του Αλεξανδρινού, Αυτοματοποιητική, 1996). Τα σχέδια στο Σχήμα 1.5 είναι από το βιβλίο “The pneumatics of Hero of Alexandria”, του Bennet Woodcroft (London, 1851).

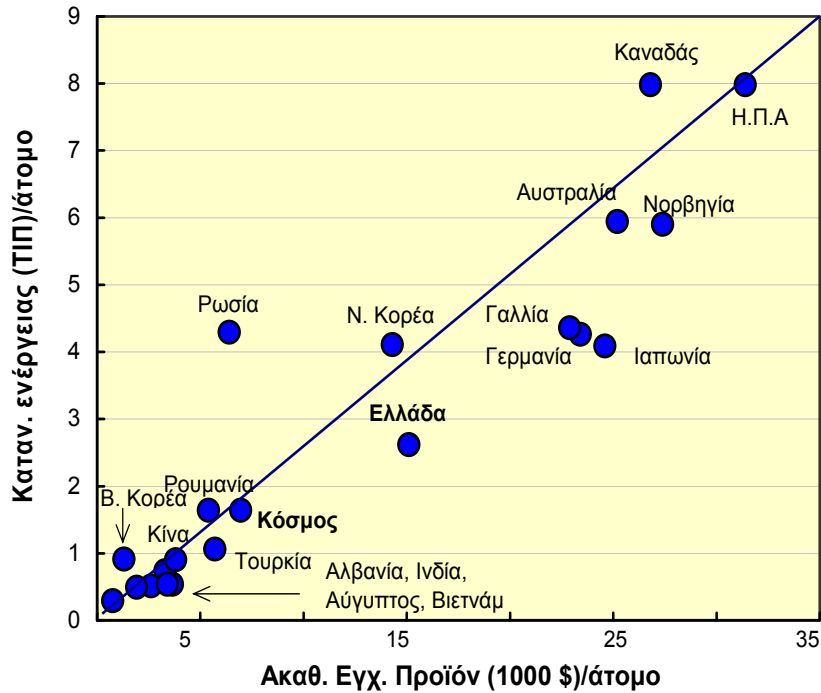


Σχήμα 1.5. Αριστερά, αυτόματο άνοιγμα της πόρτας ναού όταν υπήρχε φωτιά στο βωμό. Δεξιά, η πρώτη εφαρμογή της μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε μηχανική: περιστροφή της σφαίρας λόγω της διαφυγής του ατμού από δύο αντιδιαμετρικά στόμια.

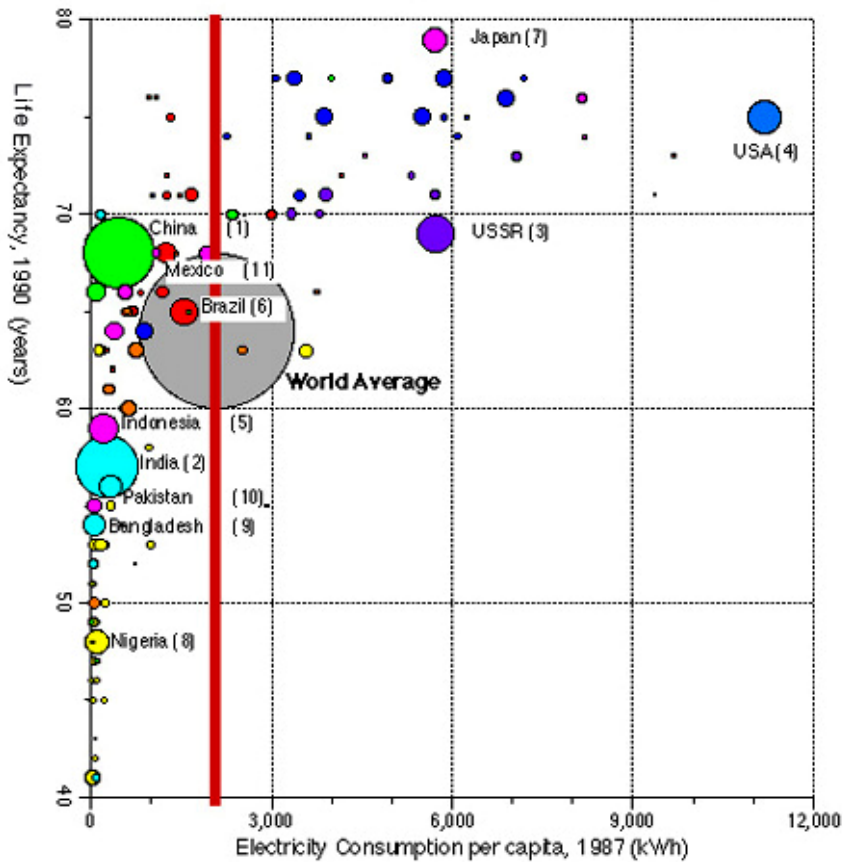
1.3 Αειφορία και Αειφορική Ενέργεια

1.3.1 Ορισμοί

Οι ενεργειακοί πόροι αποτέλεσαν το θεμέλιο λίθο του δυτικού πολιτισμού. Η βιομηχανική επανάσταση βασίστηκε (Αγγλία, Γερμανία, Η.Π.Α.) αρχικά στο γαιάνθρακα και η δραματική εξέλιξη του βιοτικού επιπέδου της ανθρωπότητας στον 20^ο αιώνα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη χρήση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Παρατηρείται σαφής προσεγγιστική συσχέτιση του βιοτικού επιπέδου μιας χώρας και της κατανάλωσης ενέργειας, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.6. Η συσχέτιση αυτή διατυπώθηκε από πολλούς επιστήμονες, με πρώτο τον Wilhelm Ostwald, το 1909. Το προσδόκιμο επιβίωσης και αυτό φαίνεται να σχετίζεται με την κατανάλωση ενέργειας (Σχήμα 1.7). Βέβαια διαπιστώνονται και κάποιες ιδιαιτερότητες που περισσότερο έχουν να κάνουν με την ιστορία και την ιδιοσυγκρασία ενός λαού, αλλά και με τις ιδιαίτερες γεωγραφικές και κλιματικές συνθήκες. Η αναπόφευκτη αύξηση του πληθυσμού της γης (θα ξεπεράσει τα 10 δισ. το 2050), μαζί με την αναμενόμενη άνοδο του βιοτικού επιπέδου των αναπτυσσόμενων κρατών, αναμένεται να έχει ως συνέπεια την ακόμη μεγαλύτερη κατανάλωση ενεργειακών πόρων, με τις γνωστές επιπτώσεις στο περιβάλλον.



Σχήμα 1.6. Οικονομική ανάπτυξη (κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν σε \$1000/άτομο, διορθωμένο ως προς την αγοραστική αξία του δολαρίου σε τιμές 1995) και κατανάλωση ενέργειας (κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας σε ΤΙΠ) κατά το 2001.



Σχήμα 1.7. Το προσδόκιο επιβίωσης αυξάνει με την κατανάλωση ενέργειας. Καθώς μία χώρα φθάνει τα 2000 kWh κατά κεφαλήν το προσδόκιο γίνεται περίπου 70 χρόνια. [Πηγή: <http://www.geni.org/energy/library...>]

Τα τελευταία 20 περίπου χρόνια όλο και πιο συχνά ακούγονται οι όροι **αιφορία**, **αιφορική** ή **αιφόρος ανάπτυξη** και **αιφορική ενέργεια**. Οι όροι «αιφόρος ανάπτυξη» και «αιφορία» είναι δανεισμένες από την επιστήμη της δασολογίας. Ο όρος «αιφόρος ενέργεια» περιλαμβάνει σειρά πρακτικών, πολιτικών και τεχνολογιών με τις οποίες προσπαθούμε να καλύψουμε τις ενεργειακές μας ανάγκες με το μικρότερο περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό κόστος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των διεργασιών και την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η λέξη *αιφόρος* απαντά στην αρχαιότητα (Ξενοφώντας, Ησύχιος) και σημαίνει *αιθαλής*. Το λεξικό Μπαμπινιώτη αναφέρει:

Αιφορία (η) [χωρ. πληθ.] ΓΕΩΠ. η βασική αρχή της δασοπονίας, που αποσκοπεί στην απόδοση του ίδιου ποσού δασικών προϊόντων ετησίως ή κατά περιόδους [ετυμ. <αεί 'πάντοτε' + -φορία < φέρω, αποδ. στην ελλην. ξεν. όρου].

Συχνά αναφέρεται και ως «βιώσιμη» ανάπτυξη. Κατά το Μείζον Ελληνικό Λεξικό: *Βιώσιμος*, -η, -ο επίθ. (Κ -ος, -ον) που μπορεί να ζήσει, να επιβιώσει: η κυβέρνηση δε θεωρείται βιώσιμη.

Έτσι, η λέξη *αιφορία* φαίνεται μάλλον η καταλληλότερη για την απόδοση της έννοιας της ανάπτυξης χωρίς να διακυβεύεται το μέλλον της ανθρωπότητας.

Στα Αγγλικά χρησιμοποιούνται οι όροι 'sustainable growth' και 'sustainability'. Στο American Heritage Dictionary αναφέρεται:

sus·tain tr.v. *sus·tained*, *sus·tain·ing*, *sus·tains*. 1. To keep in existence; maintain. 2. To supply with necessities or nourishment; provide for. 3. To support from below; keep from falling or sinking; prop. 4. To support the spirits, vitality, or resolution of; encourage. 5. To bear up under; withstand: can't sustain the blistering heat.

1.3.2 Παραδείγματα αιφόρου ενεργειακής πολιτικής και ανάπτυξης

1. Οι υψηλής απόδοσης *συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού* (compact fluorescent light bulbs) παράγουν την ίδια ποσότητα φωτός όπως και οι *λαμπτήρες πυρακτώσεως* (κοινού λαμπτήρες), αλλά καταναλώνουν μόλις το ένα τέταρτο της ενέργειας που καταναλώνουν οι δεύτεροι. Κοστίζουν αρκετά ακριβότερα, αλλά το κόστος αγοράς αποσβένεται από το μικρότερο κόστος λειτουργίας και το μεγαλύτερο χρόνο ζωής τους. Βεβαίως, χωρίς κίνητρα και ενημέρωση είναι αρκετά δύσκολο να διεισδύσουν στην αγορά. Σημειώνεται ότι η τιμή των οικονομικών λαμπτήρων επιδοτείται σε πολλές χώρες, αλλά όχι στη χώρα μας.
2. Για άτομα που πρέπει να μετακινηθούν από το σπίτι στην εργασία τους και αντίστροφα, η συνεννόηση για *χρήση ενός μόνο αυτοκινήτου* ή *χρήση μαζικών μέσων μεταφοράς* βοηθά δραματικά στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και ενέργειας. Σε αυτή την κατεύθυνση κινείται και η επιβολή διοδίων για την είσοδο στο κέντρο πολλών ευρωπαϊκών πόλεων (Λονδίνο, Οσλο). Η πολιτική αυτή έχει επανειλημμένα προταθεί και για την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη.
3. Με την *αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μικρής κλίμακας* που βρίσκονται κοντά στους καταναλωτές (βιομάζα, αιολική, γεωθερμική και ηλιακή ενέργεια) μειώνονται οι ανάγκες για μεταφορά πρωτογενών καυσίμων και ηλεκτρισμού, δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας και προωθείται η αποκέντρωση και η ενεργειακή απεξάρτηση μιας χώρας.
4. Η μεταφορά καυσίμων ή άνθρακα με πλοία ή τρένα-φορτηγά απαιτεί περίπου το ένα τέταρτο της ενέργειας από ότι η μεταφορά των ίδιων ποσοτήτων με φορτηγά αυτοκίνητα. Επομένως, *αιφόρος πολιτική* είναι η αναβάθμιση και επέκταση των σιδηροδρομικών μεταφορών.
5. Οι νέοι καινοτόμοι αεριοστρόβιλοι μπορούν να μετατρέψουν μεγαλύτερο ποσοστό της ενεργειακής αξίας των καυσίμων σε ηλεκτρισμό από ότι οι συμβατικοί στρόβιλοι.

6. Τα παραπροϊόντα από τα ζαχαρουργεία και τα ελαιουργεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αποδοτικό τρόπο σε ειδικά σχεδιασμένους λέβητες για παραγωγή ατμού και ζεστού νερού.
7. Η χρήση αντλιών θερμότητας για θέρμανση/δροσισμό με θαλασσινό νερό ή νερό λιμνών και ποταμών ή με την αξιοποίηση της «γήινης θερμότητας» μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας στον οικιακό και εμπορικό τομέα.

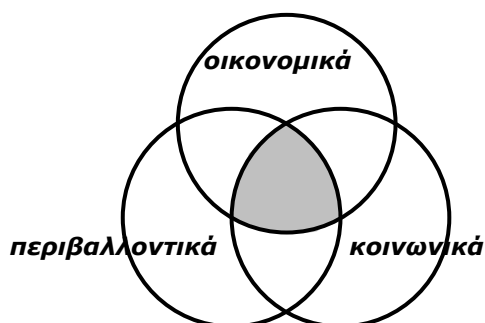
1.3.3 Θεωρήσεις της αειφορίας

Από διάφορους οργανισμούς, ερευνητές και πολιτικούς δόθηκαν διαφορετικές ερμηνείες και ορισμοί στη λέξη αειφορία, αν και το γενικό πνεύμα φαίνεται ταυτόσημο. Δύο από αυτούς τους ορισμούς δίνονται παρακάτω:

Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (ΟΗΕ, 1992): «Ανάπτυξη που αντιμετωπίζει τις ανάγκες του σήμερα χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των επόμενων γενεών να αντιμετωπίσουν τις δικές τους ανάγκες»

Συμβούλιο Ακαδημιών Πολυτεχνικών και Τεχνολογικών Επιστημών: «Σημαίνει την ισοστάθμιση των οικονομικών, κοινωνικών, περιβαλλοντικών και τεχνολογικών θεωρήσεων καθώς και την ενσωμάτωση κανόνων ηθικών αξιών»

Η «αειφορική» ανάπτυξη έγινε πολιτική κίνηση για την ανάπτυξη των λιγότερο αναπτυγμένων χωρών και τη σωτηρία του πλανήτη μας και προσπαθεί να συνταιριάσει τα οικονομικά, τα περιβαλλοντικά και τα κοινωνικά δεδομένα κάθε περιοχής και του πλανήτη μας γενικότερα. Αειφορική ανάπτυξη γίνεται μόνο στον κοινό τόπο των παραπάνω παραμέτρων.



1.3.4 Οικονομικό κόστος ενέργειας

Το συνολικό κόστος των ενεργειακών υπηρεσιών περιλαμβάνει οικονομικά και μη-οικονομικά μεγέθη. Η «τιμή» στην αγορά (market price) της παροχής των ενεργειακών υπηρεσιών στο τελικό καταναλωτή λαμβάνει υπόψη του μόνον εκείνα τα μεγέθη που είναι προφανή και πληρώνονται άμεσα από τον παραγωγό και τον καταναλωτή ενέργειας, δηλαδή το κόστος αγοράς των καυσίμων, το κόστος της μετατροπής του καυσίμου σε χρήσιμη ενέργεια (π.χ. σε ηλεκτρισμό) και το κόστος διανομής του καυσίμου ή του ηλεκτρισμού. Υπάρχει όμως και μη άμεσες οικονομικές επιβαρύνσεις (το λεγόμενο εξωτερικό κόστος - externalities) που δεν προσμετρώνται στην τελική τιμή της ενέργειας, αν και θα έπρεπε. Αν και είναι τεχνητός ο διαχωρισμός, αυτές οι επιβαρύνσεις μπορούν να διαχωριστούν σε δύο ομάδες: στις επιβαρύνσεις που σχετίζονται με τη βλάβη που υφίσταται ο ανθρώπινος πληθυσμός (κοινωνικό κόστος) και στις επιβαρύνσεις που σχετίζονται με την υποβάθμιση του

φυσικού οικοσυστήματος (περιβαλλοντικό κόστος). Αυτές οι επιβαρύνσεις (κόστη) δεν πληρώνονται προς το παρόν από το τελικό χρήστη, αν και δεν φαίνεται να είναι μακριά η εποχή που αυτό θα γίνει.

1.3.5 Κόστος Κύκλου Ζωής

Για να κατασκευαστεί μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή για να αγοραστεί ένα αυτοκίνητο απαιτείται κάποιο πάγιο κεφάλαιο (πάγιο κόστος). Η συντήρηση και η αγορά καυσίμων για τη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή για το αυτοκίνητο επίσης απαιτεί κάποιο κεφάλαιο (λειτουργικό κόστος). Το πρώτο κεφάλαιο απαιτείται να πληρωθεί εφάπαξ (ή με δάνειο), ενώ το δεύτερο πληρώνεται στη συνολική διάρκεια λειτουργίας της μονάδας ή της ζωής του αυτοκινήτου. Η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής ενός αγαθού ή μιας μονάδας λαμβάνει υπόψη και το αρχικό κόστος κατασκευής και το λειτουργικό κόστος και αποτιμά τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις σε αντικειμενική βάση. Σε αυτή την ανάλυση περιλαμβάνεται και το κόστος του παροπλισμού της μονάδας ή της απόσυρσης του αυτοκινήτου και ανακύκλωσης των υλικών του. Οι υψηλές τεχνολογίες διεργασίες και οι ανανεώσιμες τεχνολογίες έχουν συνήθως υψηλό κόστος πάγιου κεφαλαίου, αλλά διακρίνονται από το χαμηλό λειτουργικό κόστος, κάτι που μπορεί τελικά να οδηγήσει σε χαμηλό (ή χαμηλότερο) κόστος κύκλου ζωής.

1.4 Ενεργειακές πηγές - Μορφές ενέργειας

Ενεργειακές πηγές (energy sources) είναι οι πηγές από τις οποίες μπορεί να επιτευχθεί ενέργεια με τη μορφή θερμότητας, φωτός και ισχύος. Ο όρος **ενέργεια** χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ποσότητα του «έργου» που επιτελείται. Με άλλα λόγια μπορεί να λεχθεί ότι ενέργεια είναι η ιδιότητα της ύλης που μπορεί να μετατραπεί σε έργο, θερμότητα ή ακτινοβολία. Μπορεί να θεωρηθεί ότι υπάρχουν δύο βασικά είδη ενέργειας, η **κινητική ενέργεια** (το έργο που επιτελείται από την κίνηση της ύλης) και η **δυναμική ενέργεια** (το έργο που βρίσκεται αποθηκευμένο ή σε ηρεμία σε μία ύλη). Είτε ως κινητική ή ως δυναμική ενέργεια, η ενέργεια εμφανίζεται με μία από τις παρακάτω μορφές:

(1) **Χημική ενέργεια** (chemical energy). Προέρχεται από την αλλαγή της χημικής δομής των ουσιών, όπως συμβαίνει κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Άλλες μορφές χημικής ενέργειας είναι το υδρογόνο, ή τροφή στο στομάχι μας και οι μπαταρίες.

(2) **Ηλεκτρική ενέργεια** (electrical energy). Σχετίζεται με τη θέση ενός ηλεκτρικού φορτίου σε ένα ηλεκτρικό πεδίο. Επίσης μπορεί να βρίσκεται αποθηκευμένη σε ένα συσσωρευτή ή σε μία κυψελίδα καυσίμων.

(3) **Μηχανική ενέργεια** (mechanical energy). Προέρχεται από δύναμη που εφαρμόζεται ή πρόκειται να εφαρμοστεί σε κάποιο υλικό μέσο (στερεό, υγρό ή αέριο).

(4) **Θερμική ενέργεια** (thermal energy). Απορρέει από τη θερμότητα που δίνεται ή λαμβάνεται από ένα υλικό. Συνδέεται με τις τυχαίες μοριακές κινήσεις μέσα σε ένα μέσο.

(5) **Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια** (electromagnetic energy). Η ενέργεια που μεταφέρεται μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως είναι η ηλιακή ενέργεια.

(6) **Πυρηνική ενέργεια** (nuclear energy). Βασικά αφορά την πυρηνική σχάση (nuclear fission), η οποία προέρχεται από τη σχάση του πυρήνα ενός ατόμου σε δύο ή περισσότερα σωματίδια από την πρόσκρουση με νετρόνια, με επακόλουθο την απελευθέρωση της δύναμης

με την οποία είναι συνδεδεμένα τα πρωτόνια και τα νετρόνια του πυρήνα. Πυρηνική ενέργεια παράγεται και από πυρηνική σύντηξη (nuclear fusion), κατά την οποία δύο ίδια ή διαφορετικά άτομα συνενώνονται μεταξύ τους, όπως συμβαίνει στον ήλιο.

Όλοι οι ζώντες οργανισμοί στη γη εξαρτώνται από μία ή περισσότερες μορφές ενέργειας. Κάθε μορφή ενέργειας μπορεί να ταξινομηθεί είτε ως κινητική ή ως δυναμική, όπως παρουσιάζεται στο Πίνακα 1.2. Μερικές μορφές ενέργειας μπορούν να υπάρξουν μόνο ως δυναμική ενέργεια (π.χ. βαρυτική, χημική και πυρηνική), ενώ άλλες μπορεί να υπάρχουν είτε ως δυναμική ή ως κινητική ενέργεια.

Πίνακας 1.2. Ταξινόμηση των μορφών ενέργειας σε κινητική και δυναμική ενέργεια.

Μορφή ενέργειας	Δυναμική	Κινητική
Βαρυτική	ΝΑΙ (εξ ορισμού)	-
Μηχανική (έργο)	Σώμα εν ηρεμία	Σώμα εν κινήσει
Ηλεκτρική	Φορτισμένη μπαταρία	Μπαταρία σε αποφόρτιση
Θερμική (θερμότητα)	-	ΝΑΙ (εξ ορισμού)
Ηλιακή (ακτινοβολία)	-	ΝΑΙ (εξ ορισμού)
Χημική	ΝΑΙ (εξ ορισμού)	-
Πυρηνική	ΝΑΙ (εξ ορισμού)	-

Ο ήλιος αποτελεί την «απόλυτη» πηγή ενέργειας για τη γη. Ο ήλιος παρέχει στη γη θερμότητα με την εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε ημερήσια βάση και η οποία με τη σειρά της είναι υπεύθυνη για μια σειρά δράσεων που οδηγούν στην ενέργεια από τη βιομάζα, το νερό, τον άνεμο, τα κύματα και τα θαλάσσια ρεύματα (δευτερογενής ηλιακή ενέργεια). Επίσης η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στη γη εδώ και εκατομμύρια χρόνια έχει δημιουργήσει «αποθηκευμένη» ενέργεια, με την μετατροπή των φυτικών και ζωικών υλών σε πετρέλαιο, γαιάνθρακα και φυσικό αέριο, δηλαδή σε ορυκτά ή φυσικά καύσιμα. Αυτή η διεργασία, βεβαίως, γίνεται και σήμερα, αλλά με τόσο μικρό ρυθμό που δε μπορεί να συγκριθεί με τον τεράστιο ρυθμό με τον οποίο η σημερινή κοινωνία καταναλώνει αυτούς τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους.

Ως **κύρια ενέργεια** (capital energy) ορίζονται οι ενεργειακοί πόροι που υπάρχουν «αποθηκευμένοι» στη γη. Η κύρια ενέργεια μπορεί να υποδιαιρεθεί στις παρακάτω έξι κατηγορίες:

Πρωτογενής ενέργεια (primary energy): η ενέργεια που προέρχεται κατευθείαν από τον ήλιο ή τη γη (ορυκτά και πυρηνικά καύσιμα), όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 1.3. Δεν απαιτείται επεξεργασία για τη μετατροπή της σε χρήσιμη ενέργεια.

Δευτερογενής ενέργεια (secondary energy): περιλαμβάνει τις μορφές ενέργειας που προκύπτουν από τη μετατροπή πρωτογενούς ενέργειας μέσω χημικών, φυσικών, μηχανικών, θερμικών ή πυρηνικών δράσεων (π.χ. βενζίνη, ηλεκτρική ισχύς) για να χρησιμοποιηθούν ως χρήσιμη ενέργεια. Αναλυτική παρουσίαση των διαφόρων μορφών της δευτερογενούς ενέργειας δίνεται στον Πίνακα 1.4.

Ανανεώσιμη ενέργεια (renewable energy): ο όρος αναφέρεται στις μορφές δυναμικής ενέργειας, οι οποίες ανανεώνονται σε σταθερό ρυθμό και σχετικά γρήγορα. Η λέξη «γρήγορα» είναι η λέξη κλειδί στο ορισμό. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως και τα ορυκτά καύσιμα ανανεώνονται, αλλά σε εξαιρετικά μικρό ρυθμό.

Πίνακας 1.3. Πρωτογενείς ενεργειακές πηγές.

Μη ανανεώσιμη	Ορυκτά: <ul style="list-style-type: none"> - γαιάνθρακας - τύρφη - αργό πετρέλαιο - φυσικό αέριο 	Διεργασία καύσης
	Πυρηνικά: <ul style="list-style-type: none"> - ουράνιο - θόριο - δευτέριο - λίθιο - Βηρύλλιο 	
Ανανεώσιμη σε ημερήσια βάση	Ηλιακή: <ul style="list-style-type: none"> - ηλιακή θερμική μετατροπή - φωτοβολταϊκή μετατροπή 	Χωρίς διεργασία καύσης
	<ul style="list-style-type: none"> - φωτοχημική μετατροπή - αποθηκευμένη ηλιακή με αντλίες θερμότητας 	
	Υδροϊσχύς - ενεργειακή μετατροπή του νερού από ποταμό ή τεχνητό ταμιευτήρα	
	Παλίρροιες: - παλιρροϊκή ενεργειακή μετατροπή	
	Άνεμος: - αιολική ενεργειακή μετατροπή	
	Ωκεανοί: <ul style="list-style-type: none"> - θερμική μετατροπή νερού ωκεανών - μετατροπή των θαλάσσιων ρευμάτων - μετατροπή ενέργειας κυμάτων 	
	Γεωθερμία: <ul style="list-style-type: none"> - γεωθερμικός ατμός, θερμό νερό - αβαθής γεωθερμία - θερμά-ξηρά πετρώματα - μαγματική θερμότητα - γεωπεπιεσμένα συστήματα 	
	Βιομάζα: - ξυλεία και διάφορες καλλιέργειες	
	Διεργασία καύσης	

Μη ανανεώσιμη ενέργεια (nonrenewable energy): οποιαδήποτε μορφή δυναμικής ενέργειας που δεν εμπίπτει στον ορισμό της ανανεώσιμης ενέργειας, με παράδειγμα τα ορυκτά καύσιμα.

Ενέργεια από τη διεργασία της καύσης (combustion process): Πολλές από τις δυναμικές μορφές ενέργειας που αναφέρονται στους Πίνακες 1.3 και 1.4 θα πρέπει να αξιοποιηθούν μέσω της διεργασίας της καύσης για να μετατρέψουν την αποθηκευμένη ενέργεια σε έργο.

Ενέργεια που δεν περιλαμβάνει διεργασία καύσης (non-combustion process): οι μορφές δυναμικής ενέργειας που δεν περιλαμβάνουν καύση, όπως είναι η υδροϊσχύς και η αιολική ενέργεια. Οι ενέργειες αυτές διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στη βιομηχανία του 19^{ου} αιώνα.

Πίνακας 1.4. Δευτερογενείς ενεργειακές πηγές

Μη ανανεώσιμη	Ηλεκτρική:	- παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με διάφορους τρόπους - στοιχεία καυσίμων	Χωρίς διεργασία καύσης
	Πυρηνική:	- τρίτιο - πλουτώνιο	
	Ορυκτά καύσιμα: (από γαιάνθρακα)	- κοκ - υπόλειμμα - αέριο παραγωγής - μπρικέςτες - πολφού γαιάνθρακα - αεριοποίηση γαιάνθρακα - μεθανόλη από γαιάνθρακα	Διεργασία καύσης
	Ορυκτά καύσιμα: (από πετρέλαιο)	- βενζίνη - κηροζίνη - κοκ πετρελαίου - πετρέλαιο από πισσούχους σχιστόλιθους - πετρέλαιο από ασφαλτούχους άμμους - πετρέλαιο κίνησης - υγροποιημένο φυσικό αέριο - υγροποιημένο αέριο πετρελαίου - προπάνιο - βουτάνιο - ανακυκλωμένα λιπαντικά	
Ανανεώσιμη	Βιομάζα:	- παραπροϊόντα ξυλείας και φλοιοί - κατάλοιπα ζαχαροκάλαμου - φλούδες ρυζιού, σιτηρών κτλ. - άλλα παραπροϊόντα τροφίμων - οικιακά απορρίμματα - βιοαέριο - βιοαλκοόλες (μεθανόλη, αιθανόλη)	

Άλλοι χρήσιμοι ορισμοί

Τελική ενέργεια (final energy): η ενέργεια όταν διατίθεται στη μορφή που χρησιμοποιείται στην τελική χρήση. Τελικές χρήσεις είναι η βενζίνη στο ντεπόζιτο του αυτοκινήτου, ο φωτισμός, η θέρμανση, οι χημικές αντιδράσεις στη βιομηχανία κτλ. Παραδοσιακά, οι τελικές χρήσεις της ενέργειας διακρίνονται σε τέσσερις τομείς: τομέας μεταφορών, βιομηχανικός τομέας, οικιακός τομέας και εμπορικός τομέας (γραφεία, καταστήματα, σχολεία κτλ.).

Ωφέλιμη/χρήσιμη ενέργεια (useful energy): η ενέργεια που πράγματι συντελεί στην παραγωγή ενός προϊόντος

Ορυκτά Καύσιμα (φυσικά, ανθρακούχα καύσιμα- fossil fuels): αργό πετρέλαιο, φυσικό αέριο και γαιάνθρακας που σχηματίστηκαν στο φλοιό της γης πριν από εκατομμύρια χρόνια.

Πυρηνική Ενέργεια (nuclear energy): οι δύο τρόποι με τους οποίους αξιοποιούνται τα ραδιενεργά καύσιμα είναι η *πυρηνική σχάση* (fission) και η *πυρηνική σύντηξη* (fusion).

Στην τελική χρήση της ενέργειας επικρατούν σήμερα δύο μορφές ενέργειας, η **ηλεκτρική ενέργεια** («υψηλής ποιότητας» ενέργεια) και τα **στερεά, υγρά και αέρια**

καύσιμα. Η πρώτη μορφή αποτελεί μια παγιωμένη κατάσταση από άποψη τεχνολογική, εμπορική και οικονομική, δηλαδή υπάρχουν εκτεταμένα δίκτυα μεταφοράς και μια τεράστια ποικιλία καθιερωμένων συσκευών και άλλων προϊόντων, για τα οποία έχει διαμορφωθεί ένα ισχυρό πλέγμα βιομηχανικών, εμπορικών και οικονομικών δραστηριοτήτων. Έτσι για το ορατό μέλλον φαίνεται ότι η ηλεκτρική ενέργεια θα κυριαρχεί ως μορφή ενέργειας για τελική χρήση, αν και θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για δραστηριότητες που απαιτούν ενέργεια υψηλής ποιότητας (π.χ. λειτουργία υπολογιστών, ηλεκτροκίνηση) και όχι ως ενέργεια χαμηλής ποιότητας (θέρμανση χώρων ή νερού, μαγείρεμα κτλ.), η οποία μπορεί να προσφερθεί περισσότερο αποδοτικά από άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. από το φυσικό αέριο). Ο ρόλος των καυσίμων (και ιδιαίτερα των υγρών με τις μεταφορές) είναι και αυτός παγιωμένος, τεχνολογικά, εμπορικά και οικονομικά, ιδιαίτερα λόγω της εξάρτησης των σύγχρονων μεταφορικών μέσων από αυτά. Τα παραπάνω θα πρέπει να ληφθούν υπόψη σε κάθε προσπάθεια εκτίμησης του μεγέθους του οξυτάτου ενεργειακού και περιβαλλοντικού προβλήματος και των δυνατοτήτων μερικής τουλάχιστον αντιμετώπισής των με άλλες μορφές ενέργειας.

1.5 Ορυκτά Καύσιμα

Καύσιμα καλούνται οι ουσίες που όταν καίγονται παράγεται θερμότητα ή/και έργο. **Ορυκτά καύσιμα (fossil fuels)** είναι οι ουσίες που έχουν δημιουργηθεί από οργανισμούς και φυτά που έζησαν πριν από εκατομμύρια χρόνια. Βρίσκονται με τη μορφή κοιτασμάτων, σχετικά κοντά στην επιφάνεια της γης (τυπικά σε βάθος λιγότερο των 10 km). Έχουν διαφορετική εξωτερική εμφάνιση (ο *άνθρακας* είναι ένα καφετί ή μαύρο στερεό, το *αργό πετρέλαιο* ένα υποκίτρινο μαύρο υγρό και το *φυσικό αέριο* ένα άχρωμο αέριο), αλλά παρουσιάζουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά, αναφορικά με τη σύστασή τους, την επιβάρυνση του περιβάλλοντος και την εξαντλησιμότητά τους. Τα κυριότερα συστατικά τους είναι ο άνθρακας και το υδρογόνο, ενώ σε μικρότερα ποσοστά βρίσκονται οξυγόνο, άζωτο και θείο.

Σήμερα, περισσότερο από το 87% των ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιεί ή ανθρωπότητα προέρχονται από τα ορυκτά καύσιμα. Βέβαια, η κατάσταση αυτή έχει δημιουργηθεί μόλις τον περασμένο αιώνα και δεν αναμένεται να διαρκέσει για πολύ. Εκτός από τον άνθρακα, τα δύο άλλα ορυκτά καύσιμα δεν αναμένεται να διαρκέσουν περισσότερο από μία με δύο γενιές ανθρώπων. Στην ιστορία της ανθρωπότητας, η εποχή των ορυκτών καυσίμων θα χαρακτηρίζεται ως ένα μικρό διάλειμμα!

Τα ορυκτά καύσιμα προήλθαν από τη «διακοπή» της αερόβιας διεργασίας της αποσύνθεσης των οργανισμών που οδηγεί στην παραγωγή CO₂ και νερού:



Η μετατροπή της οργανικής ύλης σε ορυκτά καύσιμα έγινε μέσω αναερόβιας βιοχημικής δράσης με τη βοήθεια βακτηρίων. Κατά την Παλαιοζωική και Μεσοζωική περίοδο υπήρξε μεγάλη ανάπτυξη οργανισμών (πλαγκτόν - μονοκύτταροι οργανισμοί, ζώα, ανώτερα φυτά), λόγω ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών (φως, θερμό κλίμα, υγρασία). Από τότε ο σχηματισμός άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου συνεχίζεται μέχρι σήμερα και περιλαμβάνει σειρά περίπλοκων βιολογικών και γεωλογικών διεργασιών.

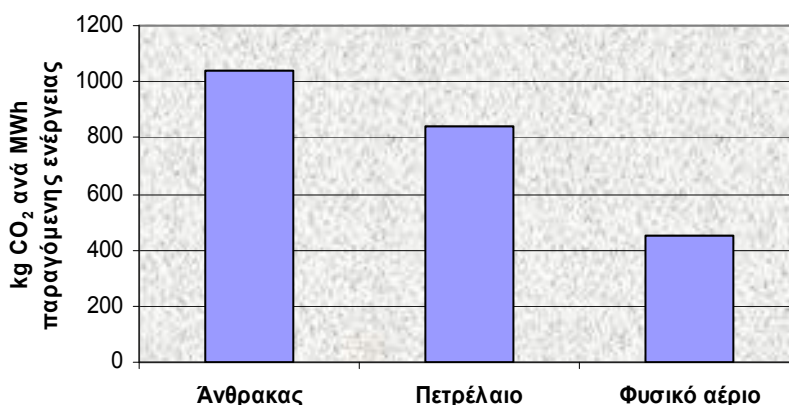
Τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Υπάρχουν και άλλα ορυκτά καύσιμα, όπως οι πισσούχοι σχίστες και οι ασφαλτούχοι άμμοι, που όμως δεν αξιοποιούνται σε μεγάλο βαθμό ακόμη εξαιτίας του υψηλού κόστους επεξεργασίας και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που ανακύπτουν κατά την επεξεργασία τους. Η μέση θερμογόνος δύναμη των κυριότερων ορυκτών καυσίμων δίνεται στον Πίνακα 1.5, ενώ οι εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα κατά τη χρήση τους δίνεται στο Σχήμα 1.8.

Πίνακας 1.5. Τυπικές τιμές θερμογόνου δύναμης ορυκτών καυσίμων

Ορυκτό καύσιμο	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)
Φυσικό αέριο (μεθάνιο)	56
Αργό Πετρέλαιο	42
Άνθρακας (πισσούχος)	30
Άνθρακας (λιγνίτης)	10

Τα ορυκτά καύσιμα αντιπροσωπεύουν σήμερα την κυριότερη πηγή ενέργειας, όχι μόνο για την παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά και για άλλες χρήσεις όπως μεταφορές, βιομηχανία και οικιακή θέρμανση.

Συχνά η διαθεσιμότητα των ορυκτών καυσίμων αναφέρεται με τους όρους «ενεργειακά αποθέματα» και «ενεργειακοί πόροι». Είναι σημαντικό να γίνει διασάφηση των δύο αυτών όρων. Η διαφοροποίηση των δύο όρων παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 1.8. Τα δύο κριτήρια για τη διάκριση των όρων αυτών αφορούν στο βαθμό βεβαιότητας για την ύπαρξη των καυσίμων και στην οικονομική απόληψή τους.

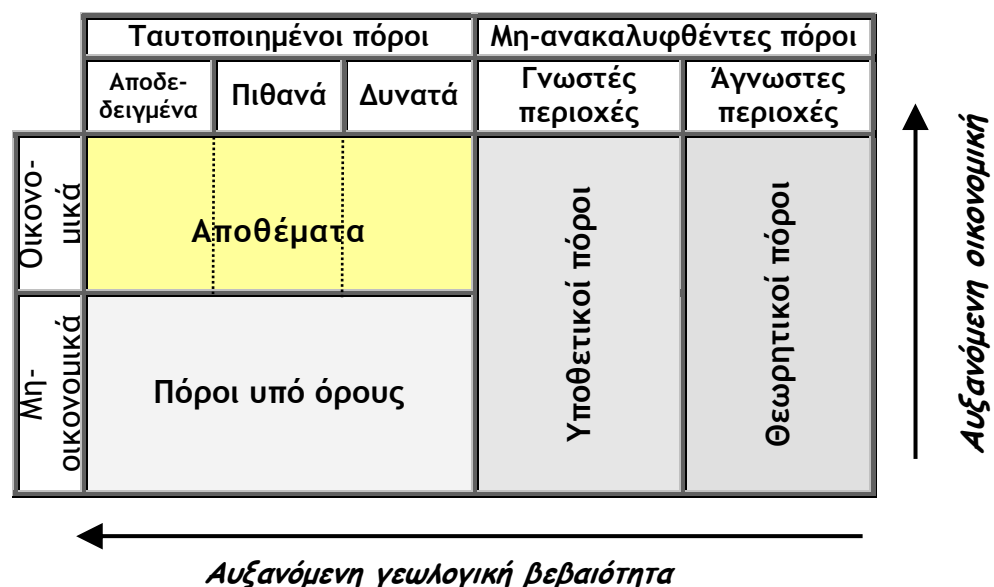


Σχήμα 1.8. Εκπομπές CO₂ (σε kg CO₂ ανά MWh παραγόμενης ενέργειας) από την καύση των ορυκτών καυσίμων.

Ως αποθέματα καυσίμων (*reserves*) καλούνται οι ποσότητες καυσίμων που έχουν ταυτοποιηθεί ύστερα από εμπειριστατωμένη γεωλογική έρευνα. Αντιπροσωπεύουν τις ποσότητες της ενεργειακής πηγής που είναι γνωστό ότι υπάρχουν και μπορούν να αξιοποιηθούν. Διακρίνονται σε *δυνατά* (*possible, inferred*), *πιθανά ή ενδεικτικά* (*probable - indicative*) και *αποδεδειγμένα ή μετρήσιμα* (*proven, measurable*) αποθέματα, ανάλογα με το πόσο σίγουροι είναι οι γεωλόγοι στις εκτιμήσεις τους (Σχήμα 1.9). Τα αποδεδειγμένα

αποθέματα αναφέρονται στα αποθέματα για τα οποία οι γεωλόγοι είναι σίγουροι ότι μπορούν να ανακτηθούν με τις επικρατούσες οικονομικές και τεχνολογικές συνθήκες. Πιθανά αποθέματα είναι εκείνες οι ποσότητες πόρων που μπορούν να ανακτηθούν από γνωστούς ταμειυτήρες με τη χρήση προηγμένων (και ακριβότερων) τεχνικών. Τέλος, δυνατά είναι τα αποθέματα που αναμένεται να βρεθούν σε συγκεκριμένα πεδία, αλλά δεν έχουν εκτιμηθεί οι ποσότητες. Σχεδόν κάθε χρόνο ανακαλύπτονται νέα αποθέματα, με συνέπεια η αναμενόμενη χρονική περίοδος εξάντλησης των αποθεμάτων ενός ορυκτού καυσίμου να μένει σχεδόν σταθερή τα τελευταία χρόνια (βλ. Σχήματα 3.8, 4.12 και 5.2). Οι ποσότητες των αποθεμάτων όχι μόνον αναθεωρούνται προς τα πάνω, αλλά μπορούν και να μειωθούν. Τα αποθέματα άνθρακα της Κίνας μειώθηκαν σχεδόν κατά 80% στο τέλος της δεκαετίας του 1980 ύστερα από νεώτερες μελέτες.

Η έννοια των **ενεργειακών πόρων (resources)** έχει ευρύτερη σημασία. Αναφέρεται στις ποσότητες μιας ενεργειακής πηγής που είναι γνωστές ή υποπτευόμαστε ότι υπάρχουν, ανεξάρτητα από το κόστος και το επίπεδο τεχνολογίας που απαιτείται. Για παράδειγμα, διάφοροι πόροι «υπό όρους» είναι γνωστοί, αλλά το σημερινό κόστος απόλυσής τους είναι απαγορευτικό.



Σχήμα 1.9. Σύγκριση μεταξύ αποθεμάτων και πόρων μιας εξαντλήσιμης ενεργειακής πηγής.

Τις περισσότερες φορές είναι δύσκολο να γίνουν αξιόπιστες εκτιμήσεις των ενεργειακών ορυκτών πόρων και οι εκτιμήσεις αυτές αυξάνονται ή μειώνονται ανάλογα με τις πληροφορίες που συγκεντρώνουμε. Κατά την εξερεύνηση κοιτασμάτων άνθρακα οι γεωλόγοι ανοίγουν ερευνητικές γεωτρήσεις σε απόσταση 3 km ή μία από την άλλη. Εάν δύο ερευνητικές γεωτρήσεις χτυπήσουν μία «φλέβα» άνθρακα, μπορεί να υποθεθεί ότι υπάρχει μια συνεχής φλέβα από τη μία γεώτρηση έως την άλλη, με μέσο πάχος αυτό που μετρήθηκε στις γεωτρήσεις. Συνεπώς, είναι πολύ εύκολο να γίνει είτε υποεκτίμηση (εάν το πάχος μεγαλώνει σε μια περιοχή) ή υπερεκτίμηση (εάν η φλέβα είναι ασυνεχής). Αν όμως ανορυχτούν περισσότερες ερευνητικές γεωτρήσεις σε μικρότερη απόσταση, τότε μπορεί να εκτιμηθεί το κοίτασμα με μεγαλύτερη βεβαιότητα και να πλησιάσουμε στα πραγματικά αποθέματα.

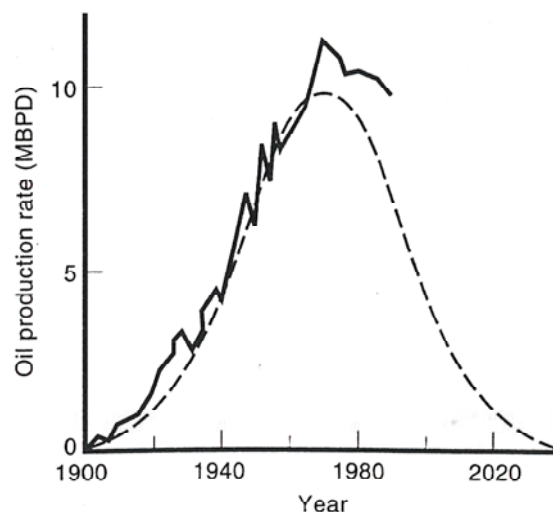
Προφανώς υπάρχει και η σχέση «ερευνητική προσπάθεια» και «κόστος». Καθώς η τιμή του πετρελαίου ανεβαίνει, υπάρχει ισχυρό κίνητρο να διατεθούν κεφάλαια για εξερεύνηση νέων περιοχών. Επίσης, καθώς μεταβάλλεται η τιμή του πετρελαίου (και βελτιώνεται η τεχνολογία) ορισμένοι «υπό όρους» πόροι μπορούν να μετατραπούν σε αποθέματα.

Ένας σημαντικός παράγοντας στην εκτίμηση της διάρκειας των εξαντλήσιμων ενεργειακών πόρων είναι ο ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης. Υπάρχουν πολλά είδη αυξήσεων, αλλά η μορφή της αύξησης που παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον στα ενεργειακά θέματα είναι η εκθετική, δηλαδή, όταν μια ποσότητα αυξάνει κάθε χρόνο με σταθερό ποσοστό.

Κάθε τύπος ορυκτών καυσίμων μετριέται όσον αφορά στην παραγωγή, κατανάλωση και αποθέματα με μονάδες κατάλληλες για τη φύση του καυσίμου. Ο άνθρακας μετριέται σε τόνους άνθρακα, το πετρέλαιο σε βαρέλια (bbl) και το φυσικό αέριο σε κυβικά μέτρα (ή ft³). Όλες οι μονάδες αυτές μπορούν να μετατραπούν σε μονάδες ενέργειας, ώστε να γίνει δυνατή η ενεργειακή σύγκρισή τους. Τέτοιες μονάδες είναι το GJ (=10⁹ J), το Quad (=10¹⁵ Btu) και ο ΤΙΠ (για τους ορισμούς των μονάδων αυτών, βλ. Παράρτημα Ι). Μια χρήσιμη προσεγγιστική σχέση για το χρόνο διπλασιασμού της ποσότητας των ορυκτών καυσίμων που έχουν χρησιμοποιηθεί με το ποσοστό ετήσιας αύξησης μπορεί να γραφεί ως

$$\text{Χρόνος διπλασιασμού (έτη)} = \frac{70 \text{ έτη}}{\% \text{ ρυθμός αύξησης}} \quad (1.2)$$

Προφανώς, η χρήση ενός ενεργειακού πόρου δεν μπορεί να αυξάνει συνεχώς, γιατί κάποια στιγμή θα εξαντληθεί. Τα χαρακτηριστικά της αύξησης και της πτώσης στη χρήση ενός ενεργειακού πόρου αναλύθηκαν αρχικά από τον Hubbert στη δεκαετία του 50. Αν και αυτή η ανάλυση υποτιμήθηκε αρχικά, η σημασία της καταδείχτηκε στη δεκαετία του 1970 με τις δύο ενεργειακές κρίσεις. Σε γενικές γραμμές, η χρήση ή αξιοποίηση ενός ενεργειακού πόρου παρουσιάζει αρχικά αύξηση. Καθώς τα αρίστης ποιότητας αποθέματα αρχίζουν να εξαντλούνται, η παραγωγή φτάνει σε ένα μέγιστο σημείο και κατόπιν μειώνεται μέχρι την πλήρη εξάντληση του πόρου. Σε πολλά σημεία, οι τύπου «καμπάνας» καμπύλες του Hubbert για το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο στις Η.Π.Α. δείχνουν να έχουν προβλέψει σχετικά καλά τη μέχρι τώρα εξέλιξη της παραγωγής τους. Στο Σχήμα 1.10 συγκρίνεται η εκτίμηση του Hubbert με την πραγματική παραγωγή αργού πετρελαίου στις Η.Π.Α.



Σχήμα 1.10. Σύγκριση μεταξύ εκτιμήσεων του Hubbert και πραγματικής παραγωγής πετρελαίου στις Η.Π.Α. (Hinrichs, 1996).

1.6 Το Ενεργειακό Πρόβλημα και η Αντιμετώπισή του

Το «Ενεργειακό Πρόβλημα» διατυπώθηκε αρχικά στις αρχές της δεκαετίας του 50, αλλά συνειδητοποιήθηκε με τραγικό τρόπο με τις ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970. Το πρόβλημα μπορεί να τεθεί με μια σειρά ερωτήσεων:

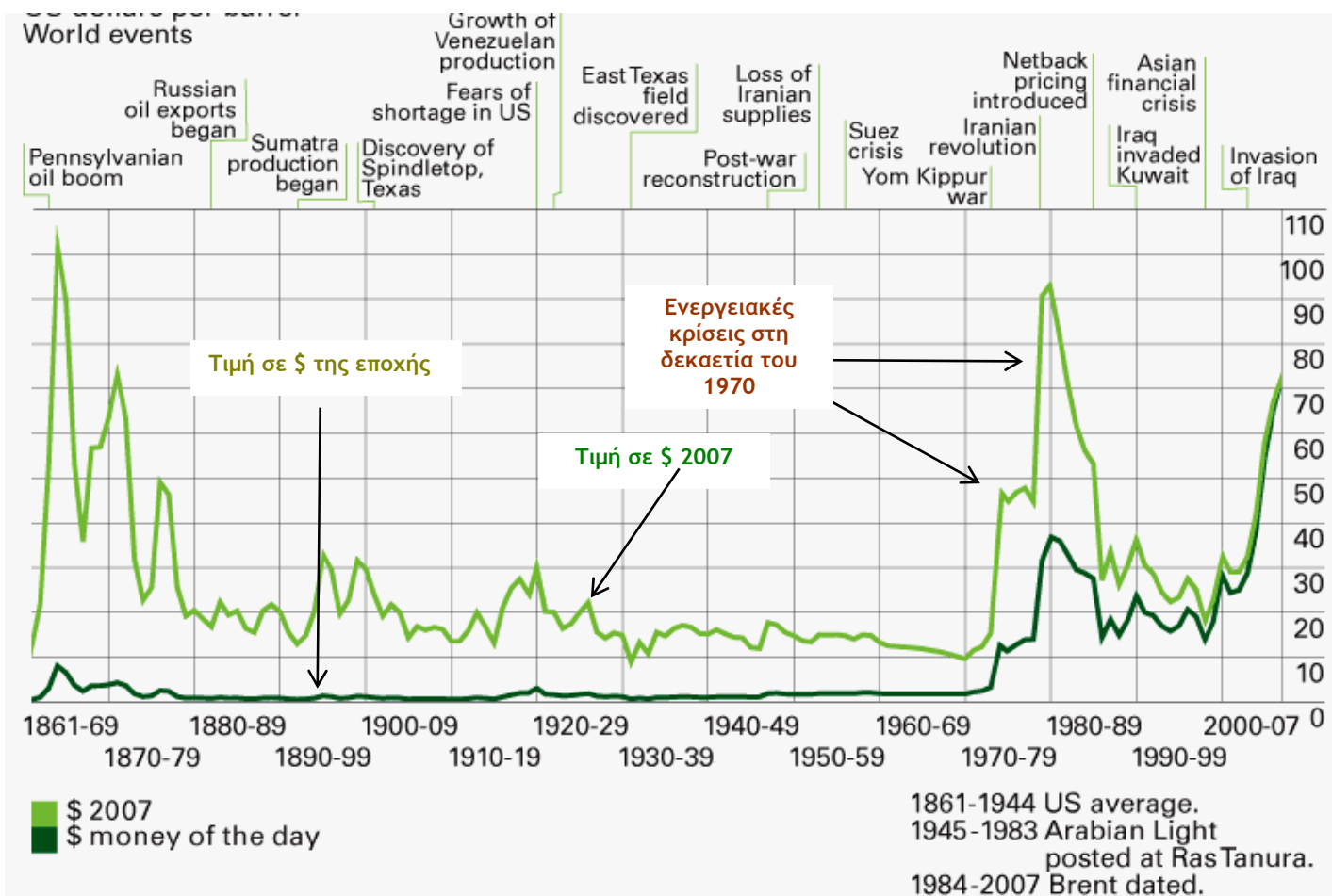
Αντιμετωπίζουμε εξάντληση των συμβατικών ενεργειακών πόρων;

Η ενεργειακή τροφοδοσία, αλλά και οι τιμές της ενέργειας, θα μείνουν σταθερές;

Επηρεάζει την ζωή μας η μεταβολή της τιμής των καυσίμων; (Η μεταβολή της τιμής του πετρελαίου σε τρέχουσες και σταθερές τιμές από την πρώτη γεώτρηση στην Πενσυλβάνια μέχρι σήμερα δίνεται στο Σχήμα 1.11.)

Ποιο είναι το μέλλον της πυρηνικής ενέργειας; Της πυρηνικής σχάσης και, ιδιαίτερα, της πυρηνικής σύντηξης που αποτελεί την ενεργειακή ελπίδα για την ανθρωπότητα;

Πως εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη παραγωγή ενέργειας χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο το μέλλον της ανθρωπότητας;



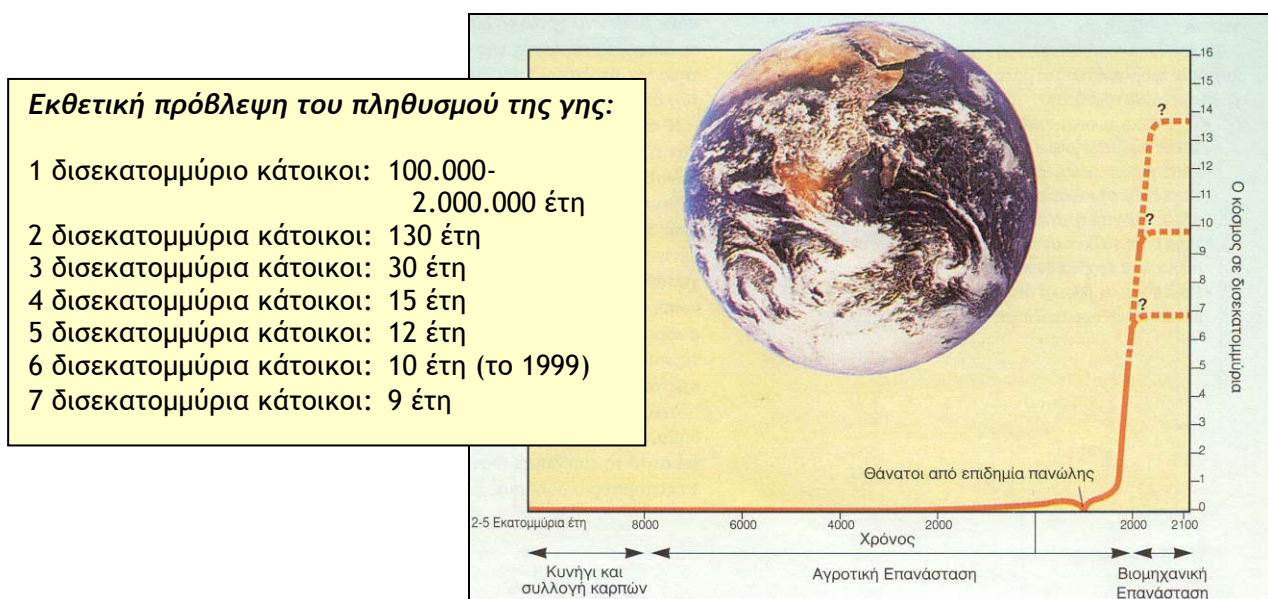
Σχήμα 1.11. Τιμή του αργού πετρελαίου σε δολάρια Η.Π.Α. ανά βαρέλι από το 1861 μέχρι σήμερα (Πηγή: BP statistical review of world energy, 2008).



Σχήμα 1.11α. Τιμή του αργού πετρελαίου brent σε δολάρια Η.Π.Α. ανά βαρέλι τους τελευταίους 12 μήνες, Σεπτ. 2007-Σεπτ. 2008. (Πηγή: www.oilnergy.com).

Η ευημερία μιας κοινωνίας, όπως εκφράζεται με το δείκτη του κατά κεφαλήν Ακαθάριστου Εγχωρίου Προϊόντος, σχετίζεται άμεσα με την κατανάλωση ενέργειας, όπως έχει ήδη παρουσιαστεί στο Σχήμα 1.6. Με την είσοδο στην νέα χιλιετία η ανθρωπότητα βρίσκεται αντιμέτωπη με ένα κυριολεκτικά πρωτοφανές ενεργειακό αδιέξοδο, το οποίο αποτελείται από τις παρακάτω αλληλοσυσχετιζόμενες συνιστώσες:

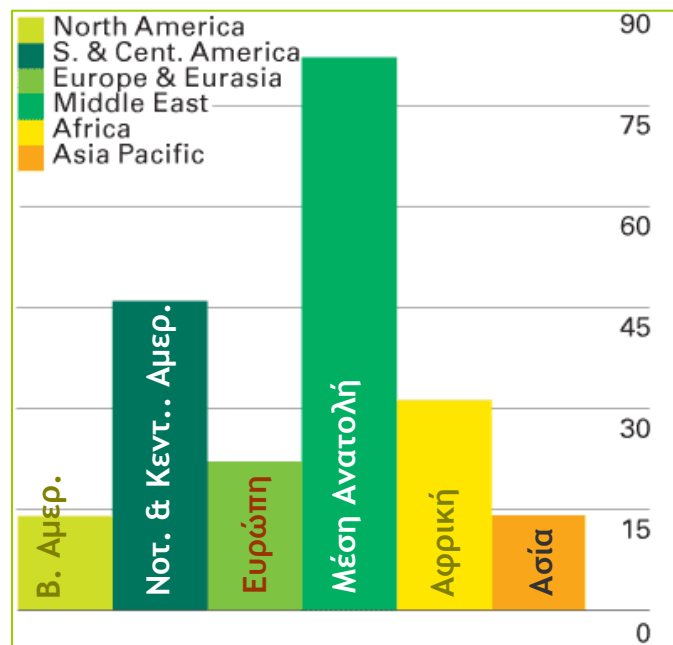
Ο πληθυσμός της Γης σήμερα έχει ξεπεράσει τα 6 δισεκατομμύρια και προβλέπεται ότι μπορεί να ξεπεράσει τα 10 δισεκατομμύρια σε 30 χρόνια (Σχήμα 1.12). Η συντριπτική πλειονότητα των ανθρώπων ζουν σε συνθήκες διαβίωσης που μπορούν να χαρακτηριστούν από μη ικανοποιητικές έως άθλιες. Η μέχρι σήμερα λογική για την ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου βασίσθηκε στην αλόγιστη χρήση μεγάλων ποσοτήτων, σχετικά φθηνών, ενεργειακών πόρων. Οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες σε παγκόσμια κλίμακα έχουν ξεπεράσει το τεράστιο μέγεθος των περίπου 10×10^9 ΤΙΠ (για το ορισμό του ΤΙΠ, βλ. Παράρτημα Ι) και παρά την πρόσκαιρη στασιμότητα στη δεκαετία του 90, λόγω της οικονομικής ύφεσης στις πρώην Ανατολικές χώρες, στα επόμενα έτη προβλέπεται σημαντική αύξηση.



Σχήμα 1.12. Η αύξηση του πληθυσμού της γης σε σχήμα J με προβλέψεις μέχρι το 2100 (Tyler-Miller, 2000).

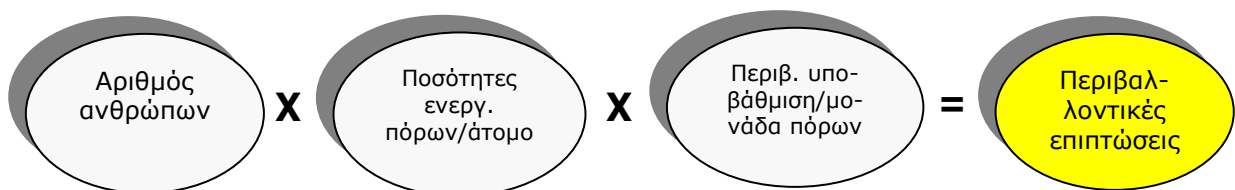
Σχεδόν το 87% των αναγκών της ανθρωπότητας σε ενέργεια προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (fossil fuels), δηλαδή γαιανθράκων, αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αποτέλεσμα αυτής της χρήσης είναι οι τεράστιες ποσότητες CO₂ (καθώς και άλλων ανεπιθύμητων συστατικών) που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα και οι οποίες συνεισφέρουν στο λεγόμενο «φαινόμενο του θερμοκηπίου», το οποίο θα αναλυθεί εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Μια άλλη διάσταση του προβλήματος αποτελεί η εξαντλησιμότητα των ορυκτών καυσίμων και η μη «δημοκρατική» κατανομή τους: λίγες χώρες διαθέτουν σχεδόν όλα τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων, όπως καταδεικνύεται για πετρέλαιο στο Σχήμα 1.13. Με τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης το πετρέλαιο αναμένεται να διαρκέσει μόνο για τα επόμενα 41 χρόνια και το φυσικό αέριο για τα επόμενα 65 χρόνια (στοιχεία BP, 2006).



Σχήμα 1.13. Παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου ανά περιοχή. Πηγή: BP report, 2008.

Η αύξηση του πληθυσμού της γης και η θεμιτή προσπάθεια των αναπτυσσόμενων χωρών για αύξηση του βιοτικού τους επιπέδου θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, με συνέπεια τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική υποβάθμιση, όπως μπορεί εύκολα κανείς να συμπεράνει από το απλοποιημένο μοντέλο για την περιβαλλοντική υποβάθμιση που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.14.



Σχήμα 1.14. Απλοποιημένο μοντέλο για το πως τρεις παράγοντες (πληθυσμός, ευμάρεια και τεχνολογία) επιδρούν στην περιβαλλοντική υποβάθμιση.

Ως συνέπεια των παραπάνω προβλημάτων τίθεται επιτακτικά το ερώτημα, ποιες μπορεί να είναι οι πιθανές και βιώσιμες λύσεις στο τεράστιο αυτό πρόβλημα, του οποίου οι επιπτώσεις άρχισαν ήδη να γίνονται απειλητικές για τον πλανήτη μας.

Ως προσωρινές και μόνο λύσεις και ως μερική αντιμετώπιση του προβλήματος μπορεί να θεωρηθούν η υποκατάσταση του γαιάνθρακα από το φυσικό αέριο, η ανάπτυξη της τεχνολογίας ώστε να γίνει δυνατή η ανακάλυψη νέων και η αξιοποίηση «δύσκολων» κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου (πλήρης απόληψη του πετρελαίου από τα κοιτάσματα, κοιτάσματα σε μεγάλα βάθη, κάτω από θάλασσα, βιτουμειούχοι σχίστες κτλ.). Επίσης μπορεί να δοθεί έμφαση στις λεγόμενες «καθαρές» τεχνολογίες των γαιανθράκων. Δεν είναι λίγοι και αυτοί που προβάλλουν ως μία άλλη κατεύθυνση (από τις πολλές που διατυπώνονται) στην αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος την περαιτέρω ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας (σχάσης), αν και από ότι φαίνεται η τραγωδία του Τσερνομπίλ δεν θα ξεχαστεί εύκολα.

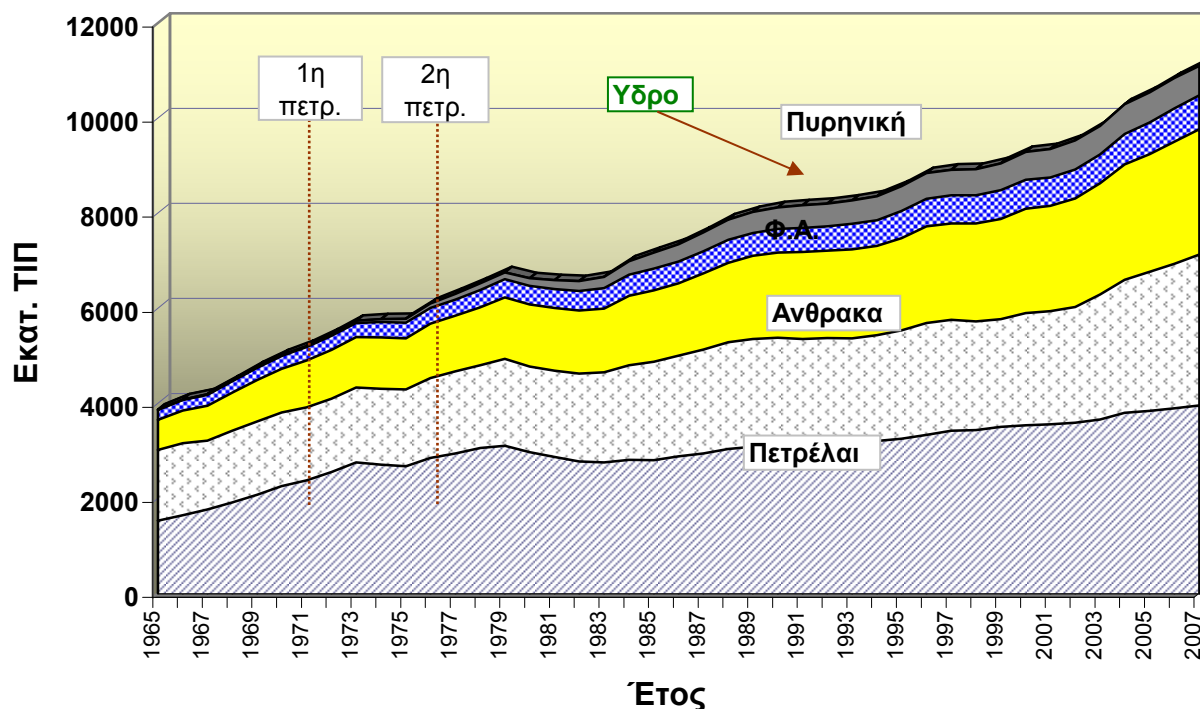
Αναμφισβήτητα, όμως, δύο είναι οι γενικές κατευθύνσεις που μπορούν να δώσουν τουλάχιστο μερική λύση στο να τεθεί υπό έλεγχο το περιβαλλοντικό πρόβλημα και να κληρονομήσουν και οι επόμενες γενιές αξιόλογες ποσότητες ορυκτών καυσίμων. Οι κατευθύνσεις αυτές είναι:

(α) Η ορθολογική χρήση της ενέργειας, δηλαδή η βελτίωση του βαθμού απόδοσης των ενεργειακών μετατροπών, η μείωση των απωλειών θερμότητας, η αντικατάσταση ενεργοβόρων διεργασιών και συσκευών κτλ.

(β) Υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Για να επιτευχθεί η σταθερότητα του παγκόσμιου κλίματος απαιτείται η υποκατάσταση τουλάχιστον του 50% της τωρινής χρήσης των ορυκτών καυσίμων.

1.7 Κατανάλωση ενέργειας σε κόσμο και Ελλάδα

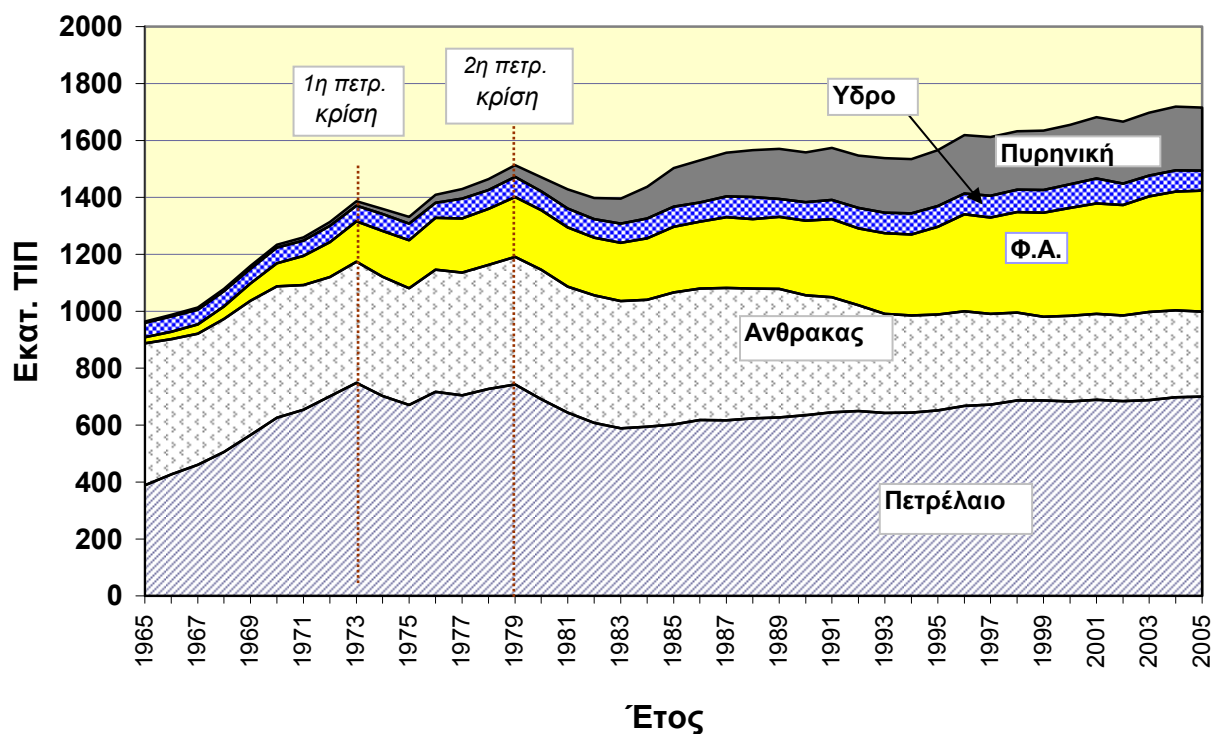
Η εξέλιξη της συνολικής παγκόσμιας παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας (total primary energy supply, TRES) τα τελευταία 39 χρόνια παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.15. Από το 1965 μέχρι το 2005 η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε περίπου 2,7 φορές (ενώ ο πληθυσμός της γης περίπου διπλασιάστηκε σε αυτό το διάστημα). Η αύξηση που παρατηρήθηκε τα τελευταία 10 χρόνια (1986-2005), μετά δηλαδή από τη Διάσκεψη του Rio de Janeiro το 1992, ανέρχεται στο υψηλό ποσοστό του 20%. Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση στον κόσμο αυξανόταν από το 1974 μέχρι στο 1992 σχεδόν κατά 2% κάθε χρόνο. Αντίθετα, στη δεκαετία του 90 η αύξηση είναι μικρότερη, αν και από το 2000 η κατανάλωση άρχισε να αυξάνει και πάλι σημαντικά. Μόλις σε ένα έτος, 2004-2005,, η αύξηση ανήλθε στο 2,7%. Η στασιμότητα της περασμένης δεκαετίας οφειλόταν κυρίως στην οικονομική ύφεση στις πρώην ανατολικές χώρες. Θα πρέπει να προσθέσουμε ότι αυτά τα δεδομένα μπορεί να διαφοροποιούνται σε κάποιο μικρό ποσοστό ανάλογα με τον οργανισμό ή την εταιρία που τα παρουσιάζει, ιδιαίτερα όσον αφορά στα στατιστικά δεδομένα των ΑΠΕ και τη συνεισφορά της «μη-εμπορικής» βιομάζας, που αποτελεί την κύρια πρωτογενή μορφή ενέργειας στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες. Γενικά, η κατανάλωση ενέργειας αυξάνει συστηματικά, με δύο μικρές εξαιρέσεις: τη χρονική περίοδο αμέσως μετά τις δύο ενεργειακές κρίσεις του 1973 και του 1979.



Σχήμα 1.15. Εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας σε εκατομμύρια ΤΙΠ κατά την περίοδο 1965-2008. Δεν συμπεριλαμβάνονται τα μη-εμπορεύσιμα καύσιμα, όπως Βιομάζα, απόβλητα ζώων, τύρφη κτλ. καθώς και οι ΑΠΕ εκτός από την υδροϊσχύ (Πηγή: BP statistical review, 2008).

Το Σχήμα 1.15 παρουσιάζει επίσης και την εξέλιξη της κατανομής των διάφορων πρωτογενών μορφών ενέργειας στη συνολική κατανάλωση ενέργειας στον κόσμο, ενώ η αντίστοιχη κατανομή για την Ευρώπη παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.16. Το Σχήμα 1.17 δίνει παραστατικά την κατανομή των πρωτογενών μορφών ενέργειας για το 2005. Το πετρέλαιο παραμένει (και θα παραμείνει για αρκετά ακόμη χρόνια) το κυριότερο καύσιμο με συμμετοχή περίπου 36,4% στον κόσμο και ~40% στην Ε.Ε. Τα στερεά καύσιμα βρίσκονται στη δεύτερη θέση, αλλά η παραγωγή φυσικού αερίου αυξάνει συστηματικά και σε λίγα χρόνια θα ξεπεράσει την παραγωγή των στερεών καυσίμων. Στην Ε.Ε. αυτή η αλλαγή συνέβη το 1994. Τέλος, οι ΑΠΕ συμμετέχουν με ποσοστό μικρότερο του 10%, ενώ αν συνεκτιμηθεί και η μη-εμπορεύσιμη βιομάζα (ενεργειακή μορφή ιδιαίτερα σημαντική στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες), το ποσοστό της οποίας δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί σε παγκόσμια κλίμακα, το ποσοστό αυτό μπορεί να ανέλθει μέχρι και το 14%, όπως εκτιμούν άλλοι αναλυτές. Τέλος, η κατανομή των πρωτογενών ενεργειακών πηγών στην παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος παγκόσμια για το 2001 παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.18.

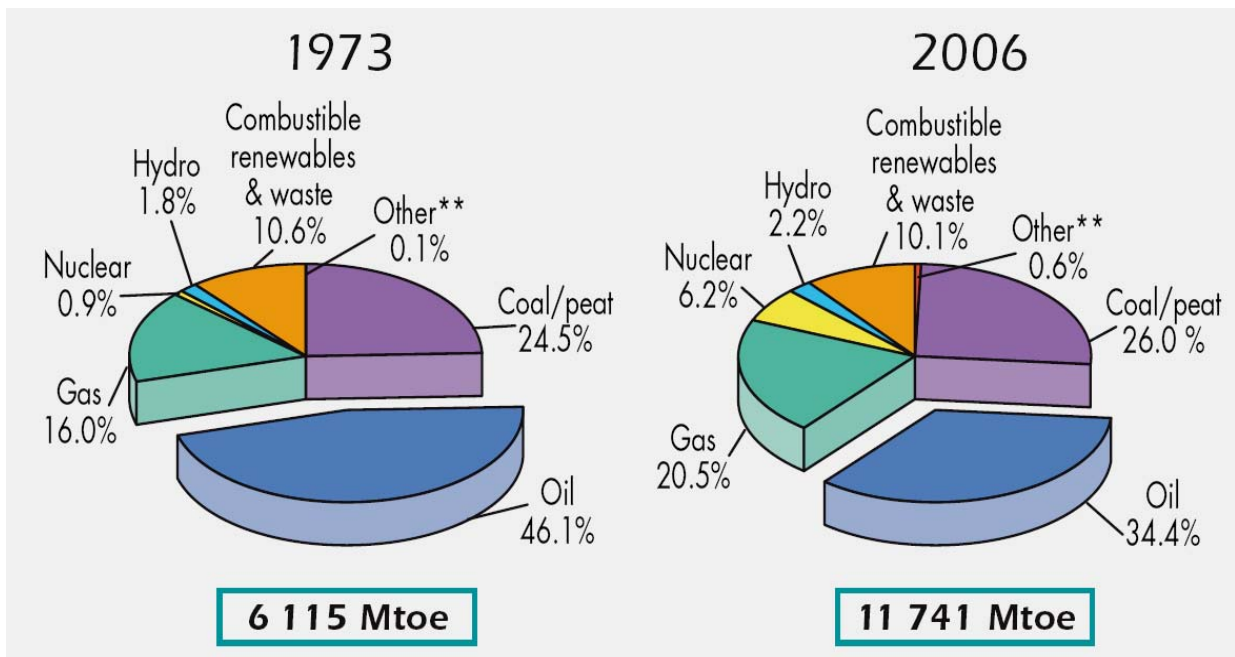
Σύμφωνα με άλλους οργανισμούς, η συνεισφορά των μη εμπορεύσιμων βιοκαυσίμων και των άλλων ΑΠΕ μπορεί να φτάνει και το 10% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης. Για το 1999, το World Resources Institute εκτιμά τη συνεισφορά αυτή στο 10,8% (<http://earthtrends.wri.org/>).



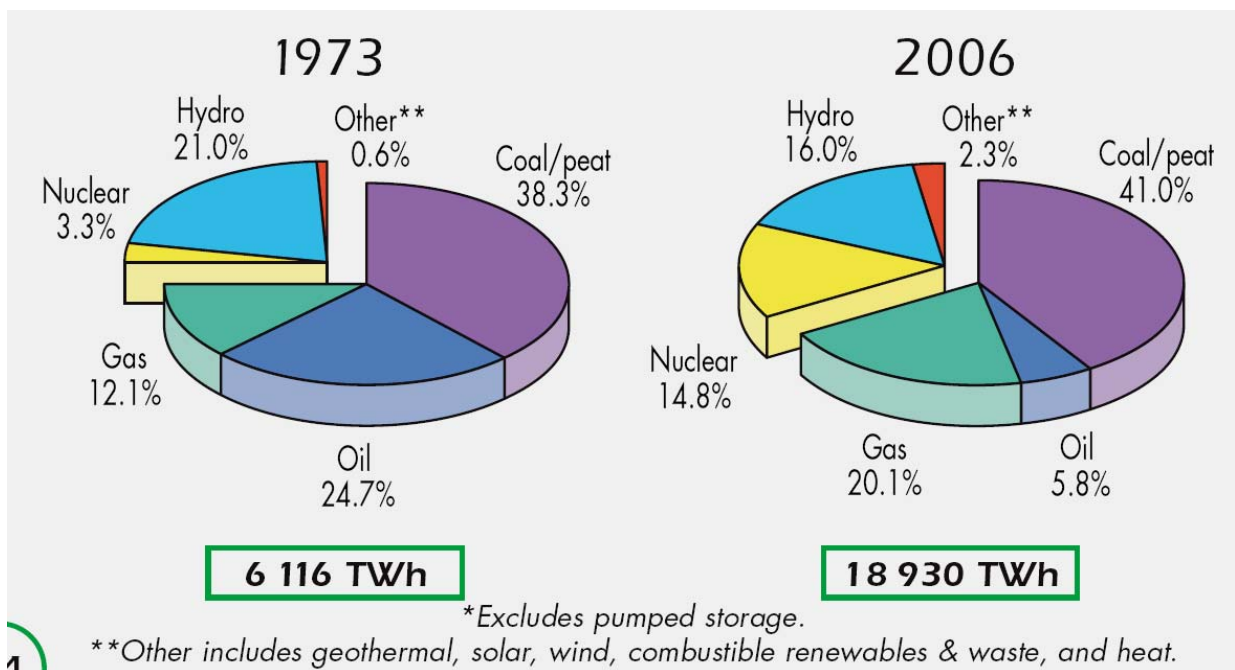
Σχήμα 1.17. Εξέλιξη της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας στην Ε.Ε. (των 25 χωρών) σε εκατομμύρια ΤΙΠ. Δεν συμπεριλαμβάνονται τα μη-εμπορεύσιμα καύσιμα, όπως βιομάζα, απόβλητα ζώων, τύρφη κτλ. (Πηγή: BP statistical review, 2006.)

Σε μία χώρα δύο είναι οι κυριότεροι ενεργειακοί δείκτες: η κατά κεφαλήν ενεργειακή κατανάλωση και η ένταση ενέργειας. Η ένταση ενέργειας ορίζεται ως ο λόγος της ενεργειακής κατανάλωσης προς κάποιο δείκτη οικονομικής δραστηριότητας. Στην περίπτωση της έντασης ενέργειας κάποιας χώρας, ο λόγος είναι ανάμεσα στη Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας προς το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ, gross domestic product, GNP) της χώρας, συνήθως σε μονάδες MJ/\$US. Σημειώνεται ότι ο δείκτης αυτός θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με τη δέουσα προσοχή. Το ΑΕΠ αποτελεί τη συνολική αξία σε χρηματικές μονάδες των τελικών αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται σε μία χώρα σε ένα έτος από όσους βρίσκονται εντός της επικράτειας.

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό η απόλυτη κατανάλωση ενέργειας μιας χώρας από μόνη της πιθανόν να μη λέει πολλά πράγματα. Η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας αποτελεί ίσως σημαντικότερο μέγεθος, που μπορεί να υποκρύπτει αρκετά πράγματα. Κατ' αρχήν, η υψηλότερη κατά κεφαλήν κατανάλωση συνδέεται σαφώς με την οικονομική ευημερία μιας χώρας, όπως παρουσιάστηκε στο Σχήμα 1.6. Επίσης, μπορεί να υπονοηθεί ότι οι μικρές κατά κεφαλήν καταναλώσεις ενέργειας των αναπτυσσόμενων χωρών αναπόφευκτα θα αυξηθούν στο μέλλον, με επιδείνωση προφανώς των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Από την άλλη μεριά, για τις αναπτυγμένες χώρες οι δείκτες αυτοί μπορούν να υπονοήσουν το δυναμικό μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας.



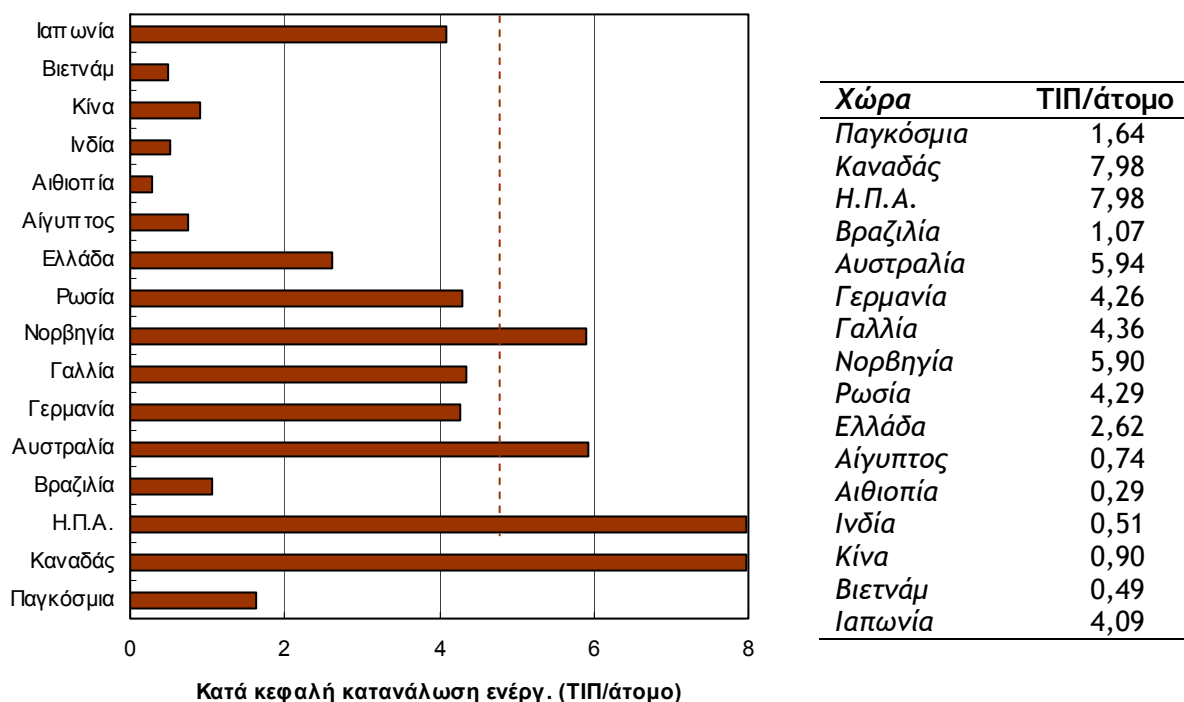
Σχήμα 1.17. Κατανομή της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ανά μορφή ενέργειας κατά το 1973 και 2006. Πηγή: IEA Key World Energy Statistics 2008.



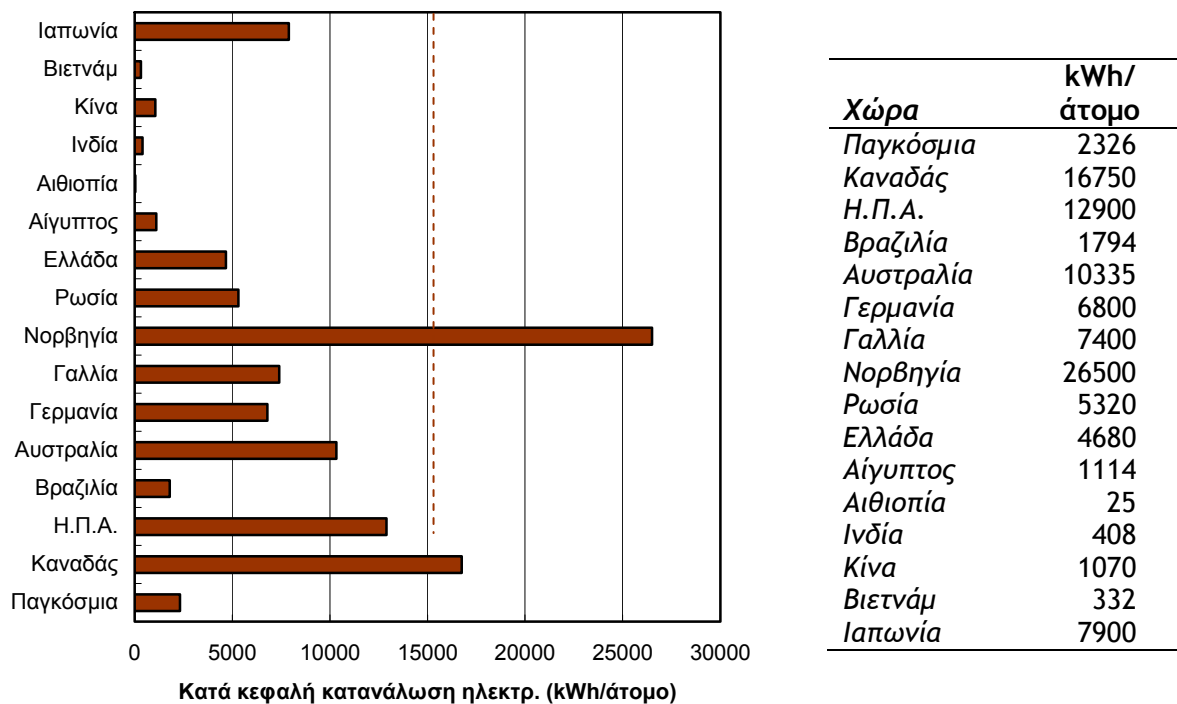
Σχήμα 1.18. Κατανομή πρωτογενών πηγών ενέργειας στη συνολική παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το 1973 και 2006. Πηγή: IEA Key World Energy Statistics 2008.

Τα Σχήματα 1.19 και 1.20 παρουσιάζουν την κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας και ηλεκτρισμού, αντίστοιχα, ορισμένων αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών. Βεβαίως, γεωγραφικές και κλιματολογικές διαφοροποιήσεις μπορούν να εξηγήσουν εν μέρει τη διαφορά στην ενεργειακή χρήση των διαφόρων χωρών. Για παράδειγμα, η Ιαπωνία και οι χώρες της Δυτικής Ευρώπης, αν και κλιματικά δεν διαφέρουν σημαντικά από τις Η.Π.Α., είναι περισσότερο πυκνοκατοικημένες και ως εκ τούτου έχουν μικρότερο κόστος μεταφορών. Συγχρόνως όμως, έχουν προωθήσει μέτρα για την αποτελεσματικότερη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς και ιδίως των σιδηροδρόμων. Η περίπτωση της Νορβηγίας είναι

ιδιαίτερη. Εκτός από τις ιδιάζουσες κλιματικές συνθήκες, η Νορβηγία καλύπτει σχεδόν όλες τις ανάγκες θέρμανσης με ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στο σύνολό της σχεδόν προέρχεται από τη «φθηνή» υδραυλική ενέργεια.



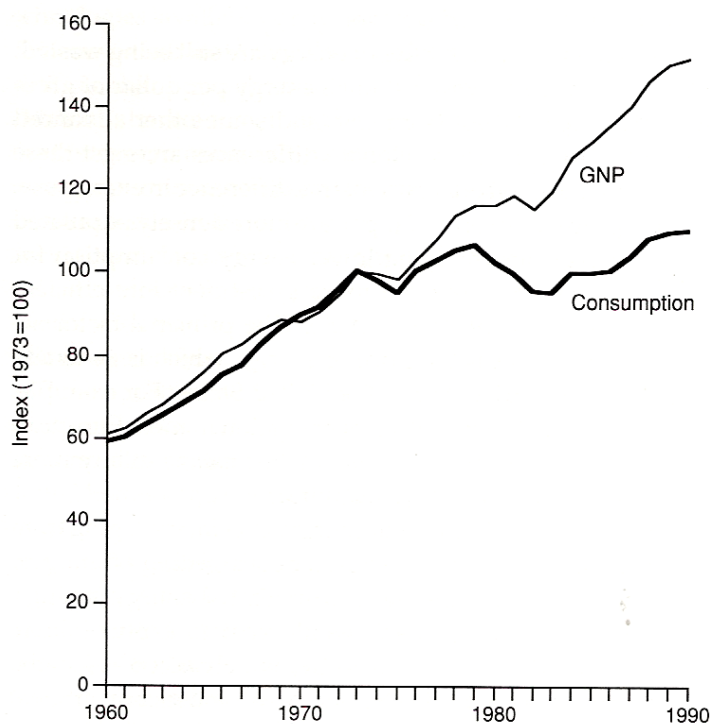
Σχήμα 1.19. Κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας ορισμένων χωρών. (Πηγή: Key World Energy Statistics from the IEA, 2003).



Σχήμα 1.20. Κατά κεφαλήν ετήσια κατανάλωση ηλεκτρισμού ορισμένων χωρών. (Πηγή: Key World Energy Statistics from the IEA, 2003)

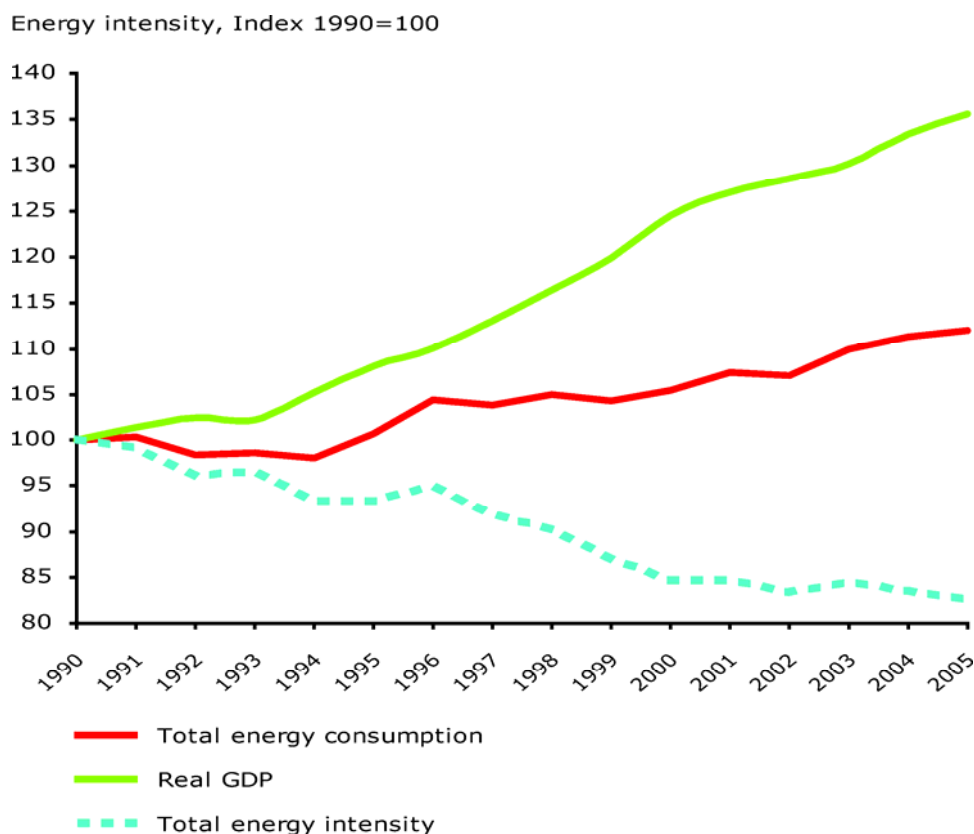
Σχεδόν σε όλες τις χώρες, οι δύο ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 70 έκρουσαν τον κώδωνα του κινδύνου αναφορικά με την αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας. Μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, μία μικρή «επανάσταση» άρχισε να πραγματοποιείται σχετικά με την ενεργειακή απόδοση και την ορθολογικότερη χρήση της ενέργειας, κυρίως στις αναπτυγμένες χώρες, όπως καταδεικνύεται για τις Η.Π.Α. στο Σχήμα 1.21.

Για δύο δεκαετίες πριν από το 1973, η ενεργειακή κατανάλωση συσχετιζόταν πλήρως με την οικονομική ανάπτυξη της χώρας (Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν). Από το 1973 μέχρι το 1986, αυτό το πρότυπο διαφοροποιήθηκε δραστικά και, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση παρέμενε προσεγγιστικά σταθερή, η οικονομία αναπτύχθηκε κατά 40% (σε σταθερές τιμές). Με άλλα λόγια, η ένταση ενέργειας των Η.Π.Α. μειώθηκε κατά 40% στο παραπάνω χρονικό διάστημα. Τα αρχικά σπασμωδικά μέτρα για ενεργειακές περικοπές αντικαταστάθηκαν από μακρόχρονα σχέδια για εξοικονόμηση ενέργειας, ορθολογική χρήση των ενεργειακών πόρων και διεύθυνση των ΑΠΕ, με αποτέλεσμα τη συνεχή μείωση της έντασης ενέργειας. Το μεγαλύτερο ίσως μέρος από τη βελτίωση του μεγέθους αυτού οφειλόταν στη βελτιωμένη απόδοση των αυτοκινήτων, των οικιακών συσκευών, των κλιματιστικών συστημάτων κτλ. Μέρος όμως της βελτίωσης οφειλόταν και στη συνειδητοποίηση των πολιτών σχετικά με την αλόγιστη σπατάλη της ενέργειας. Προφανώς οι υψηλές τιμές των καυσίμων αποτέλεσαν τον κινητήριο μοχλό της αύξησης της απόδοσης των συσκευών και της μείωσης της κατανάλωσης από τους πολίτες, αλλά σημαντικό ρόλο έπαιξαν και τα κίνητρα που θέσπισαν οι διάφορες κυβερνήσεις. Στις Η.Π.Α. και αλλού τα κίνητρα αυτά άρχισαν να ατονούν ή και να αναιρούνται μετά την επαναφορά των τιμών του πετρελαίου σε «κανονικά» επίπεδα στη δεκαετία του 1980. Αναλυτές υποστηρίζουν ότι αν δεν υπήρχε αυτή η «χαλάρωση» των μέτρων, το σημερινό τεχνολογικό επίπεδο των ΑΠΕ και της εξοικονόμησης ενέργειας θα ήταν αρκετά υψηλότερο.



Σχήμα 1.21. Συσχέτιση της κατανάλωσης της ενέργειας και της οικονομίας των Η.Π.Α. από το 1960 μέχρι το 1990 (Πηγή: Brower, 1997).

Το Σχήμα 1.22 παρουσιάζει την εξέλιξη της οικονομίας και της κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 1990 μέχρι το 2000 με βάση τα στοιχεία του 1990. Και εδώ παρατηρείται μία σταδιακή βελτίωση της έντασης της ενέργειας, ως συνέχεια από τη δεκαετία του '80.



Σχήμα 1.22. Συσχέτιση της κατανάλωσης της ενέργειας και της οικονομίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το 1990 μέχρι το 2005 (Πηγή: European Environmental Agency).

Οι διάφορες τελικές χρήσεις της ενέργειας ταξινομούνται συνήθως στους παρακάτω τομείς:

- (1) Οικιακός τομέας (θέρμανση, μαγείρεμα, κλιματισμός, θερμό νερό, φωτισμός κτλ.).
- (2) Εμπορικός τομέας (και άλλες τριτογενείς δραστηριότητες). Μερικές φορές οι δύο πρώτοι τομείς αναφέρονται μαζί.
- (3) Βιομηχανικός τομέας (χημική, μηχανουργική, μεταλλουργική και άλλες βιομηχανίες, εξόρυξη ορυκτών και καυσίμων, βιομηχανία τροφίμων κτλ. Δεν περιλαμβάνεται η ενέργεια που καταναλώνεται στη μεταφορά των πρώτων υλών και των προϊόντων.)
- (4) Τομέας μεταφορών (δεν περιλαμβάνονται τα καύσιμα για ορισμένες δραστηριότητες, όπως το ψάρεμα, αλλά περιλαμβάνονται τα καύσιμα για τη μεταφορά πρώτων υλών και προϊόντων της βιομηχανίας).

Σε γενικές γραμμές, οι λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες χρησιμοποιούν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που καταναλώνουν για οικιακούς σκοπούς. Αντίθετα, οι αναπτυγμένες χώρες χρησιμοποιούν σημαντικό μέρος της ενέργειας για την ανάπτυξη της βιομηχανίας. Αν ληφθούν μαζί ο οικιακός και ο εμπορικός τομέας, τότε προσεγγιστικά η καταναλισκόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται ισόποσα στους τρεις κύριους τομείς, με τον τομέα των μεταφορών

να κυριαρχεί τα τελευταία χρόνια. Οι γεωγραφικές και οι κλιματολογικές συνθήκες, το επίπεδο εκβιομηχάνισης κτλ. επηρεάζουν προφανώς τη συμμετοχή των διαφόρων τομέων. Και στους τέσσερις τομείς υπάρχει σημαντικό περιθώριο για εξοικονόμηση ενέργειας.

Η κατανάλωση ενέργειας στην Ε.Ε. τα τελευταία χρόνια αυξάνεται και αυτή με μικρό ρυθμό (λίγο μικρότερο του 1%, Σχήμα 1.20), αν και στις αρχές της δεκαετίας του 90 (1990-1995) φαινόταν να σταθεροποιείται. Περίπου το ένα τρίτο της ενέργειας που καταναλίσκεται στην Ε.Ε. χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία (>550 ΜΤΙΠ/έτος), ενώ περίπου το 50% της ενέργειας αυτής χρησιμοποιείται με τη μορφή θερμότητας σε διάφορες διεργασίες. Η καταναλισκόμενη ενέργεια στη βιομηχανία παρουσίασε συστηματική μείωση από το 1974 μέχρι το 2000. Αυτή η εξέλιξη αντιστοιχεί σε σημαντική βελτίωση της έντασης ενέργειας στη βιομηχανία περισσότερο του 40% για το διάστημα 1974-2000. Η βελτίωση της έντασης ενέργειας στο παραπάνω χρονικό διάστημα οφείλεται τόσο σε σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις, όσο και σε δομικές αλλαγές της ευρωπαϊκής βιομηχανίας. Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι αυξήθηκε η συμμετοχή του φυσικού αερίου και του ηλεκτρισμού στο ισοζύγιο της βιομηχανικής ενέργειας, εις βάρος των στερεών καυσίμων και του πετρελαίου.

Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

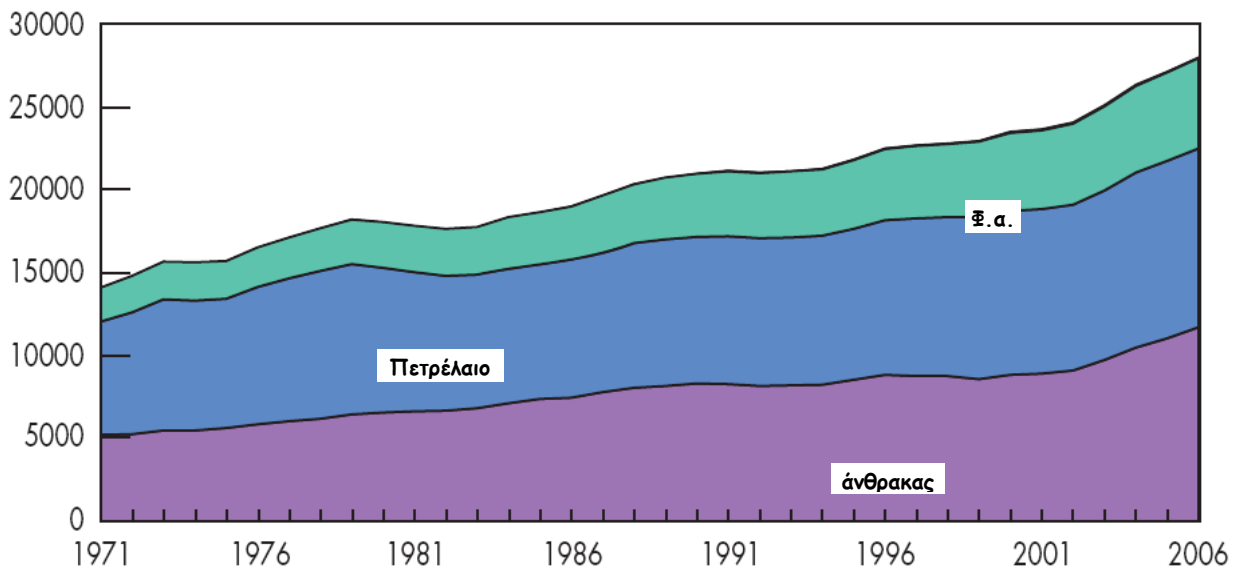
Οι εκπομπές CO₂ ακολουθούν κατά κάποιο τρόπο τις μεταβολές στη ενεργειακή κατανάλωση (Σχήμα 1.23 και Πίνακας 1.8), αλλά σε κάπως μικρότερο βαθμό, λόγω της χρήσης αποδοτικότερων συσκευών, μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, υποκατάστασης του γαιάνθρακα από το φυσικό αέριο και της δειλής διεύθυνσης των ΑΠΕ. Η συμμετοχή των ορυκτών καυσίμων στις εκπομπές του διαφοροποιήθηκε κάπως από το 1971 στο 2001, με την υποχώρηση του ποσοστού του πετρελαίου και την αύξηση του ποσοστού του φυσικού αερίου (Σχήμα 1.24).

Πίνακας 1.8. Μεταβολή των εκπομπών CO₂ από κατανάλωση και καύση ορυκτών καυσίμων από 1989 σε 1998 σε επιλεγμένες χώρες και στον κόσμο.

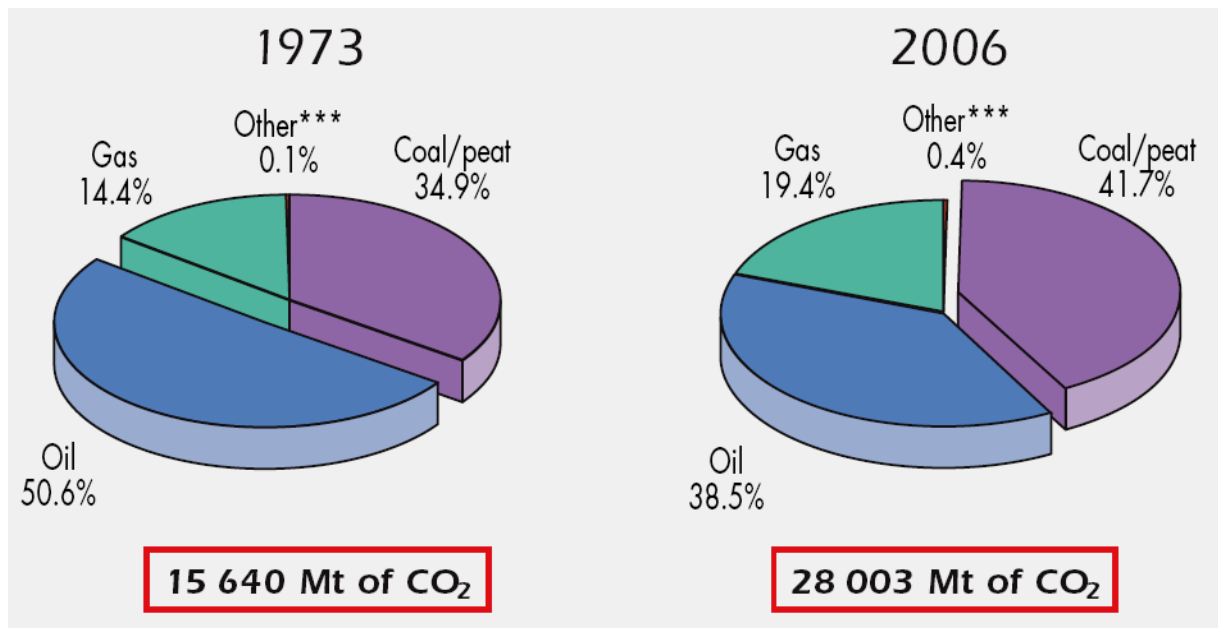
Μεταβολή % από 1989 σε 1998	Παγκόσμια	5,3
	ΗΠΑ	9,4
	Δυτική Ευρώπη	0,4
	Πρώην ΣΕ	-38,8
	Κίνα	21,3

Όπως και στην παραγωγή ενέργειας, υπάρχουν ορισμένοι δείκτες που βοηθούν στην αξιολόγηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Οι δείκτες αυτοί είναι η κατά κεφαλήν ποσότητα εκπομπών CO₂, ο λόγος της ποσότητας CO₂ που εκπέμπεται ανά παραγόμενη ενέργεια και η ένταση άνθρακα. Ένταση άνθρακα (carbon intensity) είναι ο λόγος των ποσοτήτων CO₂ που εκπέμπονται ανά δολάριο του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (συχνά διορθωμένου ως προς την αγοραστική αξία του). Ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος στις υπό ανάπτυξη χώρες από ό,τι στις αναπτυγμένες χώρες, μειώνεται σταθερά τα τελευταία χρόνια στις περισσότερες χώρες (λόγω υποκατάστασης του γαιάνθρακα από το φυσικό αέριο) και αναμένεται να μειωθεί και άλλο. Τα Σχήματα 1.25-27 παρουσιάζουν τους δείκτες αυτούς για επιλεγμένες χώρες, συμπεριλαμβανομένης της χώρας μας.

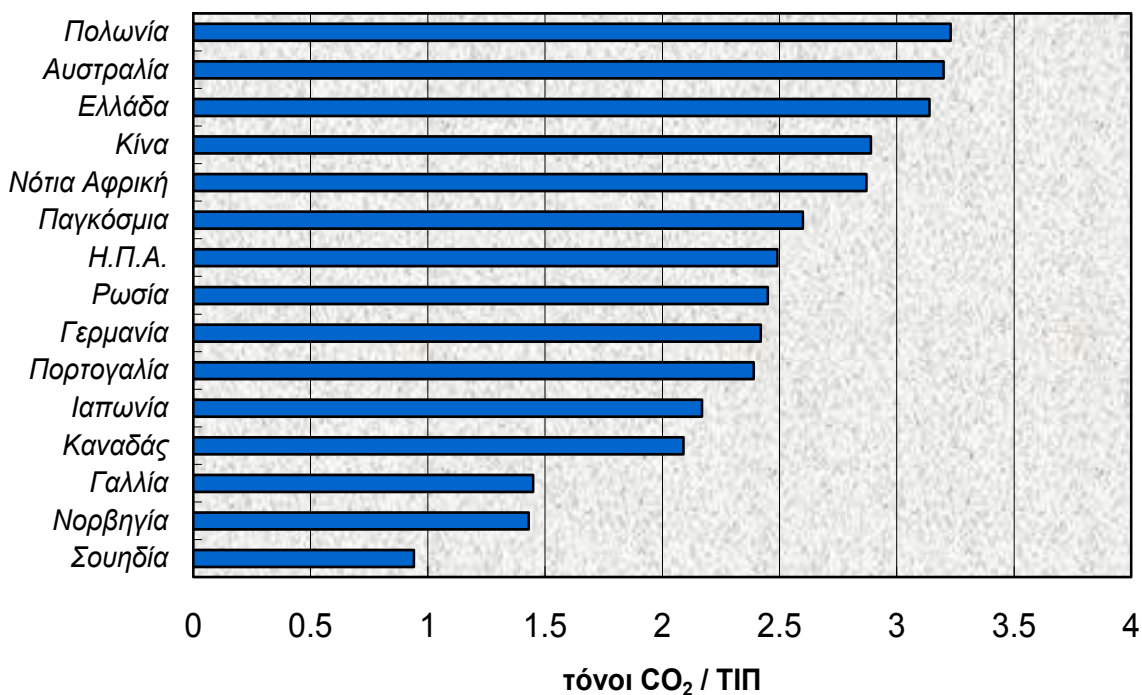
Όπως είναι γνωστό, το 1997 υπογράφηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο για τον έλεγχο των εκπομπών CO₂ από τις αναπτυγμένες κυρίως χώρες, που προβλέπει τη σταθεροποίηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου για την περίοδο 2008-2012 στο 95% των εκπομπών του 1990. Μέχρι σήμερα (Σεπτέμβριος 2008) περισσότερες από 183 χώρες έχουν επικυρώσει το πρωτόκολλο, μεταξύ των οποίων η Ε.Ε., Ρωσία, η Ιαπωνία, ο Καναδάς, η Ινδία, η Νέα Ζηλανδία κ.α., χώρες αντιπροσωπεύουν το 55% των εκπομπών των αερίων του CO₂ κατά το 1990.



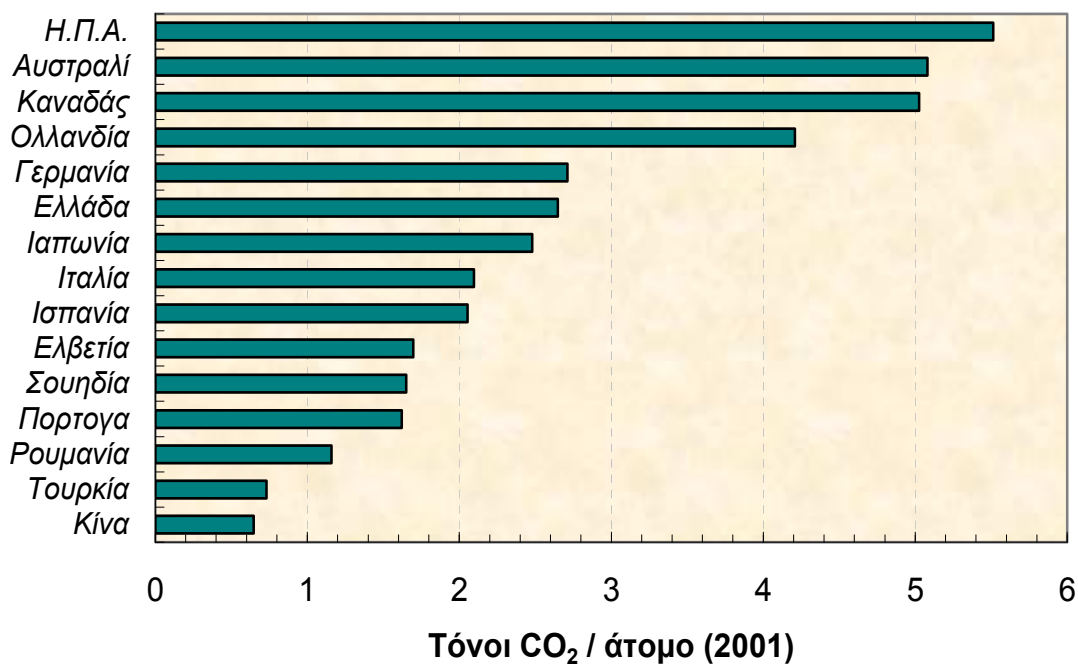
Σχήμα 1.21. Εξέλιξη των εκπομπών CO₂ σε τόνους αερίου ανά έτος από την κατανάλωση και καύση ορυκτών καυσίμων στον κόσμο. Πηγή: IEA Key World Energy Statistics 2008.



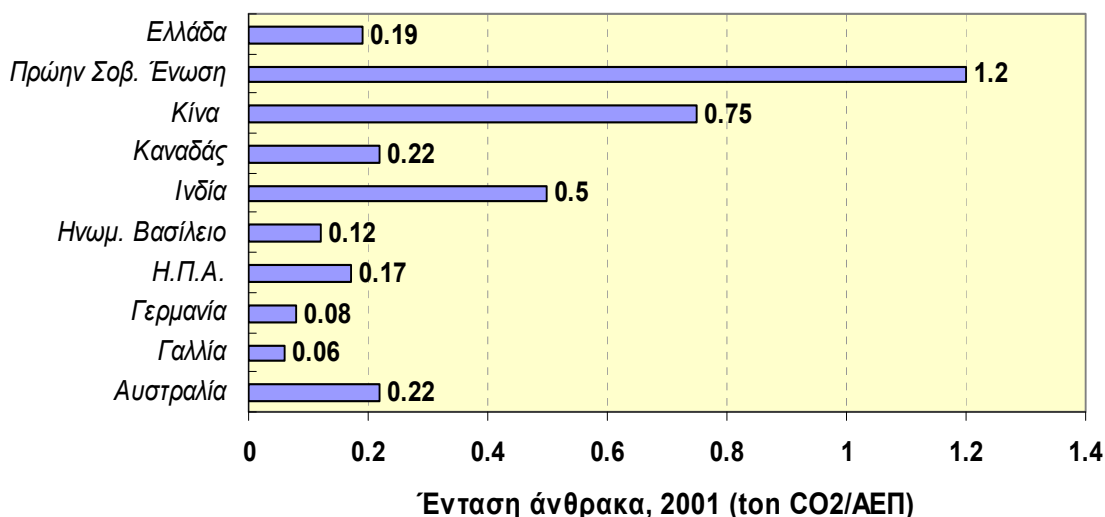
Σχήμα 1.22. Η συμμετοχή των διαφόρων ορυκτών καυσίμων στις εκπομπές CO₂ στον κόσμο για το 1973 και το 2006. Πηγή: IEA Key World Energy Statistics 2008.



Σχήμα 1.25. Εκπομπές CO₂ ανά μονάδα κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για το 2001. Οι χώρες που χρησιμοποιούν άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στη βιομηχανία βρίσκονται στην κορυφή του διαγράμματος. (Πηγή: Key World Energy Statistics from the IEA, 2003).



Σχήμα 1.26. Κατά κεφαλήν εκπομπές CO₂ για το 2001. (Πηγή: Key World Energy Statistics from the IEA, 2003).



Σχήμα 1.27. Ένταση άνθρακα για το 2001 για ορισμένες χώρες.

Αν και οι Η.Π.Α. δήλωσαν ότι δεν πρόκειται να επικυρώσουν το πρωτόκολλο, η κυβέρνηση της χώρας εισήγαγε σειρά εναλλακτικών μέτρων για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Πολλές χώρες που έχουν επικυρώσει το πρωτόκολλο του Κιότο, και όχι μόνο, έχουν αναλάβει διάφορες πρωτοβουλίες για τη μείωση των εκπομπών CO₂ ώστε να μπορέσουν να ικανοποιήσουν τους στόχους του πρωτοκόλλου. Μερικά από τα μέτρα αυτά, με τη μορφή παραδειγμάτων, είναι:

Νομοθετικά μέτρα: υποχρεωτική μείωση της απόδοσης των αυτοκινήτων (2002, Η.Π.Α.), ενεργειακή σήμανση οικιακών συσκευών (Νορβηγία), υποχρέωση των εταιριών παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος στην παραγωγή ποσοστού «πράσινης» ενέργειας (Ηνωμένο Βασίλειο).

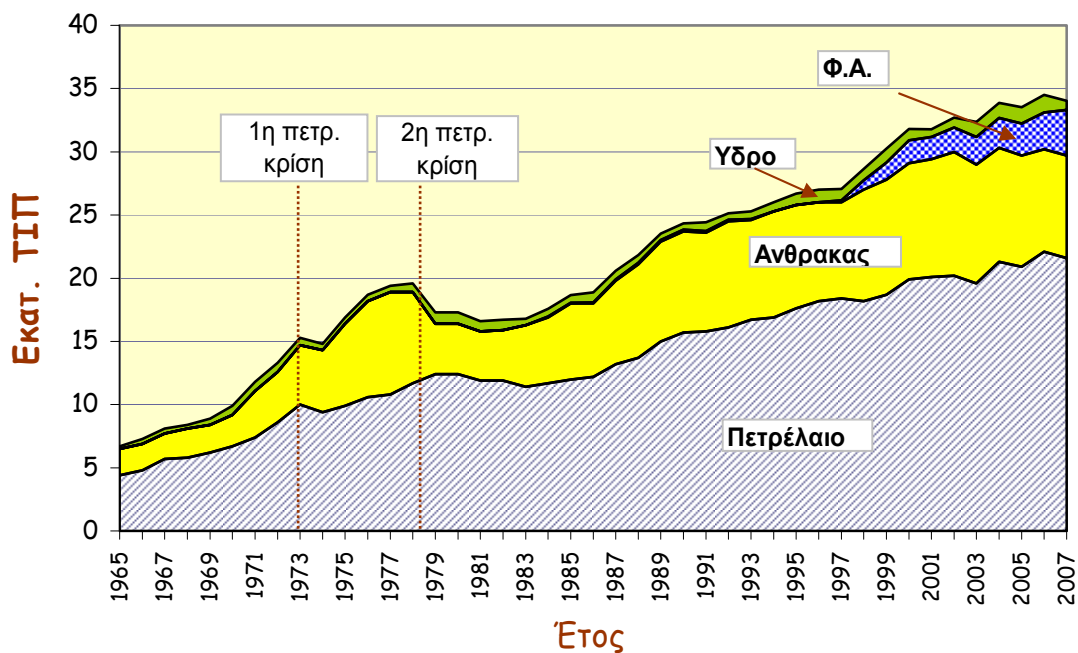
Οικονομικά μέτρα. Επιβολή του φόρου άνθρακα (έχει επιβληθεί σε πολλές χώρες της Ε.Ε. και η Νέα Ζηλανδία), δάνεια για νέα, περισσότερα αποδοτικά αυτοκίνητα (Λουξεμβούργο) και έκπτωση φόρου για αυτούς που χρησιμοποιούν «πράσινο» ηλεκτρισμό.

Μέτρα προώθησης: εκστρατεία για την ευαισθητοποίηση του κοινού στις ΑΠΕ (Αυστραλία), διαφήμιση των μαζικών μέσων μεταφοράς (Γαλλία), προώθηση της χρήσης των σιδηροδρόμων κατά 15% (Βέλγιο).

Εθελοντικά μέτρα: συγκεκριμένες βιομηχανίες δήλωσαν ότι θα μειώσουν από μόνες τους τις εκπομπές (Ιαπωνία), συνεργασία για την αύξηση της απόδοσης των νέων μοντέλων αυτοκινήτου (Ε.Ε., Ιαπωνία και Νότιος Κορέα).

Η Ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα

Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα τα τελευταία 40 χρόνια παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.27, στο οποίο παρατηρείται μία σημαντική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Από το 1965 μέχρι σήμερα η κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα αυξήθηκε περίπου 5 φορές, ενώ η αντίστοιχη αύξηση για τον κόσμο ήταν 2,7 φορές και για την Ε.Ε. 1,8 φορές. Τα τελευταία 10 χρόνια (1996-2005) η κατανάλωση παρουσιάζει αύξηση ~24%, μεγαλύτερη από τη μέση αύξηση στον κόσμο που ήταν 20%.

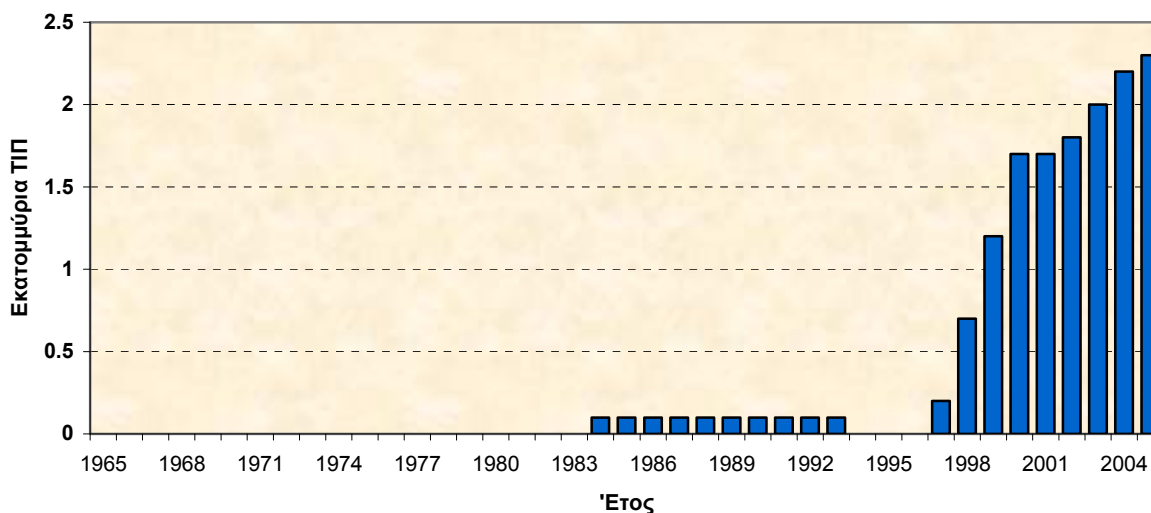


Σχήμα 1.27. Εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1965-2007. (Πηγή: BP statistical review, 2008.)

Η χώρα μας εξαρτάται ενεργειακά από το εισαγόμενο πετρέλαιο, το οποίο συμμετέχει κατά 62% στη συνολική παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας, ποσοστό που είναι το μεγαλύτερο στην Ε.Ε. Αν και οι πηγές προέλευσης του πετρελαίου στα τέσσερα διυλιστήρια της χώρας (ΕΛΔΑ και ΕΚΟ των ΕΛΠΕ, Petrola και Motor Oil) ποικίλλουν, το Ιράν, η Ρωσία και η Σαουδική Αραβία αποτελούν τις χώρες από τις οποίες εισάγονται περίπου τα δύο τρίτα των συνολικών εισαγωγών αργού πετρελαίου. Η εγχώρια παραγωγή (κοίτασμα Πρίνου) καλύπτει ένα πολύ μικρό ποσοστό των αναγκών της χώρας.

Το φυσικό αέριο άρχισε να διανέμεται στην Ελλάδα το 1996, και όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.29, αυτή τη στιγμή συμμετέχει με ~7% στην πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας. Το φυσικό αέριο, εκτός από μία μικρή εγχώρια παραγωγή της τάξης του 2%, εισάγεται από τη Ρωσία με αγωγό (οι μεγαλύτερες ποσότητες) και από την Αλγερία με κρουγονικά πλοία στο σταθμό της Ρεβουθούσας. Η ζήτηση φυσικού αερίου αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά και για το 2010 και να φτάσει τα 3 εκατ. ΤΙΠ.

Ο λιγνίτης αποτελεί το μόνο εγχώριο καύσιμο και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στην ηλεκτροπαραγωγή. Καλύτερης ποιότητας άνθρακας και μικρές ποσότητες κοκ εισάγονται και χρησιμοποιείται σε ορισμένες βιομηχανίες (τσιμεντοβιομηχανίες και μεταλλουργικές). Στον Πίνακα 1.9 παρουσιάζεται ή εγκατεστημένη ισχύς της ΔΕΗ από διάφορες ενεργειακές πηγές και στον Πίνακα 10 η παραγωγή ηλεκτρισμού κατά το 2001. Ο κυρίαρχος ρόλος των λιγνιτικών μονάδων είναι προφανής, αν και τα τελευταία χρόνια η συμμετοχή των μονάδων φυσικού αερίου έχει αυξηθεί σημαντικά. Περίπου άλλα 800 MW είναι εγκατεστημένα στην Ελλάδα από ιδιωτικούς φορείς και αφορούν κυρίως σε συμπαραγωγή και αιολική ενέργεια.



Σχήμα 1.29. Εξέλιξη της κατανάλωσης φυσικού αερίου στη χώρα μας. Σημειώνεται η σημαντική αύξηση μετά το 1996.

Πίνακας 1.9. Εγκατεστημένη ισχύς (σε MW) μονάδων της ΔΕΗ (Δεκ. 2006, www.dei.gr). Υπάρχουν επίσης ιδιωτικές συμβατικές μονάδες ισχύος 550 MW και ανανεώσιμες 956 MW

Τύπος μονάδας	MW	%
Λιγνιτικές	5288	41.7
Πετρελαϊκές	2343	18.5
Φυσικού Αερίου	1966	15.5
Υδροηλεκτρικές	3061	24.1
ΑΠΕ (Αιολική)	44	0.3
Σύνολο	12695	100

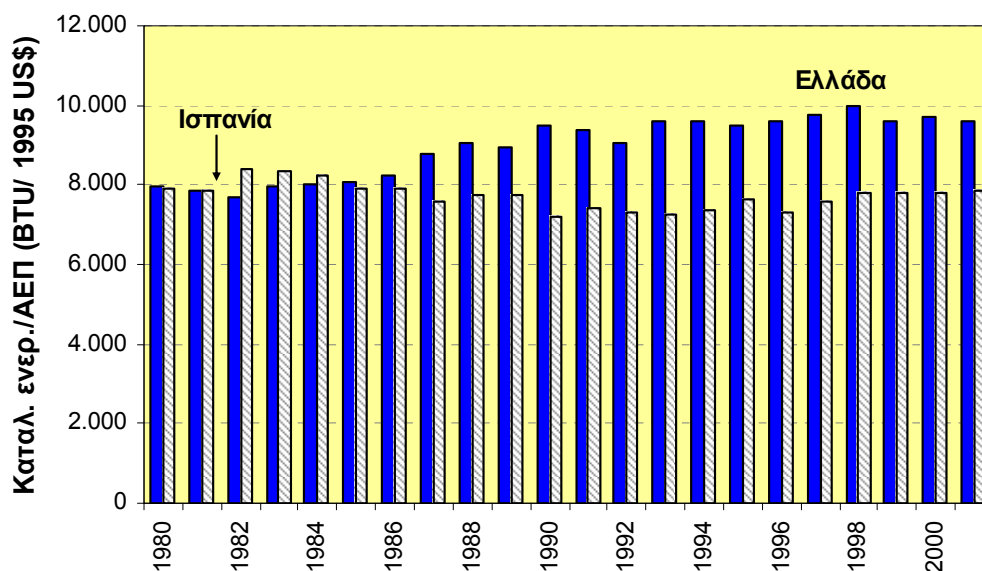
Πίνακας 1.10. Παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρισμού κατά το 2005.

	Παραγωγή (TWh)	Μερίδιο
Θερμικοί σταθμοί	49746	88,6%
Υ/Η σταθμοί	4967	8,9%
ΑΠΕ και άλλα	1415	2,5%
Σύνολο	56128	
	TWh	
Παραγωγή	56.128	
Εισαγωγές	5.616	
Εξαγωγές	1.836	
Απώλειες	5.598	
Κατανάλωση	54.310	

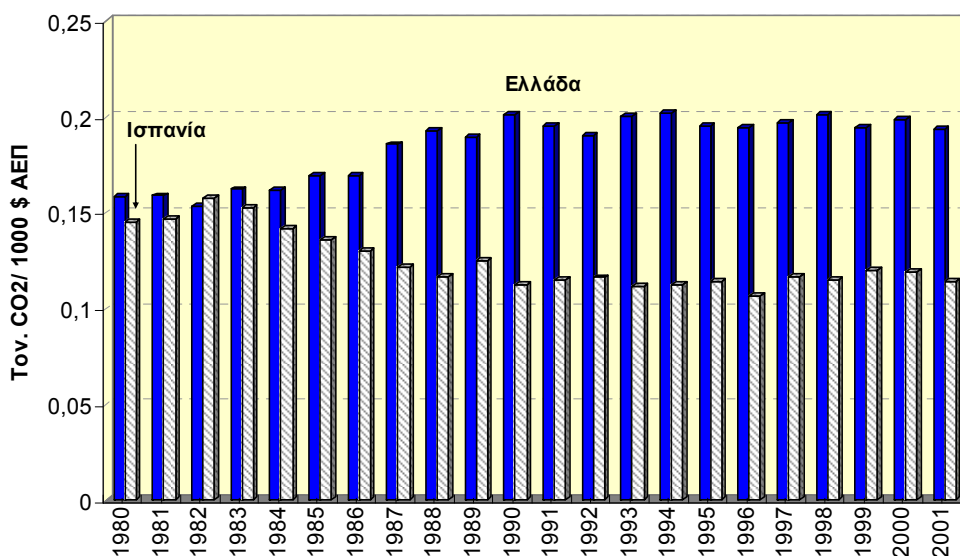
Η υδροηλεκτρική ισχύς συνεισφέρει κατά 3,9% στην παραγωγή ενέργειας κατά το 2005, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ που υπερέβαινε 3000 MWe. Τέλος, εκτιμάται ότι η βιομάζα συνεισφέρει περίπου 3% στον ενεργειακό εφοδιασμό της χώρας.

Αναφορικά με την ένταση ενέργειας, το μέγεθος αυτό αυξάνει ή μένει οριακά σταθερό τα τελευταία δέκα χρόνια, σε αντίθεση από ό,τι συμβαίνει στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες. Το Σχήμα 1.30 παρουσιάζει την εξέλιξη του δείκτη αυτού στην Ελλάδα και στην Ισπανία από το 1981 μέχρι το 2001. Η ένταση ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα είναι σχετικά μικρή (λόγω της μικρής συμμετοχής της βαριάς βιομηχανίας) και ακολουθεί την εξέλιξη των αντίστοιχων δεικτών για τις χώρες της Ε.Ε. Η ένταση ενέργειας στον οικιακό/εμπορικό τομέα, αν και μικρότερη από τον αντίστοιχο δείκτη για τις χώρες της Ε.Ε. λόγω κλιματικών συνθηκών, εντούτοις αυξάνει βαθμιαία και αναμένεται να πλησιάσει στο μέσο όρο των χωρών της Ε.Ε. σε μερικά χρόνια. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση του εισοδήματος

των πολιτών, στην αύξηση της συμμετοχής του τουρισμού στην ενεργειακή χρήση και στην αύξηση των κλιματιστικών συσκευών. Τέλος, η ένταση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών είναι η υψηλότερη στην Δυτική Ευρώπη, όπου ο δείκτης αυτός μένει σχεδόν σταθερός. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί μερικά από τον πεπαλαιωμένο στόλο των αυτοκινήτων στην χώρα μας, στο οδικό δίκτυο, στη μικρή συμμετοχή των σιδηροδρόμων, και βεβαίως στις ιδιαίτερες γεωγραφικές συνθήκες με την ύπαρξη εκατοντάδων νησιών και έντονου ορεινού αναγλύφου. Τα νησιά, λόγω των μικρών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με πετρέλαιο, συνεισφέρουν και στην αύξηση της έντασης ενέργειας στο βιομηχανικό τομέα. Η ανανέωση του στόλου των αυτοκινήτων και η κατασκευή σύγχρονων αυτοκινητοδρόμων είναι σίγουρο ότι θα βοηθήσει στη μείωση της έντασης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών. Η ένταση άνθρακα ακολουθεί τα πρότυπα της έντασης ενέργειας και παραμένει σχετικά υψηλή για τη χώρα μας (Σχήμα 1.31).

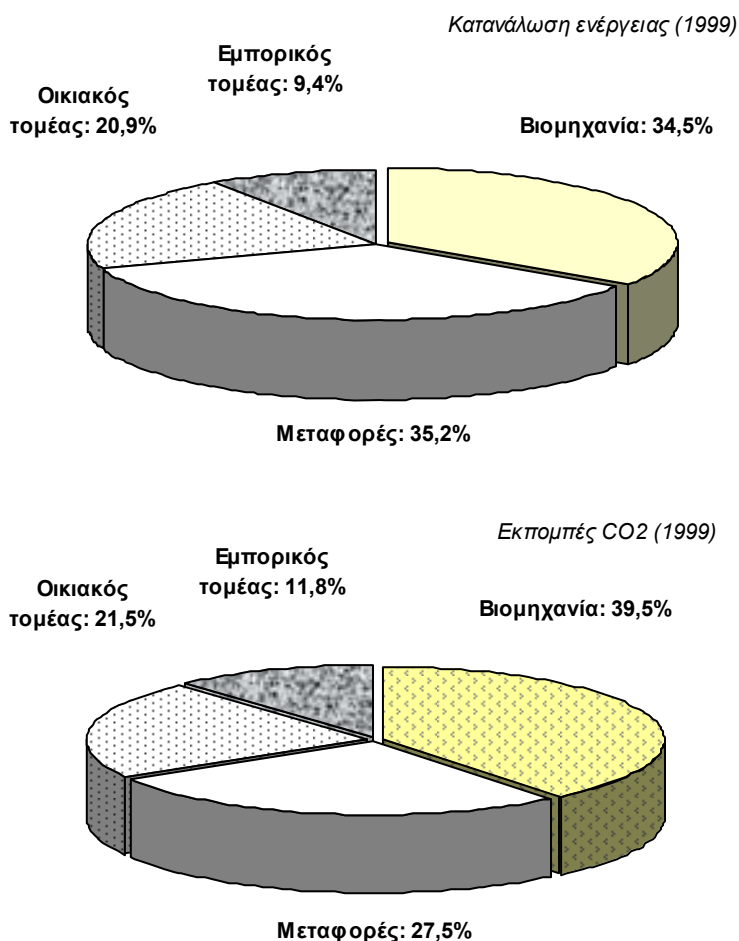


Σχήμα 1.30. Εξέλιξη της έντασης ενέργειας στην Ελλάδα και την Ισπανία για την περίοδο 1980-2001 (πηγή: <http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/table1g.xls>).



Σχήμα 1.31. Εξέλιξη της έντασης άνθρακα στην Ελλάδα για την περίοδο 1980-2001.

Η κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂ ανά τομέα δραστηριότητας δίνονται στα διαγράμματα του Σχήματος 1.32, με τον τομέα των μεταφορών αυξάνει συστηματικά με τα χρόνια. Οι κατανομές αυτές είναι συγκρίσιμες με αντίστοιχες κατανομές στην Ε.Ε.



Σχήμα 1.32. Η συμμετοχή των διάφορων τομέων στην κατανάλωση ενέργειας (επάνω) και στις εκπομπές CO₂ (κάτω) από την καύση ορυκτών καυσίμων στον κόσμο για το 2000.

Οι εκπομπές CO₂ από την καύση των ορυκτών καυσίμων στη χώρα μας ακολουθούν κατά κανόνα την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας (Σχήμα 1.33), αν και η παρατηρούμενη αύξηση τη δεκαετία 1992-2001 (28%) υπολείπεται από την αντίστοιχη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας (36%). Η Ελλάδα βρίσκεται στην κορυφή των χωρών του ΟΟΣΑ στις εκπομπές CO₂ ανά μονάδα κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (Σχήμα 1.30) και κύρια αιτία για αυτό το γεγονός αυτό είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται (σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%) στην καύση ενός πτωχού άνθρακα, του λιγνίτη.

Ο Πίνακας 1.10 συνοψίζει διάφορα σενάρια για τη μείωση των εκπομπών CO₂ στη χώρα μας. Αλλαγές στο είδος του καυσίμου (διείσδυση του φυσικού αερίου) και αυξημένη απόδοση της ηλεκτροπαραγωγής μπορεί οδηγήσουν σε σημαντική μείωση τις εκπομπές του CO₂. Τα σχέδια της ΔΕΗ (που ουσιαστικά μονοπωλεί την παραγωγή και διανομή του ηλεκτρισμού) για τη μείωση των εκπομπών CO₂ συνοψίζονται ως εξής:

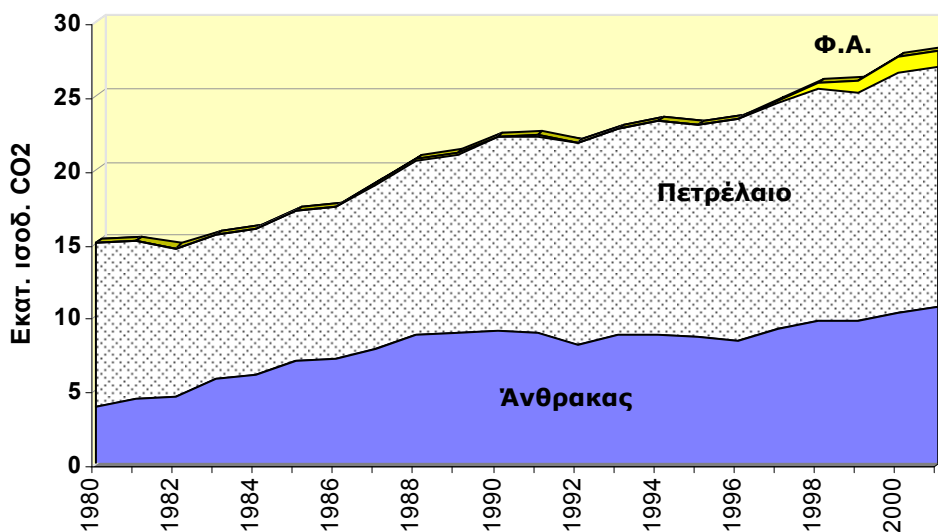
- μεγαλύτερη συμμετοχή του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή

- συμπλήρωση των υδροηλεκτρικών μονάδων και χρήση αντλησιοταμίευσης
- εισαγωγή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και κυρίως της αιολικής ενέργειας
- βελτίωση του βαθμού απόδοσης των λιγνιτικών μονάδων
- διαφήμιση και προώθηση της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας

Η Ελλάδα έχει επικυρώσει το πρωτόκολλο του Κyoto. Με τη συμφωνία αυτή η Ελλάδα επιτρέπεται να αυξήσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου το 2008-2012 κατά 25% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Βέβαια, ήδη οι εκπομπές αυτές το 2006 είχαν αυξηθεί κατά 24,4% από τα επίπεδα του 1990 και φαίνεται πιθανή η επίτευξη του στόχου.

Πίνακας 1.9. Δυναμικό μείωσης των εκπομπών στην Ελλάδα για το 2010
(Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ, Ιούνιος 1997.)

Μορφή Ενέργειας	Αθροιστικό δυναμικό μείωσης εκπομπών CO ₂ 1990-2000 (Mt CO ₂)	Μερίδιο (%)
Ηλεκτρισμός	6,73	50%
Υποκατάσταση με φυσικό αέριο	4,20	31,3
Υποκατάσταση με αιολικά	1,00	7,5
Υποκατάσταση με βιομάζα	0,75	5,6
Βελτιωμένη απόδοση λιγνιτικών μονάδων	0,30	2,2
Μικρά υδροηλεκτρικά	0,22	1,6
Άλλα: γεωθερμία, συμπαραγωγή	0,26	1,9
Οικιακός / εμπορικός τομέας	2,14	16%
Υποκατάσταση με φυσικό αέριο	1,09	8,1
Βελτίωση φωτισμού	0,71	5,3
Βελτίωση καυστήρων, λεβήτων	0,34	2,5
Βιομηχανία	2,01	15%
Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης	1,29	9,6
Υποκατάσταση με φυσικό αέριο	0,72	5,4
Μεταφορές	1,27	9%
Βελτίωση υποδομών	0,91	6,8
Μέτρα σε καύσιμα και αυτοκίνητα	0,36	2,7
Μη-ηλεκτρικές χρήσεις ΑΠΕ	1,24	9%
Ηλιακά συστήματα	0,98	7,3
Βιομάζα-βιοκαύσιμα και θέρμανση	0,16	1,2
Νέα συστήματα ΑΠΕ	0,10	0,7
ΣΥΝΟΛΟ από τα οποία:	13,38	100%
<i>από τη διείσδυση του φυσικού αερίου</i>	<i>6,01</i>	<i>45%</i>
<i>από ΑΠΕ</i>	<i>3,27</i>	<i>24%</i>
<i>από βελτίωση ενεργειακής απόδοσης</i>	<i>2,34</i>	<i>17%</i>



Σχήμα 1.33. Εκπομπές CO₂ από κατανάλωση και καύση ορυκτών καυσίμων στην Ελλάδα.

Στη μέγγενη του Κιότο οι Βιομηχανίες

Η συμφωνία μείωσης των εκπομπών ρύπων αυξάνει το κόστος και τις αναγκάζει να περικόψουν την παραγωγή τους

Σε πονοκέφαλο για τις βιομηχανίες έχει εξελιχθεί η συμφωνία του Κιότο για τις εκπομπές ρύπων, καθώς τις αναγκάζει να περιορίσουν την παραγωγή τους. Η συμφωνία την οποία δεν έχουν υπογράψει και δεν εφαρμόζουν υπερδυνάμεις, όπως η ΗΠΑ και η Κίνα, οδηγεί στην καθήλωση της ισχυρής ελληνικής βιομηχανίας.

Ενδεικτικά, το εργοστάσιο της ΑΓΕΤ Ηρακλής σταμάτησε τις εξαγωγές επειδή είχε εξαντλήσει τα ετήσια δικαιώματα εκπομπής ρύπων. Το σημαντικότερο πρόβλημα το αντιμετωπίζει η ΔΕΗ, καθώς ήδη πληρώνει 12 εκατ. ευρώ τον χρόνο για να αγοράσει δικαιώματα ρύπανσης. Σύμφωνα με το νέο σχέδιο που θα ισχύει την περίοδο 2008-2012, η επιχείρηση πρέπει να περιορίσει την εκπομπή διοξειδίου άνθρακα σε 46,6 εκατ. τόνους τον χρόνο από 52 εκατ. τόνους που δικαιούται τώρα!

Το υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας Δημοσίων Έργων, που ασχολείται με την κατανομή των δικαιωμάτων ρύπανσης, έχει σχεδόν ολοκληρώσει τη δημόσια διαβούλευση και ετοιμάζεται να περιορίσει δραστικά τα δικαιώματα εκπομπής διοξειδίου άνθρακα, επικαλούμενο την ανάγκη περιορισμού της ρύπανσης. Τις μέρες αυτές ολοκληρώνεται η διαβούλευση με τους ενδιαφερομένους και ο υφυπουργός ΠΕΧΩΔΕ Σταύρος Καλογιάννης ετοιμάζεται να προωθήσει στους συναρμόδιους υπουργούς, ΠΕΧΩΔΕ Γιώργο Σουφλιά και Ανάπτυξης Δημήτρη Σιούφα, τα δικαιώματα διοξειδίου του άνθρακα που επιτρέπεται να εκπέμπουν κάθε χρόνο οι βιομηχανίες. Αυτό δεν είναι τόσο απλό όσο ακούγεται, αφού η μείωση της εκπομπής ρύπων σημαίνει ενδεχομένως μείωση παραγωγής για ορισμένες βιομηχανίες, καθώς δεν λαμβάνεται υπόψη το κριτήριο της παραγωγικής δυναμικότητας.

Το μυστήριο των δικαιωμάτων ρύπανσης δεν είναι το μοναδικό θέμα του υπουργείου Περιβάλλοντος που αφορά την οικονομική δραστηριότητα. Η έλλειψη εθνικού χωροταξικού σχεδίου είναι ένας από τους λόγους που το Συμβούλιο της Επικρατείας απορρίπτει συχνά επενδυτικά προγράμματα. Η απουσία του σχεδίου υποτίθεται ότι θα θεραπευθεί με την κατάρτιση ειδικών χωροταξικών σχεδίων που θα αφορούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τον τουρισμό και τη βιομηχανία. Σύμφωνα με πληροφορίες, έχουν ολοκληρωθεί οι σχετικές μελέτες και έως το τέλος του έτους αναμένεται να έχουν οριστικοποιηθεί τα σχέδια αυτά. Εφόσον τα ειδικά χωροταξικά σχέδια ολοκληρωθούν, θα εκλείψει ένας σημαντικός παράγοντας που εμποδίζει την πραγματοποίηση επενδυτικών σχεδίων.

ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ, 9 Ιουλίου 2006

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ - ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

1. Ποια είναι τα δύο κυριότερα προβλήματα που σχετίζονται με την ενέργεια σήμερα; Ποιες θα είναι οι κύριες ενεργειακές πηγές του ανθρώπου το 2050;
2. Γιατί η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας αυξάνει;
3. Συζητήστε τη δήλωση ότι «η τιμή του πετρελαίου θα πρέπει να περιλαμβάνει και το περιβαλλοντικό κόστος της πηγής ενέργειας».
4. Τι αλλαγές θα κάνατε στην προσωπική σας ζωή, εάν έπρεπε υποχρεωτικά να ελαττώσετε την κατανάλωση ενέργειας κατά 25%;
5. Αν ο πληθυσμός της γης διπλασιαστεί σε 10 χρόνια, θα διπλασιαστεί και η κατανάλωση ενέργειας και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις; Εξηγήστε.
6. Συζητήστε τη διαφοροποίηση της έντασης ενέργειας και άνθρακα της χώρας μας σε σχέση με την Ε.Ε.
7. Θα μπορέσει η χώρα μας να πιάσει στους στόχους του Πρωτοκόλλου του Κιότο; Αν όχι, γιατί;

2. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

2.1. Παραγωγή Ενέργειας και Ρύπανση του Περιβάλλοντος

Η παραγωγή ενέργειας από τα συμβατικά καύσιμα συνδέεται άμεσα με τη ρύπανση του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας. Η ρύπανση του περιβάλλοντος φαίνεται αναπόφευκτη ως ένα βαθμό, αλλά μπορεί να ελαχιστοποιηθεί και να περιοριστούν σημαντικά οι επιπτώσεις της. Ορισμένα από τα είδη της ρύπανσης που εμφανίζονται είναι:

- **«Φαινόμενο του θερμοκηπίου».** Εμφανίζεται σε **παγκόσμιο επίπεδο** (globally) και οι αυξημένες εκπομπές των **αερίων του θερμοκηπίου** θεωρούνται υπεύθυνες για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, την προοδευτική δηλαδή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης ή οποία ονομάζεται επίσης **κλιματική αλλαγή** (climatic change) και **παγκόσμια θέρμανση** (global warming). Τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου είναι το CO₂, το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου, οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) και το όζον στην τροπόσφαιρα. Η καύση των ορυκτών καυσίμων είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο μέρος του CO₂. Η ενέργεια είναι επίσης υπεύθυνη και για μέρος των εκπομπών μεθανίου, συνεισφέρει στην παραγωγή NO_x και σε μικρό τμήμα των CFC (εκτός αν ταξινομήσουμε τα συστήματα ψύξης στον ενεργειακό τομέα).
- **«Όξινη βροχή».** Εμφανίζεται σε **υπερτοπικό επίπεδο** και οφείλεται στις εκπομπές οξειδίων θείου και αζώτου από την καύση του γαιάνθρακα και του πετρελαίου.
- Σε παγκόσμιο επίπεδο, με διαφορετική ένταση από περιοχή σε περιοχή, παρατηρείται και η **μείωση της στιβάδας του όζοντος**.
- **Φωτοχημικό νέφος.** Δημιουργείται μόνο σε **τοπικό επίπεδο** και οφείλεται βασικά στις εκπομπές των αυτοκινήτων (και βιομηχανίας) με τη συνεργία ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών.
- **Ρύπανση των υδάτινων πόρων** (π.χ. πυρηνικά ή άλλα υγρά απόβλητα στα υπόγεια νερά, σε τοπικό επίπεδο) και υποβάθμιση ποταμών λιμνών και ωκεανών.
- **Πετρελαιοκηλίδες στη θάλασσα ή ποταμούς** και διαρροές σε επιφανειακά νερά.
- **Θερμική ρύπανση.** Παγκόσμια και τοπικά: θερμικά απόβλητα σε θάλασσα, άλλους υδάτινους αποδέκτες, ξηρά και ατμόσφαιρα.
- **Χρήση γης.** Είναι κυρίως τοπικής σημασίας. Η χρήση γης και οι συνακόλουθες περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις είναι αναπόφευκτες κατά την αξιοποίηση οποιασδήποτε μορφής ενέργειας. Τις περισσότερες φορές οι κάτοικοι διάκεινται εχθρικά σε κάθε χρήση γης για ενεργειακές ή άλλες δραστηριότητες (π.χ. υγειονομική ταφή απορριμμάτων, βιομηχανίες κτλ.). Η συμπεριφορά αυτή είναι γνωστή ως σύνδρομο «όχι στην αυλή μου» ή στα αγγλικά «not-in-my-backyard syndrome», NIMBS. Τέλος, λόγω της όξινης βροχής ή άλλων φαινομένων μπορεί να υπάρξει υποβάθμιση βιοτόπων, δασών κτλ.

Ορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση συμβατικών μορφών ενέργειας και οι τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση συμβατικών μορφών ενέργειας

ΚΑΥΣΙΜΑ	ΡΥΠΑΝΤΗΣ	ΕΠΙΠΤΩΣΗ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ
Ανθρακας	SO ₂ και SO ₃ (~3 Mt/y) αιθάλη CO ₂	Όξινη βροχή Νέφος Αέριο θερμοκηπίου	Καταλυτική μετατροπή Καθαρότερα καύσιμα Ανακύκλωση, προσωρινή δέσμευση
Πετρέλαιο/ φυσικό αέριο	NO, NO ₂ , CO, υδρογονάνθρακες CO ₂	Φωτοχημικό νέφος Αέριο θερμοκηπίου	Καταλυτική μετατροπή Ανακύκλωση
Πυρηνικά	Ραδιενεργά απόβλητα	Υγεία / περιβάλλον	Ταφή / αποθήκευση υαλοποιημένων αποβλήτων

Επιπτώσεις σε Παγκόσμια Κλίμακα από τις Ενεργειακές Πηγές

Η χρήση των φυσικών (ορυκτών) καυσίμων διαταράσσει δραστικά τον κύκλο του άνθρακα στη γη και οδηγεί σε ανισορροπίες σε σχέση με τη συγκέντρωση ορισμένων ουσιών. Ενδεχομένως, η προσθήκη CO₂ και άλλων ρυπαντών στην ατμόσφαιρα θα έχει άμεσες ή μακροχρόνιες επιπτώσεις. Ήδη, μάλλον αρχίζουμε να νοιώθουμε τις πρώτες συνέπειες.

Αλλά και η αξιοποίηση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας δεν είναι χωρίς επιπτώσεις. Η υδραυλική ενέργεια είναι μια «καθαρή», ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που έχει αξιοποιηθεί σε σημαντικό βαθμό. Δεν ρυπαίνει (εκτός ίσως από τα αρχικά στάδια), είναι αποδοτική, ευέλικτη και αξιόπιστη, αλλά επιφέρει δραστική αλλαγή των χρήσεων γης και του τοπικού κλίματος. Τα φράγματα μπορούν βεβαίως να αξιοποιηθούν ποικιλοτρόπως για διάφορες άλλες χρήσεις, όπως για ψυχαγωγικούς, τουριστικούς και αθλητικούς σκοπούς, για άρδευση και ύδρευση και για τη δημιουργία υγροβιοτόπων.

Η αιολική ενέργεια προκαλεί κάποιες μορφές ρύπανση κατά το στάδιο της κατασκευής και χαρακτηρίζεται από οπτική και ακουστική ρύπανση. Στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας έχουμε εντατική χρήση γης με χαμηλή απόδοση και σημαντική θερμική ρύπανση. Μια ηλιακή μονάδα 1000 MW_e θα «απορρίπτει» 10000 MW_t θερμότητας στην ατμόσφαιρα. Ακόμη από την ενέργεια των ωκεανών δημιουργούνται θερμικά απόβλητα, τα οποία απορρίπτονται στους ωκεανούς.

Ακολουθεί συνοπτική παρουσίαση της παγκόσμιας θέρμανσης, της όξινης βροχής (που προκαλούνται κυρίως από την καύση των ορυκτών καυσίμων), της μείωσης της στιβάδας του όζοντος και ορισμένων ακόμη περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Προηγείται μία συνοπτική εισαγωγή στη ρύπανση της ατμόσφαιρας.

2.2 Ρύπανση της Ατμόσφαιρας

Ως αέρια ρύπανση ορίζεται η προσθήκη στην ατμόσφαιρα ουσιών από ανθρώπινες δραστηριότητες που ρυπαίνουν και οι οποίες είναι ή μπορεί να είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία, τα ζώα, τα φυτά, τα υλικά κτλ. Πολλές ουσίες εισέρχονται στην ατμόσφαιρα από φυσικά φαινόμενα (όπως ηφαιστεια, πυρκαγιές δασών, θαλάσσια αερολύματα κτλ.), αλλά δεν μπορούν να θεωρηθούν ως ρύπανση. Η μέχρι τώρα γνώση της

ατμοσφαιρικής χημείας και των φαινομένων της αέριας ρύπανσης δεν είναι ικανοποιητική, παρά την τεράστια πρόοδο που σημειώθηκε τα τελευταία 40 χρόνια.

Ιστορικές Παρατηρήσεις

- Προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος υπήρξαν και στην αρχαιότητα.
- Η πρώτη νομοθεσία για τον έλεγχο της αέριας ρύπανσης έγινε στην Αγγλία το 1273, κατά τη διάρκεια τη βασιλείας του Edward I, και αφορούσε το έλεγχο της χρήσης του φθηνού κάρβουνου που χρησιμοποιούνταν για μαγείρεμα και θέρμανση, επειδή προκαλούσε προβλήματα υγείας και απόθεσης της αιθάλης σε κάθε επιφάνεια. Μερικά χρόνια αργότερα, το 1307, με βασιλική διαταγή απαγορεύτηκε η χρήση του κάρβουνου μέσα στο Λονδίνο.
- Τα αποτελέσματα της αέριας ρύπανσης εμφανίζονται πολλές φορές μετά από πολύχρονη έκθεση με τη μορφή χρόνιας βρογχίτιδας, καρκίνου του λάρυγγα και άλλων αναπνευστικών προβλημάτων. Η χρόνια βρογχίτιδα έγινε γνωστή εκτός της Αγγλίας με το όνομα «η αγγλική ασθένεια» για προφανείς λόγους.
- Πολλές συμφορές προκλήθηκαν από την ξαφνική και έντονη ρύπανση τα τελευταία 100 χρόνια:
 - (1) Λόγω της έντονης ρύπανσης από το διοξείδιο του θείου και της θερμοκρασιακής αναστροφής περίπου 60 άτομα έχασαν τη ζωή τους τον Δεκέμβριο του 1932 στο Seraigh του Βελγίου.
 - (2) Για το ίδιο λόγο, τον Οκτώβριο του 1948 20 άτομα έχασαν τη ζωή τους και περισσότεροι από 6000 αρρώστησαν στο Donora της Πενσυλβάνιας.
 - (3) Το χειρότερο επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι το επεισόδιο του Λονδίνου, που συνέβη μεταξύ 5 και 9 Δεκεμβρίου 1952 στο Λονδίνο, λόγω αντίστοιχων συνθηκών με το Seraigh. Περίπου 4000 άτομα έχασαν τη ζωή του από το «νέφος» που δημιουργήθηκε, στο οποίο η συγκέντρωση του SO₂ ήταν 7 φορές μεγαλύτερη των κανονικών επιπέδων.
 - (4) Στο Bhopal της Ινδίας τον Δεκέμβριο του 1984 η απελευθέρωση ισοκυανιούχου μεθυλίου από εργοστάσιο εντομοκτόνων προκάλεσε το θάνατο περίπου 2500 ατόμων.
 - (5) Στο Chernobyl της Ουκρανίας, στις 26 Απριλίου 1986, έγινε το χειρότερο ατύχημα σε πυρηνικό εργοστάσιο με την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων ¹³⁷Cs και ¹³¹I. Η ραδιενεργός ρύπανση κάλυψε μια τεράστια περιοχή, από τη Βόρεια Σουηδία μέχρι την Βόρεια Ελλάδα. Αν και επίσημα οι νεκροί ανέρχονται σε 41, εκτιμάται ότι περισσότεροι από 40000 άτομα θα έχουν χάσει την ζωή τους σε διάστημα 20 ετών μετά το ατύχημα.
- Το «φωτοχημικό νέφος», το οποίο οφείλεται σε συνδυασμό αέριων και σωματιδιακών ρυπαντών και διαφέρει ριζικά από το νέφος του Λονδίνου, αποτελούσε για πολλές δεκαετίες (από τη δεκαετία του '40) σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα στο Los Angeles, ενώ αποτελεί σημαντικό πρόβλημα σε πολλές μεγαλουπόλεις.

Ορισμός ρύπου

Ποιες ουσίες θα πρέπει να θεωρηθούν ως ρύποι; **Πρόσθετη ουσία** (contaminant) θεωρείται οποιαδήποτε ουσία που προστίθεται στην ατμόσφαιρα, και η οποία προκαλεί διαταραχή της μέσης γεωχημικής σύστασης του αέρα (τοπικά ή γενικά). Από την άλλη μεριά ως **ρυπαντής** ή **ρύπος** (pollutant) ορίζεται η πρόσθετη ουσία που παρουσιάζει αρνητική επίδραση στο περιβάλλον. Ο διαχωρισμός δεν είναι προφανής σε πολλές περιπτώσεις. Για παράδειγμα: το διοξείδιο του άνθρακα είναι πρόσθετη ουσία ή ρύπος;

Οι ρύποι διακρίνονται στους αέριους (π.χ. SO_2) και σε σωματιδιακούς (π.χ. λεπτή σκόνη). Εισάγονται στην ατμόσφαιρα είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες (βιομηχανία, εμπόριο, γεωργία, μεταφορές), ή από φυσικές πηγές (ηφαίστεια, θαλάσσια αερολύματα, γύρη, φυσικές πυρκαγιές). Αυτοί οι «πρωτογενείς» ρύποι, δηλαδή όσες ουσίες εκπέμπονται κατ' ευθείαν από τις πηγές ρύπανσης, μπορούν να αντιδράσουν με άλλες ουσίες (ρύποι ή όχι) και να σχηματιστούν οι «δευτερογενείς» ρύποι με τη μορφή αερίων (π.χ. όζον) ή μικροσωματιδίων-αερολυμάτων (π.χ. σταγονίδια H_2SO_4). **Αερόλυμα** (aerosol) είναι κάθε διασπορά υγρών (σταγόνες) ή στερεών σωματιδίων στον αέρα. Κάθε χρόνο περίπου 120 εκατομμύρια τόνοι ρύπων εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες μόνον στις Η.Π.Α.!

Ένας σημαντικός παράγοντας στο χαρακτηρισμό των αιωρούμενων σωματιδίων (0,01 - 50 μm) είναι το μέγεθός τους (π.χ. η ισοδύναμος διάμετρος). Τα σωματίδια καλούνται:

- Μεγάλα σωματίδια (coarse particles) όταν η διάμετρός τους είναι μεγαλύτερη από 10 μm . Δεν εισπνέονται συνήθως από τον άνθρωπο, γιατί αναχαιτίζονται στη ρινική ή τη στοματική κοιλότητα.
- Λεπτά σωματίδια (fine particles), όταν η αεροδυναμική διάμετρός τους είναι μικρότερη από 10 μm . Το τμήμα (ή η συγκέντρωση) των σωματιδίων που έχουν διάμετρο μικρότερη από 10 μm αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως PM_{10} (σωματίδια διαμέτρου έως 10 μm). Ως $\text{PM}_{2,5}$ αναφέρεται το τμήμα των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm . Τα σωματίδια αυτά διεισδύουν και εναποτίθενται στους πνεύμονες. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: $d < 0,1 \mu\text{m}$ και $d > 0,1 \mu\text{m}$.
- Ιδιαίτερα λεπτά σωματίδια (ultrafine particles), όταν η διάμετρός τους είναι μικρότερη από 0,1 μm .

Τα σωματίδια χαρακτηρίζονται από μια ισοδύναμη διάμετρο και ορισμένη κατανομή μεγέθους, κατακάθονται (με ταχύτητα κατακάθισης σύμφωνα με το νόμο του Stokes: $V = gd^2(\rho_{\text{σωμ.}} - \rho_{\text{αέρα}}) / 18\mu$, όπου d είναι η διάμετρος του σωματιδίου, μ το ιξώδες του αέρα και ρ η πυκνότητα), συσσωματώνονται (παραδείγματα η συμπύκνωση νερού-βροχή) και επιδρούν στην ορατότητα (τη μειώνουν) λόγω σκέδασης και απορρόφησης του φωτός

Εκπομπές Ρύπων

1. *Πρωτογενείς αέριοι ρύποι.* Οι κυριότεροι πρωτογενείς αέριοι ρύποι είναι:

- ενώσεις θείου (π.χ. SO_2 , H_2S)
- ενώσεις αζώτου (π.χ. NH_3 , NO_x)
- ενώσεις άνθρακα (π.χ. υδρογονάνθρακες, CFCs, CO, CO_2 κ.ά. - πτητικές οργανικές ουσίες)
- ενώσεις αλογόνων (π.χ. χλωριούχα και φθοριούχα άλατα)

2. *Πρωτογενή σωματίδια* (από φυσικές πηγές και ανθρώπινες δραστηριότητες)

- αέρια από ραδιενεργή δραστηριότητα και τη διεργασία της καύσης.
- σωματίδια Aitken (δηλ. σωματίδια με $d < 0,1 \mu\text{m}$) και λεπτά σωματίδια (με διάμετρο μεταξύ 0,1 και 2,5 μm) που σχηματίζονται από φυσικά αίτια, όπως φωτιές και θαλάσσια αερολύματα, και από διεργασίες βιομηχανικής καύσης.
- υλικά που περιέχουν άνθρακα (π.χ. αιθάλη, οργανικά)
- σωματίδια από εκπομπές αυτοκινήτων (π.χ. PbO, θειικά)
- σωματίδια που περιέχουν ελαφρά μέταλλα (π.χ. Na, K, Si, Mg, Al)

- σωματίδια που περιέχουν βαρέα μέταλλα (π.χ. Ti, Na, Fe, Ni, Cr, Cu,As, Zn από την ιπτάμενη τέφρα και τα χαλυβουργεία)
 - μεγάλα σωματίδια, όπως σκόνη και άμμος που μεταφέρονται από τον άνεμο, σωματιδιακή ύλη από βιομηχανικές δραστηριότητες και από τις μεταφορές
 - ζώντα σωματίδια, όπως γύρη, μικροοργανισμοί και έντομα.
3. *Ραδιενεργοί ρύποι.* Η ραδιενέργεια είναι ένα πρωτογενές αέριο ρύπος από φυσικές πηγές και ανθρωπογενείς πηγές. Οι ανθρωπογενείς ραδιενεργές εκπομπές προέρχονται από τη βιομηχανία ατομικής ενέργειας (εξόρυξη, άλεση, επεξεργασία, παρασκευή σχάσιμων καυσίμων), από πυρηνικούς αντιδραστήρες, από εκρήξεις ατομικών βομβών και από μονάδες που κατεργάζονται τα απεμπλουτισμένα καύσιμα.
4. *Δευτερογενείς αέριοι ρύποι.* Οι χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα (και κυρίως οι φωτοχημικές) είναι υπεύθυνες για τη μετατροπή πρωτογενών αέριων ρύπων σε ενδιάμεσα αντιδρώντα προϊόντα (π.χ. ελεύθερες ρίζες) και, τελικά, σε δευτερογενείς αέριους ρύπους, όπως
- NO₂ από NO
 - O₃ μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων παρουσία οργανικών ουσιών
5. *Δευτερογενή σωματίδια.* Οι χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα (και κυρίως οι φωτοχημικές) είναι υπεύθυνες για τη μετατροπή πρωτογενών και δευτερογενών αέριων ρύπων σε δευτερογενή σωματίδια, που συνίστανται από σωματίδια με d<2,5 μm. Οι γνωστότερες μετατροπές είναι:
- η μετατροπή του SO₂ σε θειικά, SO₄⁻
 - η μετατροπή του NO₂ σε νιτρικά, NO₃⁻
 - η μετατροπή οργανικών ενώσεων σε οργανικά σωματίδια.

Πίνακας 2.2. Εισαγωγή ρύπων στην ατμόσφαιρα από διάφορες φυσικές πηγές.

Πηγή	Συνεισφορά
Ηφαίστεια	SO _x , σωματίδια
Πυρκαγιές δασών	CO, CO ₂ , NO _x , PM
Φυτά	Υδρογονάνθρακες, γύρη
Αποσύνθεση φυτών	CH ₄ , H ₂ S
Έδαφος	Σκόνη και ιούς
Θάλασσα	Σταγονίδια και μικροσωματίδια

Πίνακας 2.3. Κυριότεροι αέριοι ρύποι.

• Σωματίδια PM ₁₀ , PM _{2,5}
• Διοξείδιο του θείου (SO ₂)
• Οξειδία του αζώτου (NO _x)
• Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
• Πτητικές οργανικές ουσίες (VOC)
• Μόλυβδος (Pb)
• Όζον (O ₃)

Απομάκρυνση - δέσμευση ρυπαντών

Όπως η φύση αποτελεί πηγή πρόσθετων ουσιών στην ατμόσφαιρα, έτσι προσφέρει και ορισμένους φυσικούς «συλλέκτες» (sinks) και μηχανισμούς απομάκρυνσης των ρύπων από τον αέρα. Η απορρόφηση των ρύπων από τη βλάστηση, το έδαφος και τις υδάτινες επιφάνειες, καθώς και η οξειδωση και μετατροπή τους σε σωματίδια που μπορούν να κατακαθίσουν, αποτρέπουν της συσσώρευση των ρύπων στον αέρα. Οι περισσότεροι ρύποι μένουν στην ατμόσφαιρα από μερικά λεπτά μέχρι μερικές μέρες.

2.3 Κλιματική Αλλαγή - Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Όλες οι ενδείξεις μέχρι τώρα συγκλίνουν ότι υπάρχει μια συγκεκριμένη επίδραση του ανθρώπου πάνω στο κλίμα της γης και ελάχιστοι επιστήμονες πλέον αγνοούν το λεγόμενο «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Οι σκεπτικιστές απλώς υποεκτιμούν ορισμένες συνέπειες του φαινομένου ή διαφωνούν με τη συνεισφορά των διαφόρων αερίων στο φαινόμενο ή ποιο αέριο θα πρέπει να ελεγχθεί πρώτα. Αν και ο όρος «φαινόμενο του θερμοκηπίου» έχει χρησιμοποιηθεί γενικά για να περιγράψει το ρόλο της ατμόσφαιρας (με την υγρασία και τα νέφη) στη διατήρηση μιας σταθερής θερμοκρασίας στη γη (χωρίς αυτό το φαινόμενο η θερμοκρασία της γης θα ήταν 33°C ψυχρότερη!), στις τελευταίες δεκαετίες ο όρος αυτός συνδέθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Η αύξηση της συγκέντρωσης ορισμένων αερίων, όπως του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του μεθανίου (CH₄) και των οξειδίων του αζώτου, έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης στην ατμόσφαιρα, με επακόλουθο την αύξηση της θερμοκρασίας της γης. Απαντάται και με τους όρους «κλιματική αλλαγή» (climatic change), παγκόσμια υπερθέρμανση ή υπερθέρμανση του πλανήτη» (global warming).

Ο αέρας είναι ένα μη-ομογενές μίγμα αερίων ουσιών και στερεών και υγρών σωματιδίων. Λόγω της παρουσίας αυτών των σωματιδίων θεωρείται αερόλυμα. Η σύσταση του αέρα αναφορικά με τα αέρια παρουσιάζεται στους Πίνακες 2.4 και 2.5. Σημειώνεται ότι το 95% της μάζας του αέρα περιέχεται στην Τροπόσφαιρα.

Πίνακας 2.4 Συγκεντρώσεις των κύριων συστατικών του αέρα σε % w/w ή μοριακό κλάσμα.

Συστατικό	% κατά βάρος	Μοριακό κλάσμα
N ₂	75,51	0,7808
O ₂	23,14	0,2095
⁴⁰ Ar	1,28	0,0093
Υδρατμίοι	-	0,0004

Πίνακας 2.5 Συγκεντρώσεις των δευτερευόντων συστατικών του αέρα σε ppm.

Συστατικό	ppmν (μέρη στο εκατομμύριο*)
CO ₂	370
Ne	18
He	5,2
CH ₄	2
Kr	1
H ₂	0,5
N ₂ O	0,5
Xe	0,08

*370 ppm σημαίνει 370 από τα 1 εκατ. μόρια είναι CO₂

Τι είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου

- Όπως σε ένα θερμοκήπιο ή στο αυτοκίνητο μας όταν είναι εκτεθειμένο στον ήλιο και αυξάνει η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους.
- Η γη διατηρεί τη θερμοκρασία της λόγω της ατμόσφαιρας (και λόγω αυτού του φαινομένου από την παρουσία των υδρατμών και του διοξειδίου του άνθρακα) μεταξύ 0°C και «100°C. Αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα η θερμοκρασία θα ήταν 30°C χαμηλότερη.
- Το φεγγάρι, αν και βρίσκεται στην ίδια θέση με τη γη σε σχέση με τον ήλιο, έχει μέση θερμοκρασία -18°C, με ακραίες τιμές -150°C και +100°C.
- Η μέση θερμοκρασία της γης είναι 15°C.
- Ένα θερμικό σύνορο αποτρέπει την ανάμιξη της Τροπόσφαιρας με τη Στρατόσφαιρα.
-

Πως γίνονται οι μετατροπές στη φύση

Η θερμοκρασία του ήλιου είναι περίπου 6000°C και εκπέμπει την ακτινοβολία κυρίως στο ορατό φάσμα. Περίπου το 86% της ενέργειάς του το μεταδίδει με ακτινοβολία στα 400-700 nm, δηλ. στο ορατό φάσμα (400 nm: μπλε και 700 nm: κόκκινο). Ένα 7% μεταδίδεται με υπεριώδη ακτινοβολία (UV<400 nm), ενώ ένα άλλο 7% μεταδίδεται με υπέρυθη ακτινοβολία σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από 700 nm (IR). (Περισσότερη συζήτηση για το πως εισέρχεται στη γη η ακτινοβολία από το ήλιο και πως εξέρχεται δίνεται στο Κεφάλαιο 4.)

Η θερμοκρασία της γης κυμαίνεται στην περιοχή 10-30°C και ακτινοβολεί προς το διάστημα στα 4000-100000 nm, δηλαδή στην υπέρυθη περιοχή. Οι διάφορες ενώσεις στην ατμόσφαιρα απορροφούν ακτινοβολία διαφορετικού μήκους κύματος. Οι υδρατμοί απορροφούν ακτινοβολία στα 4000-7000 nm. Το CO₂ απορροφά έντονα στα 7000 - 10000 nm. Περίπου το 70% της ακτινοβολίας IR φεύγει από τη γη προς το διάστημα, αλλά το 30% απορροφάται από το CO₂, τους υδρατμούς και το μεθάνιο (και τα άλλα αέρια του θερμοκηπίου, NO_x, CFCs, O₃ και υδρογονάνθρακες), θερμαίνοντας έτσι την τροπόσφαιρα. Η συγκέντρωση του μεθανίου στην ατμόσφαιρα είναι 1,7 ppm και αυξάνει κατά 1,2% το χρόνο.

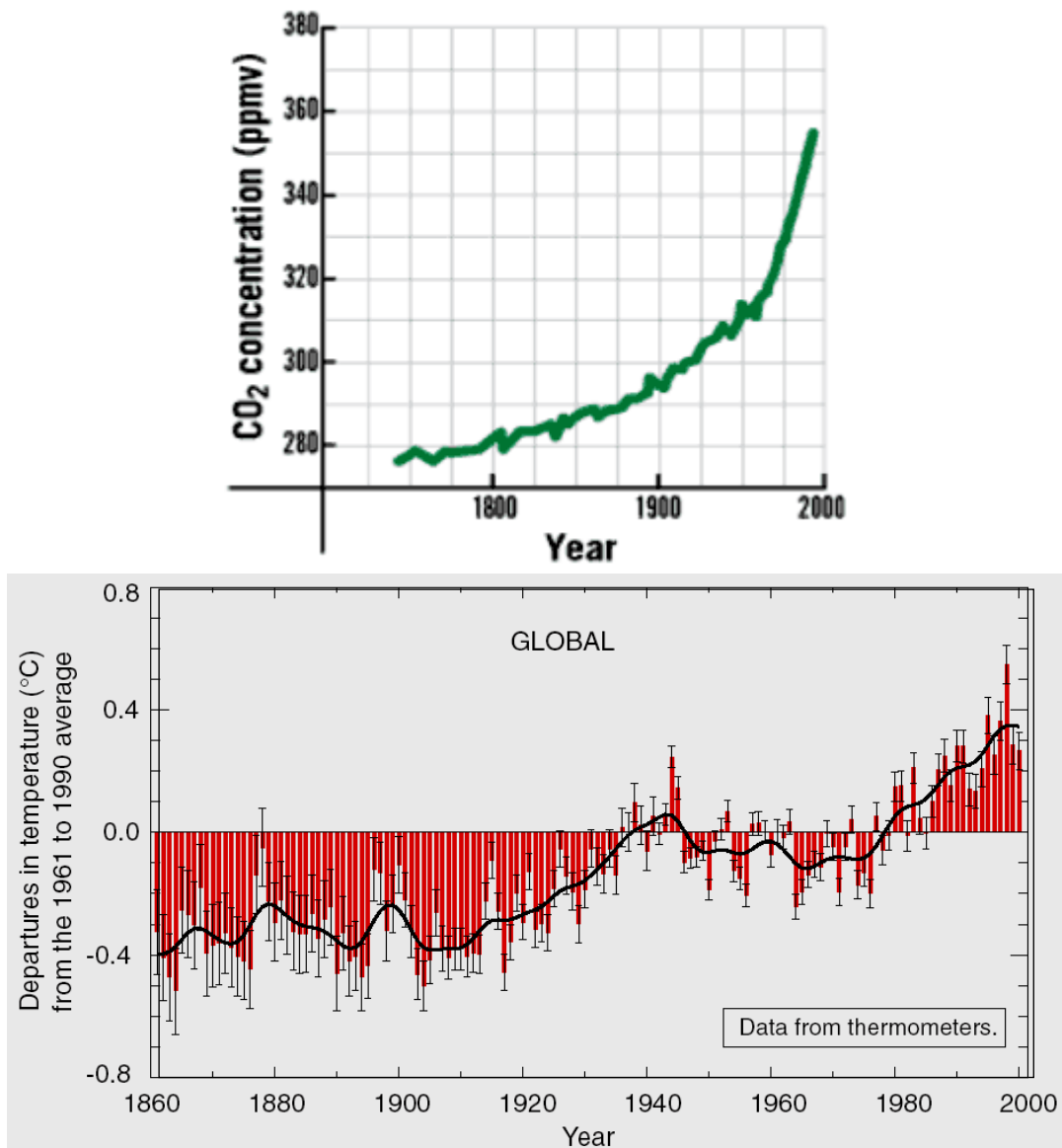
Κανονικά στη φύση υπάρχει ισορροπία στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Όση ενέργεια εισέρχεται στο γήινο περιβάλλον, τόση ενέργεια απομακρύνεται. Η απομάκρυνση από αυτήν την ισορροπία οδηγεί στην παγκόσμια θέρμανση και στην κλιματική αλλαγή. Αυτό αποτυπώνεται στο Σχήμα 2.1 που παρουσιάζει την αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ με το χρόνο και τη μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της γης. Σημειώνεται ότι σε όλη την ιστορία της γης υπάρχει άμεση συσχέτιση της συγκέντρωσης του στην ατμόσφαιρα και της θερμοκρασίας της γης, όπως καταδεικνύεται στο Σχήμα 2.2. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν σε αέρια εγκλεισμένα σε παγετώνες σε διαφορετικό βάθος.

Αέρια του θερμοκηπίου

Εκτός από το σύστημα νερό-ατμός, τα κυριότερα άλλα αέρια του θερμοκηπίου είναι:

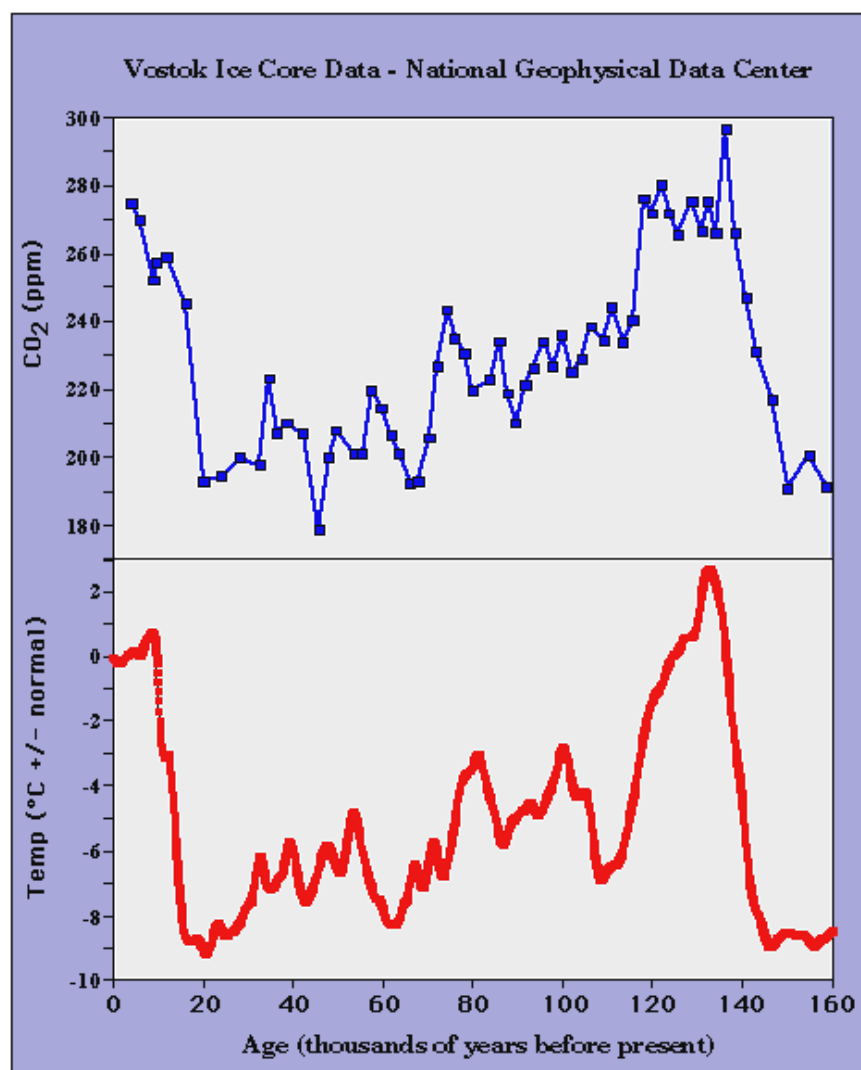
1. Το **διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)** το οποίο παράγεται κυρίως κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Η συνεισφορά των διαφόρων αερίων στο φαινόμενο αποτυπώνεται στον Πίνακα 2.6, ενώ η μεταβολή της συγκέντρωσης ορισμένων αερίων τα τελευταία 1000 χρόνια παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3. Το κάψιμο των δασών συνεισφέρει κατά 20-33% στην αύξηση του CO₂, αν και αυτό αμφισβητείται από ορισμένους (γιατί από τα τροπικά

δάση εκπέμπεται μεθάνιο). Οι ωκεανοί έχουν ήδη απορροφήσει το 30-50% των εκπομπών CO₂.



Σχήμα 2.1 Αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ με το χρόνο (επάνω) και μεταβολή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης τα τελευταία 150 χρόνια (κάτω). (Πηγή για το δεύτερο διάγραμμα: IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001, 2003.)

2. Το υποξείδιο του αζώτου (N₂O). Προέρχεται περίπου ισόποσα από ανθρωπογενείς (καύση των ορυκτών καυσίμων), όσο και από φυσικές πηγές (65% από το έδαφος και 30% από τη θάλασσα).
3. Το μεθάνιο (CH₄) παράγεται από την αποσύνθεση φυτών και ζωικών αποβλήτων (κατά 30%), τις διαρροές από την παραγωγή φυσικού αερίου και την εξόρυξη του άνθρακα, την καλλιέργεια ρυζιού, την κτηνοτροφία κτλ. Συνδέεται περισσότερο με την παραγωγή τροφίμων και την πληθυσμιακή αύξηση και πιστεύεται ότι θα γίνει στο μέλλον το κυρίαρχο αέριο του θερμοκηπίου, λόγω του ότι ένα μόριο CH₄ αντιστοιχεί σε 23 μόρια CO₂. Σήμερα ο ρυθμός αύξησης του είναι περίπου ίσος με το ρυθμό αύξησης του CO₂.

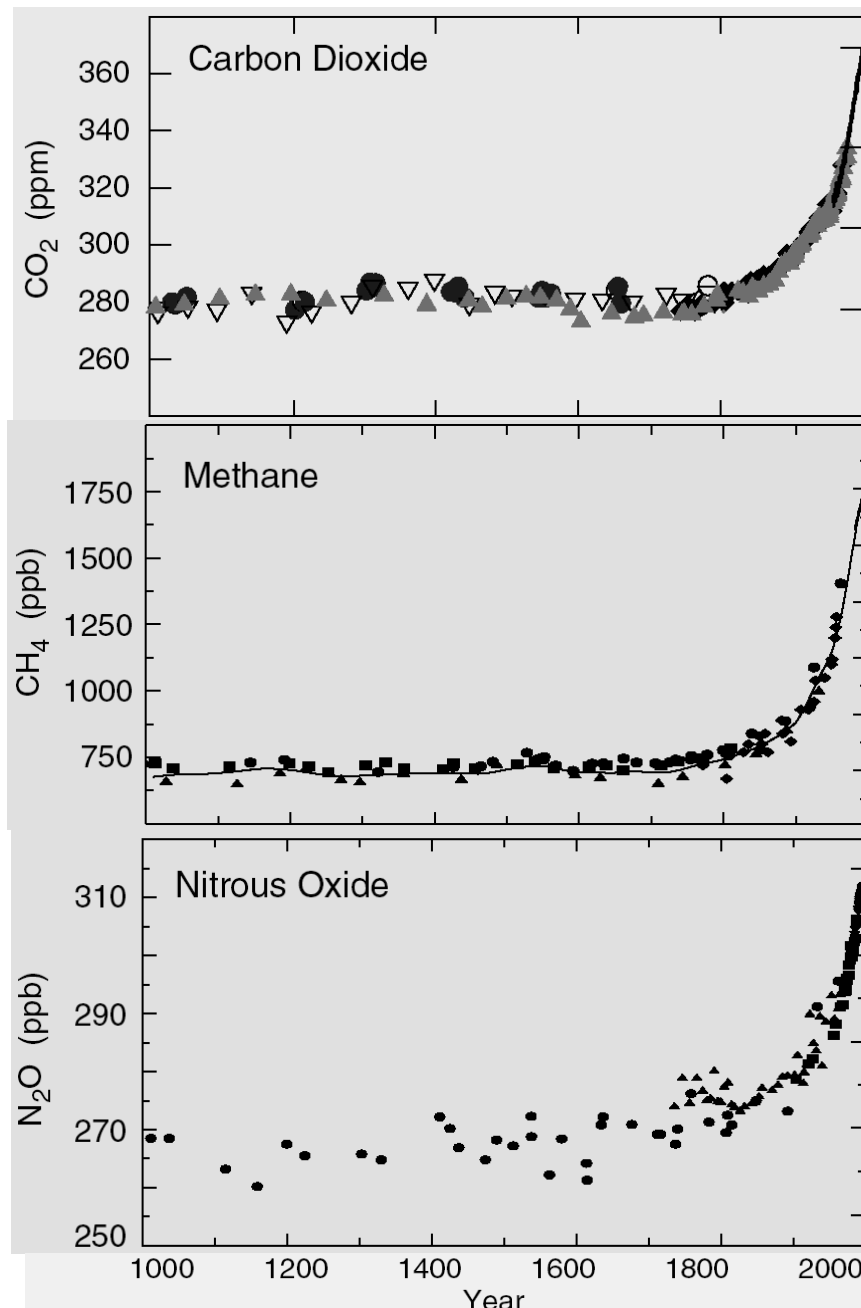


Σχήμα 2.2. Συσχέτιση της θερμοκρασίας της γης με τη συγκέντρωση του CO₂ τα τελευταία 160000 χρόνια. Οι μετρήσεις της συγκέντρωσης του CO₂ έγιναν σε δείγματα εγκλεισμένων αερίων σε παγόβουνα.

Πίνακας 2.6. Μερίδια των αερίων θερμοκηπίου στο φαινόμενο από τη συνεισφορά του ενεργειακού τομέα των αναπτυγμένων χωρών.

Αέριο	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Άλλα	Σύνολο
Μερίδιο %	82%	12%	4%	2%	100%
Συνεισφορά του ενεργειακού τομέα	96%	35%	26%	-	85%
Κύριες πηγές ενεργειακού τομέα	Καύση ορυκτών καυσίμων	Διαφυγή από καύσιμα	Καύση ορυκτών καυσίμων	-	

Πηγή: UNFCCC, "Second compilation and synthesis of second national communications", FCCC/CP/1998/11/Add.1, Sept. 1998.



Σχήμα 2.3. Μεταβολή της συγκέντρωσης ορισμένων αερίων του θερμοκηπίου τα τελευταία 1000 χρόνια. (Πηγή: IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001, 2003.)

4. Οι **χλωροφθοράνθρακες (CFC)** και άλλοι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες χρησιμοποιούνται (ή καλύτερα είχαν χρησιμοποιηθεί) ως ψυκτικά, διογκωτικά, διαλύτες κλπ. Βέβαια η προοδευτική εξαφάνισή τους λόγω της επίδρασής τους στο στρατοσφαιρικό όζον (Συνθήκη του Montreal) θα έχει θετική επίδραση και στη κλιματική αλλαγή (βλ. μεταβολή στον Πίνακα 2.6), αλλά και οι υδροχλωροφθοράνθρακες και υδροφθοράνθρακες που τους αντικαθιστούν είναι επίσης αέρια του θερμοκηπίου.

Η ιδέα του **Δυναμικού Παγκόσμιας Θέρμανσης (ΔΠΘ, global warming potential)** αναπτύχθηκε για να συγκρίνει την ικανότητα κάθε αερίου του θερμοκηπίου σε σχέση με την ικανότητα του CO₂ να απορροφήσει την ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα και να συμβάλει έτσι

στην παγκόσμια θέρμανση. Το δυναμικό του CO₂ ορίστηκε 1, με την υπόθεση ότι ο μέσος χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα είναι 100 χρόνια. Έτσι, για την ίδια ποσότητα εκπομπών, η σειρά (από μεγαλύτερες τιμές) του ΔΠΘ είναι: CFC>N₂O>CH₄>CO₂. Δεν έχουν προταθεί ΔΠΘ για τους ρυπαντές CO, NO_x, μη μεθανιούχες οργανικές ουσίες και SO₂, επειδή δεν υπάρχει αξιόπιστη μέθοδος εκτίμησης της άμεσης ή έμμεσης επίδρασής τους. Τιμές του ΔΠΘ δίνονται στον Πίνακα 2.7. Συγχρόνως, έχει οριστεί και η έννοια της **ενίσχυσης της ακτινοβολίας** (radiative forcing), της συμβολής δηλαδή ενός αερίου στην αύξηση της ακτινοβολίας IR που προσπίπτει στη γη από την ατμόσφαιρα.

Προβλέψεις για τις εκπομπές CO₂ και την Παγκόσμια θέρμανση

Πριν από 1.000 χρόνια η συγκέντρωση του CO₂ ήταν περίπου 280 ppm, ενώ σήμερα ανέρχεται περίπου στα 370 ppm και αυξάνει με ρυθμό περίπου 1,5 ppm το χρόνο. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂ ανέρχονται σε περίπου 6 δισεκατομμύρια τόνοι άνθρακα ανά έτος. Οι εκπομπές του CO₂ τα τελευταία χρόνια στον κόσμο και στην Ελλάδα έχουν παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 1.

Πίνακας 2.7. Δυναμικά παγκόσμιας θέρμανσης αερίων του θερμοκηπίου σε χρονικό ορίζοντα 100 ετών.

Αέριο Θερμοκηπίου	Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης*
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	1
Μεθάνιο (CH ₄)	23
Υποξείδιο του αζώτου (N ₂ O)	296
HFC-23	12000
HFC-125	3400
HFC-134a	1300
HFC-143a	4300
CF ₄	5700
C ₂ F ₆	11900
SF ₆	22200
HFE-125	19990
HG-10	2700

* Βασίζεται σε χρόνο παραμονής του CO₂ στην ατμόσφαιρα 100 έτη. (Πηγή: IPCC 2003).

Η συγκέντρωση του CO₂ το 2100 θα εξαρτηθεί από:

- (i) τον πληθυσμό της γης,
- (ii) το επίπεδο εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα,
- (iii) το βαθμό καταστροφής των δασών,
- (iv) τα τεχνολογικά επιτεύγματα και τη βελτιωμένη απόδοση συσκευών και διεργασιών
- (v) την ανάπτυξη των οικονομιών του κόσμου.

- Οι ετήσιες εκπομπές άνθρακα προβλέπεται να αυξηθούν σε 9,4 δισεκ. τόνους άνθρακα μέσα σε 20 χρόνια (~ το 54% περισσότερο από τα επίπεδα του 1990).
- Το πετρέλαιο είναι υπεύθυνο για τις μισές εκπομπές του CO₂, ενώ προβλέπεται ότι οι ποσότητες του που χρησιμοποιούνται θα αυξηθούν.

- Οι εκπομπές από τις αναπτυσσόμενες χώρες που εξαρτώνται από το κάρβουνο αναμένεται να αυξηθούν (παράδειγμα η Κίνα) και σύντομα θα ξεπεράσουν τις εκπομπές των αναπτυγμένων χωρών.

Πίνακας 2.8. Συγκεντρώσεις και ρυθμός αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου
(Πηγή: IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001, 2003.)

Αέριο θερμοκηπίου	Συγκ. στην ατμόσφαιρα (~1880)	Συγκ. στην ατμόσφαιρα (1998)	Ρυθμός αύξησης ανά έτος (90-99)	Χρόνος παραμονής (έτη)
Υδρατμοί		3000 ppmv		
CO ₂	~280 ppmv	365 ppmv	1,5 ppmv (0,4%)	5-200
CH ₄	~700 ppbv	1745 ppbv	7 ppbv (0,4%)	12
N ₂ O	~270 ppbv	314 ppbv	0,8 ppbv (0,25%)	114
Όζον	μεταβλητό	μεταβλητό		
CFC-11	0	268 pptv	-1,4 pptv (-0,5%)	45
HFC-23	0	14 pptv	0,55 pptv (4%)	260
CF ₄	0	80 pptv	1 pptv (1,25%)	>50000

ppmv : μέρη στο εκατομμύριο κατ' όγκον

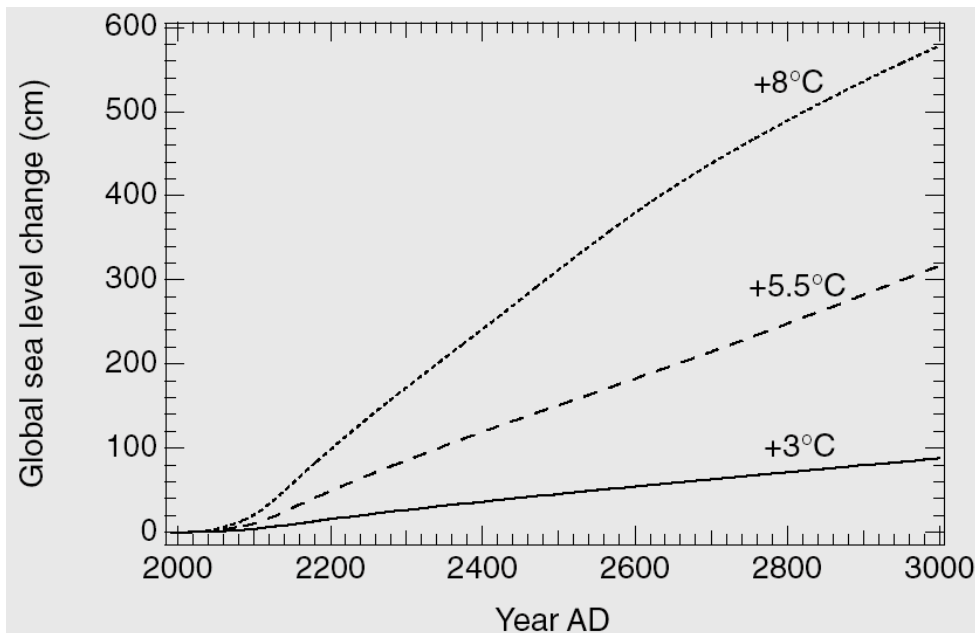
ppbv : μέρη στο δισεκατομμύριο κατ' όγκον

pptv : μέρη στο τρισεκατομμύριο κατ' όγκον

Προβλέψεις και οι ενδείξεις για την Παγκόσμια Θέρμανση

Οι σημαντικότερες από τις επιπτώσεις της παγκόσμιας θέρμανσης για τα επόμενα 300 χρόνια είναι:

1. Μέση εκτίμηση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη 1,5-6°C μέχρι το 2050. Η αύξηση δεν θα είναι όμοια σε όλες τις περιοχές. Μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας στους πόλους.
2. Προβλέπεται μεγάλης έκτασης λιώσιμο των πάγων, με αποτέλεσμα την ανύψωση του επιπέδου της θάλασσας κατά 0,1-0,5 m το 2100 (Σχήμα 2.4) . Η ανύψωση ενισχύεται από τη θερμική διαστολή του νερού. Ευρύτερες πλημμύρες αναμένονται σε περιοχές χαμηλού ή αρνητικού υψομέτρου (στην Μεσόγειο στο Δέλτα του Νείλου, τη Βενετία, τη Θεσσαλονίκη κ.ά.). Η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας θα είναι ίσως η πιο δραματική επίπτωση με πρόβλεψη για ανύψωση της θάλασσας κατά 2 μέτρα γύρω στο 2300! Η ανύψωση της θάλασσας κατά 1 m θα επηρεάσει μία έκταση 5 εκατομμυρίων τετραγωνικών χιλιομέτρων και περίπου 1 δις άτομα.
3. Η μείωση των περιοχών με πάγους και χιόνια θα μειώσει την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται στο διάστημα (μείωση της ανακλασιμότητας)
4. Αλλαγές στα επίπεδα βροχόπτωσης μπορεί να προκαλέσει την ερημοποίηση ορισμένων περιοχών, ενώ σε άλλες περιοχές μπορεί να προκληθούν πλημμύρες και έντονα καιρικά φαινόμενα.
5. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να είναι γρηγορότερη από την ικανότητα των φυτών και ζώων να προσαρμοστούν στις νέες κλιματολογικές συνθήκες, επιταχύνοντας την εξαφάνιση ορισμένων ειδών.



Σχήμα 2.4. Σενάρια αύξησης του επιπέδου της θάλασσας σε σχέση με την τελική αύξηση της θερμοκρασίας το 3000.

6. Η ενέργεια από τη θέρμανση των ωκεανών, της ξηράς και της ατμόσφαιρας μπορεί να επιφέρει περισσότερο ισχυρούς και καταστροφικούς τυφώνες. Επίσης, λόγω της θέρμανσης των ωκεανών μπορεί να τροποποιηθεί η κατεύθυνση των θαλάσσιων ρευμάτων με πιθανό αποτέλεσμα την ψύχρανση περιοχών της Ευρώπης με τον περιορισμό του ρεύματος από τον Κόλπο του Μεξικού.

7. Η άνοδος της θερμοκρασίας θα συντείνει στη διάδοση ασθενειών που προέρχονται από υδρόβιους μικροοργανισμούς, αλλά και από οργανισμούς που μεταφέρονται από έντομα.

Βέβαια κάποιες προβλέψεις θα πρέπει να μετριαστούν εξαιτίας της αναμενόμενης επίδρασης της ψύξης της ατμόσφαιρας από τις εκπομπές αερολυμάτων SO_2 , της δέσμευσης μεγαλύτερων ποσοτήτων CO_2 από τα δάση (ο ρυθμός ανάπτυξης των οποίων αναμένεται να αυξηθεί) από τους ωκεανούς, και της μείωσης των εκπομπών CFC λόγω του Πρωτοκόλλου του Montreal.

Ορισμένες ενδείξεις για το επίπεδο της παγκόσμια θέρμανση μέχρι τώρα είναι τα εξής:

1. Η παγκόσμια μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της γης αυξήθηκε κατά $0,6 \pm 0,2^\circ C$ τα τελευταία 150 χρόνια (Σχήμα 2.1), κυρίως στο βόρειο ημισφαίριο.
2. Στην Ανταρκτική, όπου παρατηρήθηκε μέση ετήσια αύξηση θερμοκρασίας $0,05^\circ C$ από το 1958, ο παγετώνας Wordie έχει λιώσει σχεδόν παντελώς.
3. Η γραμμή παρουσίας δένδρων στη Φιλανδία κινείται βόρεια με ρυθμό περίπου 40 m/έτος.
4. Η γραμμή «πάγου» της ατμόσφαιρας έχει ανυψωθεί περισσότερο από 160 m τα τελευταία 50 χρόνια.
5. Μαλάκια των ζεστών νερών βρίσκονται όλο και βορειότερα, ενώ μαλάκια κρύων νερών δεν ανευρίσκονται πια στα νοτιότερα όρια παρουσίας τους.
6. Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας κατά μερικά εκατοστά στα τελευταία 100 χρόνια, με ρυθμό ανύψωσης $\sim 1,5$ mm/έτος τα τελευταία χρόνια. Το θερμικό περιεχόμενο των ωκεανών αυξήθηκε σημαντικά μετά το 1950 και η μεγαλύτερη αύξηση σημειώθηκε στα ανώτερα 300 m.

7. Η τελευταία δεκαετία ήταν η θερμότερη περίοδος των δύο τελευταίων αιώνων, με πέντε χρονιές να είναι οι θερμότερες του αιώνα. Στην Ελλάδα, ο Μάιος και ο Ιούνιος του 2003 ήταν οι θερμότεροι από το 1897! Το καλοκαίρι του 2003, σε μεγάλο μέρος της Ευρώπης η μέση θερμοκρασία ήταν 3,7°C υψηλότερη από το μέσο όρο. Μεγάλα ποτάμια μετατράπηκαν σε ρυάκια και περίπου 20000 άτομα (κυρίως ηλικιωμένοι) έχασαν τη ζωή τους λόγω του καύσωνα.
8. Ο παγετώνας στο όρος Κιλιμάνζαρο συρρικνώθηκε περισσότερο από 40%. Εκτίμηση ορισμένων επιστημόνων είναι ότι ο παγετώνας αυτός δεν θα υπάρχει σε 50 χρόνια.
9. Μέσα σε τρία χρόνια, παγετώνες 11.000 ετών στη Σιβηρία έγιναν... λίμνες. «Περιβαλλοντική χιοναστιβάδα» χαρακτηρίζουν το φαινόμενο επιστήμονες που υποστηρίζουν ότι το οριστικό λιώσιμο των πάγων στη Σιβηρία δεν θα αποφευχθεί (ΟΙΚΟ-Καθημερινή, Σεπτ. 2005).

Άγνωστες ασθένειες από τις κλιματικές αλλαγές

ΗΜΕΡΗΣΙΑ 23/9/2006

Ασθένειες, που μέχρι τώρα ήταν σχεδόν άγνωστες στην Ευρώπη, άρχισαν να εμφανίζονται λόγω των κλιματικών αλλαγών, προειδοποίησε ο Βρετανός καθηγητής Πολ Χάντερ του Πανεπιστημίου της Ανατολικής Αγγλίας. Όπως τόνισε, ο άστατος καιρός που προκαλεί πλημμύρες και ξηρασία οδηγεί, επίσης, σε αλλαγές στην εμφάνιση μολυσματικών νόσων. Το τελευταίο διάστημα έκανε την εμφάνισή της μια νόσος που αποκαλείται «Vibrio vulnificus» και που προκαλείται από θαλάσσιους οργανισμούς στις χώρες του Κόλπου και στις Ηνωμένες Πολιτείες, πρόσθεσε ο καθηγητής Χάντερ, τονίζοντας ότι ένας άνθρωπος πέθανε στη Δανία από αυτή τη νόσο. Ο άνθρωπος μπορεί να μολυνθεί από τη νόσο αυτή τρώγοντας όστρακα ή και κολυμπώντας ακόμη σε μολυσμένα νερά. Ο οργανισμός αυτός ζει σε νερά που έχουν θερμοκρασία 20 βαθμών Κελσίου και άνω. Κάποιοι λουόμενοι στις ιταλικές ακτές μολύνθηκαν από ένα μικροοργανισμό που αποκαλείται «Ostreopsis onata», που μέχρι τώρα είχε εντοπιστεί μόνο σε πολύ θερμά κλίματα. «Πάνω από 100 λουόμενοι μεταφέρθηκαν στο νοσοκομείο με διάφορα συμπτώματα, όπως διάρροια και εξανθήματα», τόνισε ο καθηγητής κ. Χάντερ. «Η άποψή μας είναι ότι όλα αυτά οφείλονται, στο ό,τι οι χειμώνες δεν είναι πλέον τόσο ψυχροί όσο ήταν μέχρι τώρα», διευκρίνισε ο ίδιος.

Διασκέψεις για την κλιματική αλλαγή

Μάιος και Ιούνιος 1992, Rio de Janeiro, Βραζιλία: United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), *Convention of Climate Change* (σύνοδος για την αλλαγή του κλίματος, UNFCCC), με τη συμμετοχή 150 χωρών, όπου υποστηρίχτηκε η σταθεροποίηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στα επίπεδα του 1990 από το 2000 και μετά.

Αλλά: οι εκπομπές CO₂ αυξήθηκαν κατά ~10% μεταξύ 1991-2000 (Σχήμα 1.25). Μέρος της αύξησης αποδίδεται στη χαμηλή τιμή των ορυκτών καυσίμων (που αποτρέπει τη διείσδυση των ΑΠΕ και δεν προσφέρει ισχυρά κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας) και βέβαια στην ανάπτυξη της βιομηχανίας ορισμένων αναπτυσσόμενων χωρών

1995: Βερολίνο και 1996: Γενεύη, Ελβετία. Αλλαγή στάσης των ΗΠΑ από προαιρετικά σε υποχρεωτικά μέτρα. Τα πλούσια αναπτυγμένα κράτη που είναι υπεύθυνα για τις μεγαλύτερες ποσότητες των εκπομπών οφείλουν να σηκώσουν το βάρος της μείωσης των εκπομπών των

αερίων του θερμοκηπίου. Η Ευρώπη έδειξε τη θέλησή της για εντατικοποίηση των προσπαθειών, παρά τα μη ικανοποιητικά αποτελέσματα μέχρι τότε.

Δεκέμβριος 1997: Κιότο, Ιαπωνία. Συμμετείχαν 160 χώρες, υπογράφηκε το *Πρωτόκολλο του Κιότο* για τον έλεγχο των εκπομπών CO₂ από τις αναπτυγμένες χώρες. Η Ε.Ε. δεσμεύτηκε να μειώσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κατά 8% από τα επίπεδα του 1990 στο διάστημα 2008-2012. Οι στόχοι για τις ΗΠΑ ήταν η μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 7% από τα επίπεδα του 1990 μέχρι το 2008-2012, αν και έχει δηλώσει ότι δεν πρόκειται να επικυρώσει το Πρωτόκολλο.

Νοέμβριος 1998: Μπουένος Άιρες, Αργεντινή - η συνάντηση των τεσσάρων μερών. Στο μέλλον για σταθεροποίηση των αερίων του θερμοκηπίου απαιτείται συναίνεση των αναπτυσσόμενων μερών. «Πίστωση» (credit) για το CO₂. Ανταλλαγή πίστωσης μεταξύ διαφόρων χωρών.

Νοέμβριος 2000: Χάγη. Πλήρης αποτυχία στη θέσπιση μέτρων από τις αναπτυγμένες χώρες για δραστική μείωση των εκπομπών.

Η συνθήκη του Κιότο έχει επικυρωθεί από το Ευρωκοινοβούλιο και από την Ελληνική Βουλή, καθώς και από περισσότερες από 180 χώρες (Σεπτ. 2008), που είναι υπεύθυνες για το 55% των εκπομπών CO₂. (Με το Ν. 3017/2002 «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος» (ΦΕΚ Α 117) η Ελληνική Βουλή επισημοποίησε τη δέσμευση της χώρας για δράσεις που αντιστρατεύονται την τάση επιδείνωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου.) Δεν έχει επικυρωθεί από τις Η.Π.Α., οι οποίες είναι γενικά αντίθετες σε αυτό το πρωτόκολλο και την Αυστραλία (προβληματίζεται για τα αποθέματα γαιάνθρακα που διαθέτει).

Δεκέμβριος 2005: Διάσκεψη του ΟΗΕ για το Κλίμα, στο Μόντρεαλ του Καναδά. Εκατόν ογδόντα εννέα χώρες συμφώνησαν να έχουν για τα επόμενα δύο χρόνια ανεπίσημες συζητήσεις με θέμα «τη μακροπρόθεσμη συνεργασία για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών».

Πολιτικές που απαιτούνται

- Πρωταρχικό βήμα αποτελεί η εξάλειψη των έμμεσων επιδοτήσεων της κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων με τη μη φορολόγησή τους για το περιβαλλοντικό κόστος (φόρος CO₂ - carbon tax).
- Η αφαίρεση των επιδοτήσεων θα έδινε στους καταναλωτές κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας και για την προώθηση των εναλλακτικών καυσίμων με αποτέλεσμα τη μείωση σε σύντομο χρονικό διάστημα κατά 4-18 % των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.
- Η τιμή της ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα θα έπρεπε να αντανakλά το συνολικό κοινωνικό κόστος της χρήσης τους.
- Επιδοτήσεις στη χρήση και επιχορήγηση στην έρευνα σε εναλλακτικές λύσεις.
- Θέληση από τους πολιτικούς να λύσουν προβλήματα που δεν είναι βραχυπρόθεσμα και δεν επηρεάζουν άμεσα τις επόμενες εκλογές.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος του φαινομένου του θερμοκηπίου θα πρέπει σχετικά γρήγορα να μειωθούν οι εκπομπές του CO₂ και των άλλων αερίων ρύπων κατά 30% (ή τουλάχιστον να παραμείνει σταθερό, Σχήμα 2.5). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, μεταξύ άλλων, με την εξοικονόμηση ενέργειας, την ανάπτυξη αποδοτικότερων συσκευών και

αυτοκινήτων, το φύτεμα και την ανάπτυξη φυτικών ειδών (ειδών που αναπτύσσονται γρήγορα), τη μερική δέσμευση των εκπομπών του CO₂ και την προώθηση της χρήσης **ανανεώσιμων πηγών ενέργειας**. Ορισμένοι θεωρούν ότι και η πυρηνική ενέργεια μπορεί να συνδράμει στο στόχο αυτό με τη νέα γενιά πυρηνικών αντιδραστήρων και την ασφαλέστερη διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων.

Λιώνουν ταχύτατα οι «Αιώνιοι Πάγοι» στην Αρκτική...

BBC, 15-09-06

Με δραματικά γρήγορους ρυθμούς, πολύ ταχύτερους απ' ό,τι υπολόγιζαν μέχρι τώρα οι επιστήμονες, συρρικνώνονται οι πάγοι της Αρκτικής, ενισχύοντας τους κινδύνους για την εξαφάνιση μεγάλων χερσαίων εκτάσεων λόγω της επιταχυνόμενης υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Τη δυσοίωνα αυτή εξέλιξη διαπίστωσαν Αμερικανοί ερευνητές, οι οποίοι μελέτησαν τη συρρίκνωση των πάγων του Αρκτικού Κύκλου κατά τη διετία 2004 - 2005 με τη βοήθεια δορυφόρων της NASA. Τα αποτελέσματα της έρευνας δημοσιεύθηκαν στο έγκυρο επιστημονικό περιοδικό *Geophysical Research Letters* και καταγράφουν μείωση του «μόνιμου» πάγου κατά 14% στο διάστημα της διετίας. Ο «μόνιμος» πάγος είναι το παχύ στρώμα που δεν επηρεάζεται από τις εποχικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Η καταγραφείσα συρρίκνωση αντιστοιχεί στην εξαφάνιση μιας έκτασης πάγου ανάλογης με εκείνη του Πακιστάν ή της Τουρκίας.

Η δραστική συρρίκνωση του αρκτικού πάγου μπορεί να οφείλεται, σύμφωνα με τους ερευνητές, σε ασυνήθιστους ανέμους κατά την τελευταία διετία, στην αύξηση της θερμοκρασίας ή σε συνδυασμό των δύο παραγόντων. Η αύξηση της θερμοκρασίας στον Αρκτικό Κύκλο υπολογίζεται ότι είναι διπλάσια του πλανητικού μέσου όρου. Τον Σεπτέμβριο του 2005, η έκταση της Αρκτικής που καλυπτόταν από πάγο ήταν η μικρότερη από το 1978, τη χρονιά που για πρώτη φορά κατέστησαν προσιτές στους επιστήμονες δορυφορικές μετρήσεις και απεικονίσεις. Ο «μόνιμος» ή «αιώνιος» πάγος είναι ένα στρώμα με πάχος που φτάνει τα τρία μέτρα και το οποίο διατηρείται άθικτο τουλάχιστον για ένα καλοκαίρι. Διαφέρει από τον «εποχικό» πάγο που είναι λεπτότερος και λιώνει πιο εύκολα, με αποτέλεσμα να διατηρείται μόνο το χειμώνα και να εξαφανίζεται το καλοκαίρι.

Μείωση της τάξης του 14%

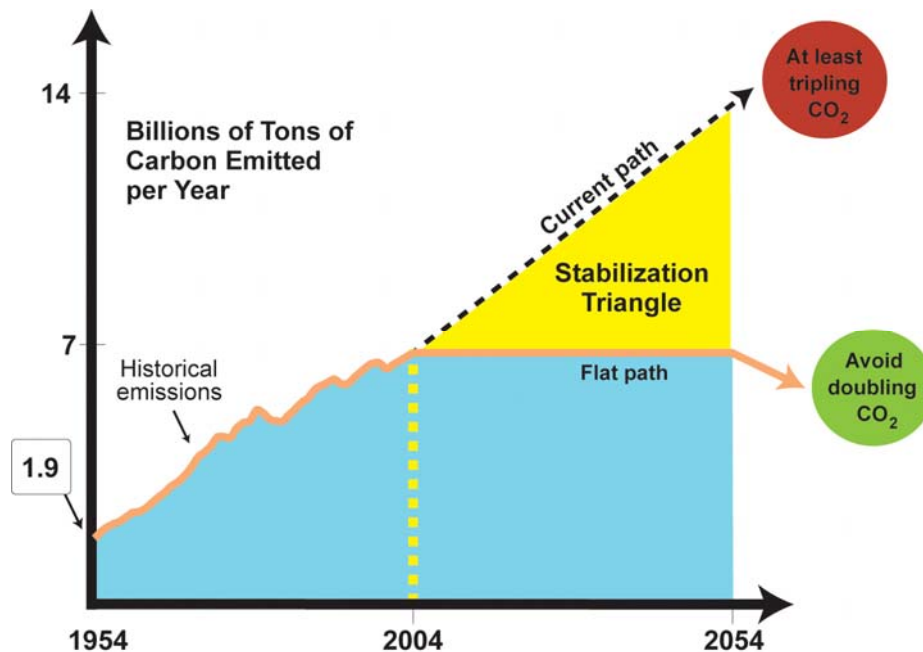
«Τα δεδομένα των προηγούμενων μετρήσεων έδειξαν συρρίκνωση του μόνιμου πάγου της τάξης του 6,4% έως 7,8% ανά δεκαετία. Ωστόσο, από το 2004 μέχρι το 2005 καταγράψαμε μείωση της τάξης του 14%, μια τεράστια συρρίκνωση μέσα σε ένα μόνο χρόνο», σημειώνει ο δρ Σον Νγκιέμ από το εργαστήριο της NASA στην Καλιφόρνια.

Αν συνεχισθούν αυτές οι τάσεις, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον δεν θα είναι ευχάριστες. Ο πάγος αντανάκλα την ηλιακή ακτινοβολία στο Διάστημα, ενώ τα νερά των ωκεανών την απορροφούν. Επομένως, ένας πλανήτης με λιγότερο πάγο θα θερμαίνεται πιο γρήγορα, φέρνοντας πιο κοντά τα απαισιόδοξα σενάρια για τις επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου. Πρόκειται για ένα αυτοτροφοδοτούμενο φαύλο κύκλο. Άλλη μια δραματική υπόμνηση της επείγουσας ανάγκης για λήψη μέτρων (όπως η εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Κιότο) που θα καταπολεμήσουν αποτελεσματικά το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Μερική Αντιμετώπιση - Δέσμευση των εκπομπών CO₂

1) Σταθεροποίηση με δέσμευση των προϊόντων της καύσης, διεργασία κατά την οποία απαιτείται τουλάχιστον 20% περισσότερη ενέργεια. Πρόβλημα ο διαχωρισμός CO₂/N₂ (καύση με καθαρό O₂). Μέθοδοι δέσμευσης είναι:

- χημική προσρόφηση (ΜΕΑ, μονοαιθαλοναμίνη)
- διαχωρισμός με μεμβράνες
- κρυογονική κλασματοποίηση
- διαχωρισμός με μοριακά κόσκινα



Σχήμα 2.5. Οι εκπομπές του CO₂ αναμένεται τουλάχιστον να διπλασιαστούν τα επόμενα 50 χρόνια και απαιτούνται μέτρα για την σταθεροποίησή τους (πηγή: <http://www.princeton.edu/pr/news/04/q3/0812-carbon.htm>).

2) Άμεσες χρήσεις για παραγωγή χρήσιμων προϊόντων με καταλυτική μετατροπή σε CH₄



Προς το παρόν βέβαια αποτελεί δαπανηρή μέθοδο και διερευνάται μόνο ερευνητικά κυρίως στην Ιαπωνία.

3) Αποθήκευση σε κλίνες άνθρακα, σε θόλους άλατος, σε παλιούς ταμειυτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου και σε βαθείς «αλμυρούς» υδροφόρους ταμειυτήρες (όπως το νορβηγικό πρόγραμμα στο Sleipner).

4) Απευθείας δέσμευση σε μεγάλα βάθη (>3000 m) στους ωκεανούς, όπου εκτιμάται ότι μπορούν να διατηρηθούν για τουλάχιστον 500 χρόνια.

5) Βιολογική μετατροπή με μικροοργανισμούς.

2.4 Όξινη Απόθεση

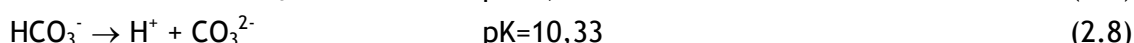
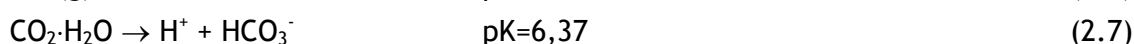
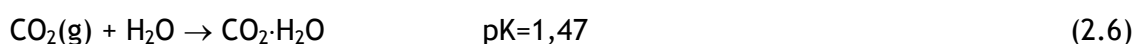
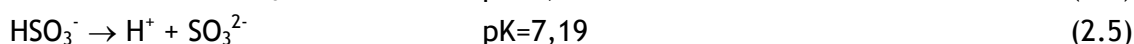
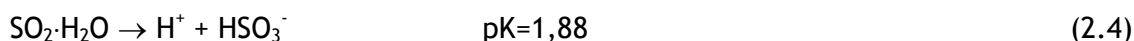
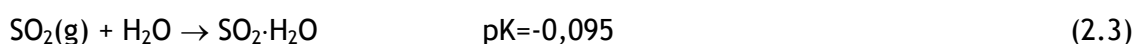
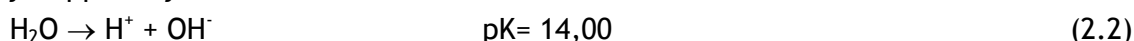
«Όξινη Βροχή» είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον όξινο χαρακτήρα του νερού της ατμόσφαιρας. Προέρχεται βασικά από τις εκπομπές στην

ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου και αμμωνίας. Ένας περισσότερο ακριβής όρος είναι η **όξινη απόθεση** (acid deposition), η οποία αποτελείται από δύο μέρη, την υγρή και την αέρια απόθεση. Η υγρή απόθεση αναφέρεται στην όξινη βροχή, ομίχλη και χιόνι. Καθώς το όξινο νερό πέφτει στη γη επιδρά στα φυτά, τα υλικά και τον άνθρωπο. Οι επιπτώσεις από την όξινη βροχή εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως το pH του όξινου νερού, τη χημεία και τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους και των επιφανειακών νερών, τα είδη των ψαριών, δένδρων και όλων των οργανισμών που εξαρτώνται από το νερό. Η αέρια απόθεση αφορά όξινα αέρια και σωματίδια. Ο αέρας μεταφέρει τα όξινα αέρια και τα σωματίδια σε κάθε επιφάνεια. Στα πρώτα στάδια μιας βροχής το νερό παρασύρει την αέρια απόθεση κάνοντας το νερό περισσότερο όξινο.

Στη φύση υπάρχει (ή μάλλον υπήρχε) μία ισορροπία: η οξειδωση και η αναγωγή των διαφόρων ουσιών συνοδεύονται από την απελευθέρωση και την κατανάλωση πρωτονίων (H^+), αντίστοιχα. Οι οξειδωτικές αντιδράσεις κατά την καύση του άνθρακα, του θείου και του αζώτου ξεπερνούν τις αναγωγικές αντιδράσεις με αποτέλεσμα την καθαρή παραγωγή H^+ στην ατμόσφαιρα και τη μεταφορά των πρωτονίων αυτών στην επιφάνεια της γης και στους υδάτινους ταμιευτήρες.

Οξειδία του θείου

Για το σύστημα CO_2 - SO_2 - H_2O οι σχετικές χημικές αντιδράσεις και οι αντίστοιχες σταθερές ισορροπίας είναι:



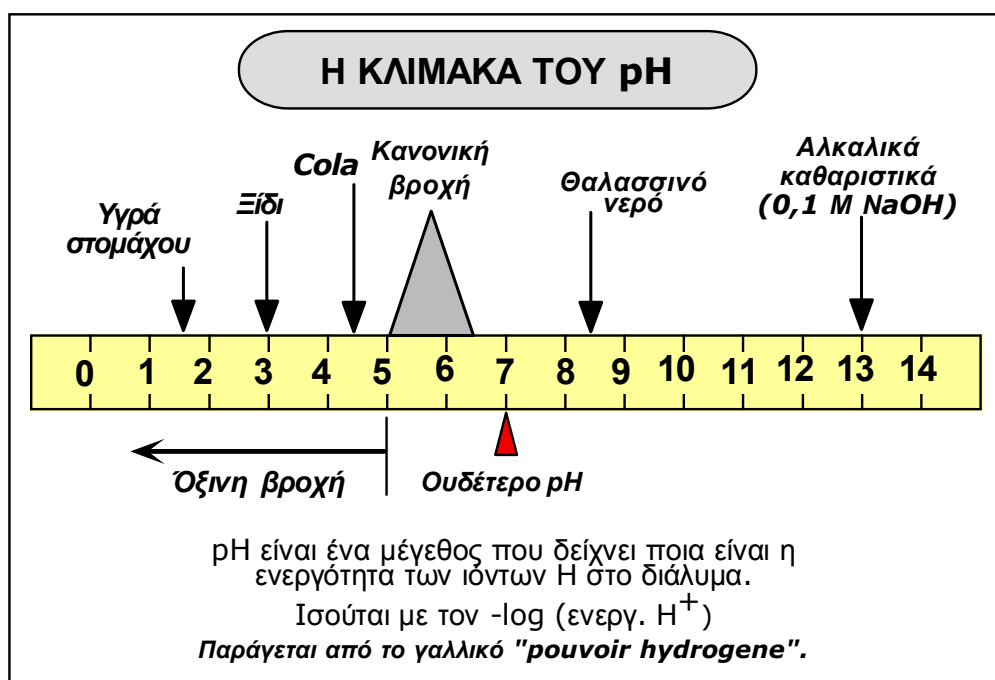
όπου pK οι σταθερές ισορροπίας σε υδατικό διάλυμα. Με τη χρήση των παραπάνω αντιδράσεων μπορούν να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των ειδών που βρίσκονται διαλυμένα σε καθαρό νερό σε ισορροπία με CO_2 της ατμόσφαιρας σε συγκέντρωση 342 ppb και SO_2 σε συγκέντρωση (A) μηδενική, (B) 0,3 ppb (καθαρή εξοχική περιοχή), (C) 3 ppb (ελαφρά ρυπασμένη εξοχική περιοχή ή καθαρή αστική περιοχή), (D) 30 ppb (ρυπασμένη αστική περιοχή) και (E) 1600 ppb (εξαιρετικά ρυπασμένη περιοχή). (ppb είναι τα μέρη στο δισεκατομμύριο.) Για τόσο αραιά διαλύματα οι συντελεστές ενεργότητας μπορούν να θεωρηθούν μηδέν. Οι υπολογιζόμενες τιμές φαίνονται στον Πίνακα 2.9.

Είναι φανερό ότι η επίδραση του CO_2 στην οξύτητα του νερού της βροχής, ακόμα και σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι αμελητέα σε σύγκριση με την οξύτητα από το SO_2 ακόμα και σε μικρές περιεκτικότητες. Για μηδενική συγκέντρωση SO_2 , το pH (ορισμός της όξινης βροχής στο Σχήμα 2.6) του αποσταγμένου νερού (και του βρόχινου) ρυθμίζεται στο 5,66 από το CO_2 της ατμόσφαιρας. Σε μέτρια ρυπασμένη πόλη, όπου η ατμόσφαιρα περιέχει 30 ppb SO_2 και 342 ppb CO_2 , το pH φτάνει το 4,66.

Οξειδία του αζώτου

Πηγές των NO και NO₂

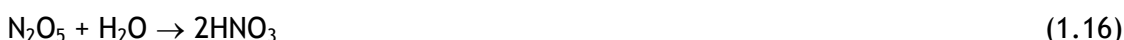
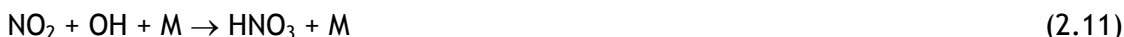
Σε αραιοκατοικημένες περιοχές τα οξείδια του αζώτου προέρχονται από φυσικές παρά από ανθρωπογενείς πηγές, όπως κατά τη διάρκεια κεραυνών ή από το έδαφος και το θαλασσινό νερό. Σε αστικά κέντρα παράγονται από τις καύσεις διαφόρων υλών (από το περιεχόμενο στα καύσιμα άζωτο και λόγω της καύσης σε υψηλές θερμοκρασίες) και από τις εκπομπές των οχημάτων. Οι συγκεντρώσεις των NO και NO₂ εκεί φτάνουν τα 500 ppb ενώ στις εξοχικές περιοχές μόλις το 1 ppb.



Σχήμα 2.6. Η κλίμακα του pH και ο ορισμός της όξινης βροχής.

Τα τελευταία χρόνια η παραγωγή των οξειδίων από τις βιομηχανικές μονάδες μειώθηκε ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε από τη χρήση ηλεκτρικών μηχανών, κινητήρων και αγωγών για τη μεταφορά φυσικού αερίου. Η ετήσια παραγωγή NO και NO₂ στις ΗΠΑ το 1950 (από ανθρωπογενείς πηγές) ήταν 9 δις kg ενώ το 1990 ξεπέρασε τα 25 δις kg.

Οι σημαντικότερες οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις για τα οξείδια του αζώτου είναι:



όπου RH και RCHO είναι οργανικά αλκάνια και αλδεΐδες αντίστοιχα.

Στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, ατομικό οξυγόνο σχηματίζεται από την φωτοαναγωγή του NO₂



Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας το NO₂ μετατρέπεται σε NO, απελευθερώνοντας ελεύθερες ρίζες οξυγόνου οι οποίες ενώνονται με το O₂ για το σχηματισμό του O₃:

Πίνακας 2.9. Συγκεντρώσεις ισορροπίας ειδών σε μορφή διαλυμένη σε καθαρό νερό το οποίο είναι σε ισορροπία με τα αέρια CO₂ και SO₂. Οι συγκεντρώσεις των αερίων δίνονται σε ppb ή ppm, ενώ των διαλυμένων ειδών σε pC (-log της συγκέντρωσης) και υπολογίζονται από τις σταθερές ισορροπίας των αντιδράσεων 1-7. Οι συντελεστές ενεργότητας λαμβάνονται μοναδιαίοι.

	A	B	C	D	E	F
CO ₂ (g) /ppm	0	342	342	342	342	342
SO ₂ (g) /ppb	0,3	0	0,3	3	30	1600
[SO ₂ ·H ₂ O]	9,43	0	9,43	8,43	7,43	5,71
[HSO ₃ ⁻]	5,65	0	5,80	5,15	4,65	3,79
[SO ₃ ²⁻]	7,18	0	7,48	7,18	7,18	7,18
[CO ₂ ·H ₂ O]	0	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
[HCO ₃ ⁻]	0	5,65	5,80	6,15	6,65	7,51
[CO ₃ ²⁻]	0	10,32	10,62	11,32	12,32	14,04
pH	5,66	5,66	5,51	5,16	4,66	3,80

(A), (B), (C) : καθαρή εξοχική περιοχή

(D): καθαρή αστική περιοχή ή ελαφρά μολυσμένη εξοχική περιοχή

(E): μολυσμένη αστική περιοχή

(F) : εξαιρετικά μολυσμένη περιοχή



(το M είναι N₂ ή O₂). Υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος παρατηρούνται τις απογευματινές ώρες τους καλοκαιρινούς μήνες. Κατά τη διάρκεια της νύχτας το O₃ αντιδρά με το NO και σχηματίζει ξανά NO₂, σύμφωνα με την αντίδραση 10.

Η παραγωγή του όζοντος, όπως περιγράφεται προηγουμένως, μπορεί να μειωθεί αν μειωθεί η διαθέσιμη συγκέντρωση των NO και NO₂ καθώς αυτά καταναλώνονται σύμφωνα με τις αντιδράσεις 10-15 για να δώσουν HNO₃. Επίσης το παραγόμενο όζον οξειδώνει εύκολα το NO (αντίδραση 8) παρουσία οργανικών όπως αλκένια, αλδεΐδες και αρωματικές ενώσεις.

Στάδια γένεσης της όξινης βροχής

- Παραγωγή οξειδίων (φυσικών και ανθρωπογενών), όπως φαίνεται σχηματικά στο Σχήμα 2.7.
- Απορρόφηση των οξειδίων (σε αέρια ή στερεή φάση) στο νερό (νέφη, βροχή, ομίχλη, χιόνι)
- Αλληλεπίδραση των παραγόμενων οξέων (SO₂ H₂O, H₂SO₄, HNO₃) με την αμμωνία και τα ανθρακικά άλατα.
- «Καθαρισμός» και μερική διαλυτοποίηση των αερολυμάτων στο νερό

Εναπόθεση των οξέων: «ξηρή» εναπόθεση (μεταφορά χωρίς τη μεσολάβηση νερού, εναπόθεση στερεών σωματιδίων) και «υγρή» εναπόθεση (μεταφορά μέσω ομίχλης, βροχής, χιονιού). Περίπου το ½ της απόθεσης γίνεται με την υγρή εναπόθεση.

Πρόελευση των οξειδίων

Οξείδια του θείου

Προέρχονται από την καύση στερεών καυσίμων (κυρίως πετρελαίου και άνθρακα) και τα αέρια αυτά είναι υπεύθυνα για τα $\sim 2/3$ της οξύτητας της ατμόσφαιρας. Το 64% της συνολικής ποσότητας του SO_2 που υπάρχει στην ατμόσφαιρα εκπέμπεται από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (βλ. επίσης Σχήμα 2.7). Υπάρχουν τεχνικές για τη δέσμευση αυτών των ρυπαντών και μερικές από αυτές συζητιούνται στο Κεφάλαιο 12.

Πρωτογενείς ρυπαντές: SO_2 , SO_3 ($\text{SO}_2 + \text{SO}_3 = \text{SO}_x$), H_2S

Δευτερογενείς ρυπαντές: H_2SO_4 , MSO_4 (π.χ. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, CaSO_4 , MgSO_4)



Σχήμα 2.7. Το διοξείδιο του θείου (SO_2) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x) συνενώνονται με μόρια νερού και σχηματίζονται θειικό και νιτρικό οξύ.

Οξείδια του αζώτου, NO_x

Προέρχονται κυρίως από τις εκπομπές των αυτοκινήτων. Το $1/4$ των NO_x προέρχονται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση συμβατικών καυσίμων και κυρίως άνθρακα. Συνεισφέρουν κατά $\sim 1/3$ στην οξύτητα της ατμόσφαιρας. Οι εκπομπές «θερμικών» NO_x μπορούν να μειωθούν με τη μείωση της θερμοκρασίας της καύσης.

Πρωτογενείς ρυπαντές: NO , NH_3 , ($\text{NO} + \text{NO}_2 = \text{NO}_x$)

Δευτερογενείς ρυπαντές: NO_2 , HNO_3 (g), MNO_3

Υδροχλωρικό οξύ, HCl

Προέρχεται κυρίως από την καύση και την αποσύνθεση οργανοχλωριωμένων ενώσεων, μεταξύ των οποίων και πολλών πολυμερικών ουσιών.

Φυσική οξύτητα

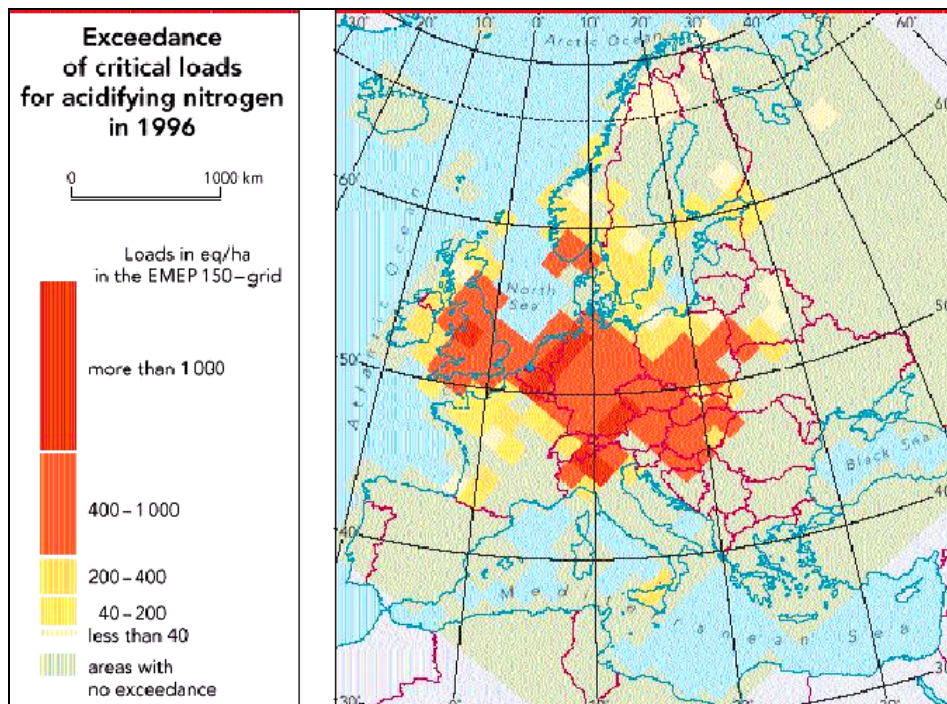
Προέρχεται από φυσικές πηγές, όπως από τα ηφαίστεια.

Βάσεις

Προέρχονται συνήθως από την αιωρούμενη σκόνη.

Τα οξείδια (και άλλοι ρυπαντές) μπορούν να μεταφερθούν μέχρι και 1000 km και έτσι μπορούν να πληγούν περιοχές χωρίς ιδιαίτερες εκπομπές των ρύπων (Βορειανατολική Αμερική, Κεντρική Ευρώπη και Σκανδιναβία). Η φόρτιση των εδαφών της Ευρώπης σε οξύτητα παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.8. Ο ρυθμός απόθεσης των ρυπαντών εξαρτάται από: (α)

τη φύση ρυπαντή (τύπος, κατανομή μεγέθους), (β) το τυρβώδες πεδίο της ατμόσφαιρας και (γ) τα χαρακτηριστικά επιφάνειας-δέκτη (νερό, φυτό, μνημείο). Τα οξέα στην ομίχλη μπορεί να είναι 10-50 φορές περισσότερα από ότι στη βροχή. Στην Ελλάδα δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα αναφορικά με την οξίνιση του εδάφους και των νερών. Μόνο το 25% των δειγμάτων βροχής είναι κάτω από pH 5,0, αλλά και η σύσταση των εδαφών της χώρας μας κάνει σχεδόν αδύνατη την προσβολή από την όξινη βροχή. Βεβαίως, η επίδραση της όξινης απόθεσης στα μαρμάρινα μνημεία της χώρας μας είναι ιδιαίτερα επιβλαβής.



Σχήμα 2.8. Φόρτιση των εδαφών της ΕΕ με οξύτητα.

Επίδραση της όξινης βροχής

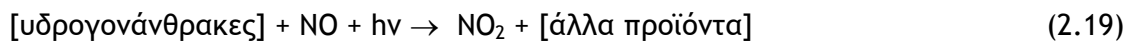
- Μείωση του pH των νερών σε ποτάμια, λίμνες, ρυάκια. Διαπιστώθηκε πρώτη φορά στη δεκαετία του 50 από την εξαφάνιση ψαριών σε λίμνες της Σκανδιναβικής Χερσονήσου.
- Στα δέντρα και τη βλάστηση (λειχήνες, μύκητες κ.α.) οι επιπτώσεις είναι ιδιαίτερα σοβαρές σε $\text{pH} < 5,1$. Στα δάση οι κύριες επιπτώσεις είναι η μικρότερη αύξηση των δένδρων, η μείωση του φυλλώματος, οι τραυματισμοί, και τελικά ή ολική καταστροφή των δένδρων. Εκτιμάται ότι ένα στα τέσσερα δένδρα στην Ευρώπη έχουν πάθει κάποιας μορφής βλάβη από την όξινη απόθεση.
- Στην υγεία των ανθρώπων είτε άμεσα (με επίδραση στο αναπνευστικό σύστημα) ή έμμεσα από την τροφική αλυσίδα.
- Στους υδρόβιους οργανισμούς για $\text{pH} < 5,5$ (ιδιαίτερα ευαίσθητοι είναι οι μικροί υδρόβιοι οργανισμοί).
- Η όξινη βροχή έχει επιπτώσεις στην τροφική αλυσίδα ορισμένων ειδών γιατί διαλυτοποιεί και χάνονται από τα έδαφος ορισμένα θρεπτικά συστατικά. Συγχρόνως, μπορεί να διαλυτοποιήσει ορισμένα μέταλλα που μπορεί να είναι τοξικά σε ορισμένους μικροοργανισμούς, πουλιά και ζώα.

- Στα υλικά προκαλείται διάβρωση των μεταλλικών υλικών, φθορά ορισμένων δομικών υλικών (πέτρες, κονιαμάτων) και κυρίως των πολιτιστικών μνημείων (διαλυτοποίηση, γυψοποίηση) και καταστροφή προστατευτικών επικαλύψεων.
- Μείωση ορατότητας. Σε ατμοσφαιρική συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου 0,1 ppm η ορατότητα μειώνεται στα 8 χιλιόμετρα.

2.5. Αιθαλομίχλη - Φωτοχημικό Νέφος (smog)

Το φωτοχημικό νέφος (ή νέφος του Los Angeles) είναι η «καφετιά-υποκίτρινη» ομίχλη που ρυπαίνει τις πόλεις, ιδίως τους καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες. Το κυριότερο συστατικό αυτού του νέφους είναι το όζον. Το είδος αυτό του νέφους δεν πρέπει να συνδέεται με το όξινο νέφος που οφείλεται στις υψηλές συγκεντρώσεις SO₂ (νέφος του Λονδίνου).

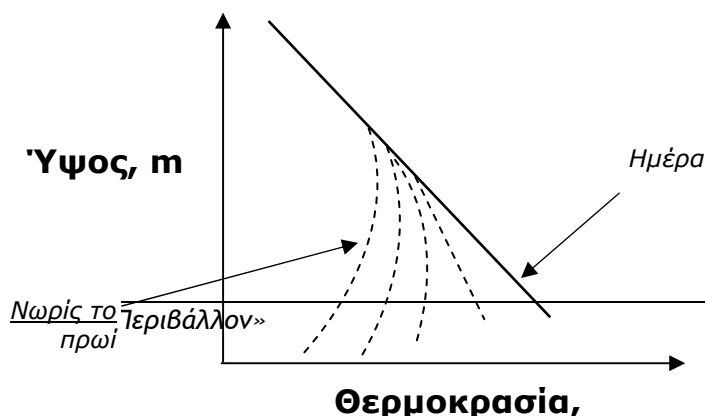
Το φαινόμενο οφείλεται κυρίως στις εκπομπές των NO_x (μαζί με πτητικές οργανικές ουσίες, κυρίως άκαυστους υδρογονάνθρακες), τα οποία προέρχονται κυρίως από τις εκπομπές των αυτοκινήτων. Αποτελεί σύνθετο πρόβλημα, που πλήττει κυρίως μεγάλες, ηλιόλουστες πόλεις με θερμό και ξηρό κλίμα. Απλουστευτικά οι κυριότερες αντιδράσεις μπορεί να γραφούν ως εξής:



Εκτός από το όζον, άλλα οξειδωτικά που παράγονται είναι το PAN (CH₃CO₃NO₂) και αλδεΐδες (RCHO, όπου R είναι μια ρίζα υδρογονάνθρακα, όπως η μεθυλική, CH₃). Το ενδιάμεσο προϊόν NO₂ δίνει το καφετί χρώμα στην ατμόσφαιρα. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η παρουσία CO και CH₄, ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο μεγαλύτερη είναι και η παραγωγή του όζοντος. Τα προϊόντα του νέφους ερεθίζουν τα μάτια και επιδρούν αρνητικά στο αναπνευστικό σύστημα. Οι διάφοροι υδρογονάνθρακες έχουν σημαντικά διαφορετικό δυναμικό να δημιουργήσουν νέφος. Για παράδειγμα, το μεθάνιο δεν είναι καθόλου δραστικό, σε αντίθεση με το αιθυλένιο (C₂H₄) και το προπυλένιο (C₃H₆).

Θερμοκρασιακή αναστροφή

Υπάρχουν διάφορες αιτίες για τη δημιουργία θερμοκρασιακής αναστροφής. Η συνηθέστερη είναι η αναστροφή λόγω της ακτινοβολίας της γης. Κανονικά η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας μειώνεται κατά -7°C ανά 1000 m ύψος. Κατά τη διάρκεια μιας ξηρής νύχτας, η γη εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία και ψύχεται, δημιουργώντας κάποια θερμοκρασιακή αναστροφή (σε ύψος μικρότερο από 500 m).



Κατά το λυκαυγές, η αναστροφή γίνεται ισχυρότερη. Με το ήλιο, η γη θερμαίνεται και αποκαθίσταται η φυσική μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος στην κατώτερη ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα τη μείωση της επίδρασης του νέφους μετά το μεσημέρι.

2.6. Θερμική Ρύπανση

Θερμική ρύπανση είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα ή του νερού από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, άμεσες ή έμμεσες. Η θερμική ρύπανση του αέρα σχετίζεται με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και την απόρριψη θερμότητας στην ατμόσφαιρα από διάφορες δραστηριότητες. Περισσότερο σοβαρή όμως και με άμεσες συνέπειες είναι η θερμική ρύπανση των νερών, με την απελευθέρωση ποσοτήτων ενέργειας με τη μορφή ραδιενεργού ακτινοβολίας και θερμότητας σε λίμνες, ποτάμια και ωκεανούς σε τέτοιο βαθμό που να επιδρούν στα υδάτινα οικοσυστήματα. Η μεταβολή της θερμοκρασίας των υδάτινων όγκων γίνεται βεβαίως σε κάποιο βαθμό φυσικά, με την αλλαγή των εποχών. Εκείνο που ανησυχεί είναι οι αλλαγές της θερμοκρασίας από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η θερμική ρύπανση των νερών προκαλείται κυρίως από τη διάθεση θερμών νερών που χρησιμοποιήθηκαν στα συστήματα ψύξης θερμικών και πυρηνικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος και άλλων βιομηχανιών. Άλλες πηγές θερμικής ρύπανσης είναι η διάβρωση του εδάφους και η αποδάσωση κοντά στις ακτές (λόγω της μεγαλύτερης απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από το θολό νερό), οι οποίες είναι έμμεσες πηγές, και οι αποστραγγίσεις νερών από κτήρια και ασφαλοστρωμένους δρόμους και πεζοδρόμια, τα οποία γίνονται θερμότερα από το έδαφος.

Η αυξημένη θερμοκρασία των νερών μειώνει τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, επιδρά στην ανάπτυξη και την αναπαραγωγική διαδικασία πολλών υδάτινων ειδών, μπορεί να προκαλέσει ασθένειες ακόμη και το θάνατο ψαριών λόγω του θερμικού αιφνιδιασμού (thermal shock) και επιδρά στη χλωρίδα των οικοσυστημάτων (με την είσοδο νέων ειδών και με την αύξηση ορισμένων φυκών και τη δημιουργία ανασερόβιων συνθηκών). Συγχρόνως τα θερμά ρεύματα νερού περιέχουν συχνά ρυπαντές που επιδρούν άμεσα στο υδάτινο οικοσύστημα. Βεβαίως, μερικοί υποστηρίζουν, και είναι σωστό σε ορισμένες περιπτώσεις, ότι το θερμό νερό μπορεί να είναι ευεργετικό (thermal enrichment). Για παράδειγμα, καλλιέργειες που κινδυνεύουν να παγώσουν τη νύχτα μπορούν να ψεκαστούν με θερμό νερό, ενώ μπορεί να βοηθηθεί η ανάπτυξη ιχθυοκαλλιεργειών. Προφανώς, τα αρνητικά αποτελέσματα υπερτερούν κατά πολύ των θετικών.

2.7. Ενέργεια και Άλλες Μορφές Ρύπανσης

- Επιφανειακά ορυχεία: ανοικτές «πληγές», σκόνη, θόρυβος. Απαιτείται να γίνει ανάπλαση του χώρου.

- Καθιζήσεις και πλημμύρες σε υπόγεια ορυχεία.
- Διυλιστήρια: οπτική ρύπανση, οσμές, κίνδυνος εκπομπής τοξικών ουσιών, κίνδυνος εκρήξεων και πυρκαγιάς κ.ά.
- Ατμοηλεκτρικές μονάδες: οπτική ρύπανση, οσμές, τοπική αλλαγή του κλίματος από τη θερμική ρύπανση και την υγρασία από τους πύργους ψύξης κ.ά.
- Μεταφορά πετρελαίου: κυρίως με θαλάσσια μέσα
 - Μεταξύ 1970 και 1986: 186 μεγάλες διαρροές πετρελαίου από πλοία
 - 1989: “Εκχον Valdez”, Αλάσκα, 39.000 τόνοι αργού πετρελαίου στη θάλασσα. Χωρίς να είναι η μεγαλύτερη διαρροή πετρελαίου, επηρεάστηκε σημαντικά το κοινό των Η.Π.Α.

Πετρελαιοκηλίδες μπορούν να προκληθούν από ατυχήματα σε **πετρελαιοφόρα δεξαμενόπλοια** και σε **εξέδρες** άντλησης πετρελαίου, από τον παράνομο καθαρισμό των δεξαμενών των πλοίων και την απόρριψη χρησιμοποιημένων λιπαντικών στη θάλασσα.

Το πετρέλαιο έχει μικρότερο ειδικό βάρος από το νερό και για το λόγο αυτό επιπλέει στην επιφάνειά της θάλασσας. Από τη στιγμή που το πετρέλαιο θα βρεθεί στη θάλασσα, αρχίζει μια αργή, φυσική διαδικασία οξειδωσης και βιοδιάσπασής του από μικροοργανισμούς που έχουν την ικανότητα να διασπούν υδρογονάνθρακες.



Prestige, Νοεμ. 2002

Οι πετρελαιοκηλίδες έχουν καταστρεπτική επίδραση στη χλωρίδα και την πανίδα σε μεγάλη έκταση γύρω από το σημείο όπου δημιουργήθηκαν, όπως επιπτώσεις στο πλαγκτόν, μαζικοί θάνατοι θαλάσσιων οργανισμών και πτηνών κτλ. Ορισμένα πουλιά πεθαίνουν από δηλητηρίαση λόγω κατάποσης πετρελαίου, ενώ συνήθως το φτέρωμά τους διαβρέχεται από το πετρέλαιο, με αποτέλεσμα να καταστρέφεται η θερμική τους μόνωση και τελικά να πεθαίνουν από εξάντληση και υποθερμία. Εκτός από τις καταστρεπτικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, σημαντικές είναι και οι δυσμενείς επιπτώσεις των πετρελαιοκηλίδων στην αλιεία και τον τουρισμό στις περιοχές που πλήττονται. Μερικές από τα σημαντικότερες πετρελαιοκηλίδες τα τελευταία 30 χρόνια καταγράφονται στον Πίνακα 2.10.

Πίνακας 2.10. Κυριότερες πετρελαιοκηλίδες σε κόσμο και Ελλάδα.

Αίτιο	Έτος	Περιοχή	Ποσότητα πετρελαίου (τόνοι)
Amoco Cadiz (πλοίο)	1978	Βρετάνη, Γαλλία	223.000
Ixtoc I (εξέδρα)	1979	Κόλπος Μεξικού	600.000
Independence (πλοίο)	1979	Κων/λη, Τουρκία	95.000
Atlantic Empress (πλοίο)	1979	Τρινιτάντ & Τομπάκο	300.000
Nowruz (εξέδρα)	1979	Περσικός Κόλπος	600.000
Castillo de Belver (πλοίο)	1983	Κέιπ Τάουν, Ν. Αφρική	250.000
Εκχον Valdez (πλοίο)	1989	Αλάσκα	42.000
Πόλεμος του Ιρακ	1991	Περσικός Κόλπος	1.250.000
Aegean Sea (πλοίο)	1992	La Coruna, Ισπανία	85.000
Braer (πλοίο)	1993	Νησιά Shetlands	88.000

Sea Empress (πλοίο)	1996	Ουαλία, Η.Β.	70.000
Erika (πλοίο)	1999	Γαλλία	25.000
Prestige (πλοίο)	2002	Γαλικία, Β. Ισπανία	42.000
Μεσσηνιακή Φροντίς (πλοίο)	1979	Κρήτη	12.000
Irene's Serenade (πλοίο)	1980	Πύλος	40.000
Iliad (πλοίο)	1993	Πύλος	1.000

2.8. Μείωση της Στιβάδας του Όζοντος

Το πρόβλημα της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος δεν προκαλείται άμεσα από το τομέα της ενέργειας. Επειδή όμως αποτελεί σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, θεωρήθηκε σκόπιμο να δοθεί μια σύντομη περιγραφή.

Το όζον (από το ρήμα «όζειν»), αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου και είναι σχετικά σπάνιο στην ατμόσφαιρα, με μέση συγκέντρωση 3 μόρια όζοντος σε 10 εκατομμύρια μόρια αέρα (0,3 ppbv). Έχει ιδιάζουσα οσμή και είναι εκρηκτικό σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Αντιδρά έντονα και οξειδώνει πολλές ουσίες, ιδιότητα που χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο τελευταία σε διεργασίες καθαρισμού αερίων και απολύμανσης νερού.

Στρατόσφαιρα

- Στην Στρατόσφαιρα (Σχήμα 2.9) περιέχεται το περίπου το 90% του όζοντος της ατμόσφαιρας (το υπόλοιπο 10% βρίσκεται στην τροπόσφαιρα). Αν και είναι το ίδιο μόριο, ο ρόλος του σε κάθε στιβάδα είναι διαφορετικός.
- Πάχος του στρώματος του όζοντος: 27-42 km
- Στιβάδα όζοντος: 0,005 cm πάχος, αν το στρώμα αυτό ήταν στην επιφάνεια της θάλασσας.
- Υπάρχει εδώ και 400 εκατομμύρια χρόνια και δημιουργείται με σειρά χημικών αντιδράσεων με την παρουσία φωτός. Για χρόνια, ο ρυθμός παραγωγής και ο ρυθμός καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος ήταν ίσοι.

Για τους χλωροφθοράνθρακες (chlorofluorocarbons, CFC's)

Βρίσκονται με το εμπορικό όνομα Freons (DuPont). Αντικατέστησαν το SO₂ και την αμμωνία (NH₃) ως ψυκτικά μέσα περίπου πριν από 60 χρόνια. Ορισμένοι χλωροφθοράνθρακες παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.11.

Οι χλωροφθοράνθρακες είναι σχεδόν τα ιδανικά ρευστά για διάφορες εφαρμογές, αν δεν υπήρχε η βλαβερή επίδρασή τους στο στρατοσφαιρικό όζον! Τα CFC είναι σταθερά, άοσμα, μη διαβρωτικά, μη αναφλέξιμα, μη τοξικά και έχουν υψηλή θερμότητα εξάτμισης και βέλτιστη πίεση ατμού.

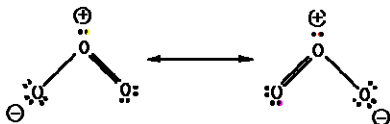
Οι κυριότερες χρήσεις των CFC είναι: ψυκτικά στα κλιματιστικά, καθαριστικά ηλεκτρονικών τμημάτων, προωθητικά σε σπρέι (σταμάτησαν ήδη από τη δεκαετία του 80 και μόνο σε αναπτυσσόμενες χώρες ίσως χρησιμοποιούνται τώρα), δημιουργία φυσαλίδων σε πολυστυρενικά αφρώδη πλαστικά κ.α.

Πίνακας 2.11. Χημικοί τύποι και εμπορικά ονόματα CFC.

Χημικό όνομα	Τύπος	Εμπορικό όνομα
--------------	-------	----------------

Τριχλωρο-φθορο-μεθάνιο	CCl_3F	CFC-11 (Freon-11)
Διχλωρο-διφθορο-μεθάνιο	CCl_2F_2	CFC-12 (Freon-12)
χλωρο-διφθορο-μεθάνιο	CHClF_2	CFC-22 (Freon-22)
1,1,2- Τριχλωρο -1,2,2-τριφθοροαιθάνιο	$\text{Cl}_2\text{FCCClF}_2$	CFC-113 (Freon-113)

Όζον, χημικός τύπος: O_3



Υπεριώδης ακτινοβολία (UV):

Ακτινοβολία $< 390 \text{ nm}$

UV-A: 315-390 nm

UV-B: 280-315 nm

(απορροφάται από το στρατοσφαιρικό όζον)

Ατμοσφαιρικές στιβάδες

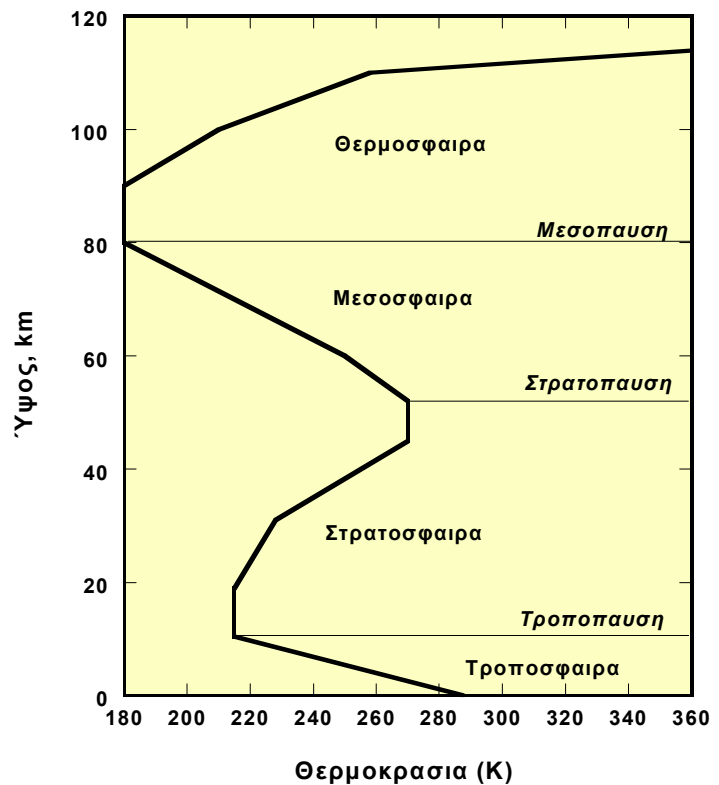
(οι αποστάσεις από τη γη δεν είναι σταθερές)

Τροπόσφαιρα: 0-15 km

Στρατόσφαιρα: 15-50 km

Μεσόσφαιρα: 50-90 km

Ιονόσφαιρα: 90-100 km



Σχήμα 2.9. Η ατμόσφαιρα αποτελείται από διάφορα στρώματα. Η περισσότερη υπεριώδης ακτινοβολία από τον ήλιο απορροφάται από το όζον (O_3) στην στρατόσφαιρα, το οποίο βρίσκεται κυρίως στην καλούμενη «ζώνη του όζοντος» και βρίσκεται 17-26 km από την επιφάνεια της θάλασσας.

Άλλες πηγές αλογονωμένων μορίων στην ατμόσφαιρα αποτελούν τα Halons, ο τετραχλωράνθρακας (εξαιρετος μη-πολικός διαλύτης), το τριχλωροαιθάνιο (διαλύτης στο ξηρό καθάρισμα). Τέλος ορισμένες ποσότητες αλογονωμένων μορίων προέρχονται και από φυσικές πηγές, όπως πυρκαγιές δασών. Τα Halons που χρησιμοποιούνται βασικά σε πυροσβεστήρες περιέχουν βρώμιο. Αν και το βρώμιο αποτελεί μόνο το 1% των αλογονωμένων ουσιών είναι υπεύθυνο για το 1/3 της επίδρασης στο στρώμα του όζοντος.

Οι αναπτυγμένες χώρες είναι υπεύθυνες για περίπου το 84% των εκπομπών CFC, και μόνο οι ΗΠΑ αντιπροσωπεύουν το 25% της ολικής κατανάλωσης. Τα κλιματιστικά των αυτοκινήτων θεωρούνται υπεύθυνα για το 75% των εκπομπών στις ΗΠΑ. Μέχρι το 2000, 75 χώρες θα έπρεπε να είχαν σταματήσει εντελώς τη χρήση των CFC.

Υπόθεση για την Επίδραση του Όζοντος

Ο μηχανισμός επίδρασης του στρατοσφαιρικού όζοντος προτάθηκε αρχικά από τον H. S. Johnson στο Berkeley στη δεκαετία του 1960. Η θεωρητική ανάλυση του φαινομένου έγινε από δύο χημικούς, τον Sherwood Rowland και τον Mario Molina (Βραβείο Νόμπελ Χημείας) από το Πανεπιστήμιο του Irvine (Καλιφόρνια) το 1974.

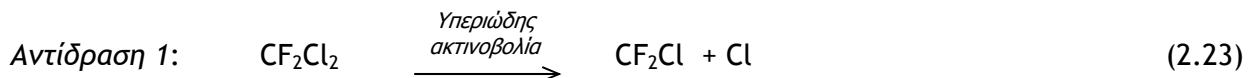
Γιατί το Cl βλάπτει το Όζον

Πόσο μένει ένα CFC στην ατμόσφαιρα;

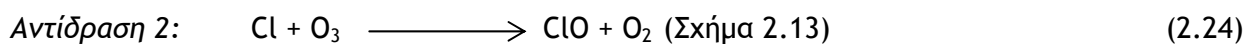
- 50-400 χρόνια !!
- Τα Freon χωρίς H έχουν ζωή ~100 χρόνια (αυτά με H έχουν μικρότερη ζωή και επομένως «καθαρίζονται» εύκολα με τη βροχή)
- Απαιτείται χρόνος για να φτάσουν στην στρατόσφαιρα
- Ένα άτομο Cl μπορεί να μετατρέψει 10.000 μέχρι 100.000 O₃ σε O₂ και O.
- Τα CH₃CCl₃ και CHClF₂ διαρκούν μόνο 6-7 χρόνια.

Μηχανισμός αποσύνθεσης του O₃

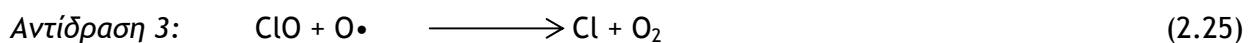
Τα CFC εκπέμπονται από τη γη από διάφορες πηγές και διασπείρονται με τους ανέμους και με άλλους μηχανισμούς κίνησης του αέρα (αν και είναι βαρύτερα από τον αέρα). Κατόπιν, μεταφέρονται στην ανώτερη Στρατόσφαιρα, όπου, με τη βοήθεια της υπεριώδους ακτινοβολίας τα «σταθερά» CFC μετατρέπονται σε δραστικά αέρια (χλώριο, Σχήματα 2.10-2.11).



Εν συνεχεία, τα δραστικά αέρια επιστρέφουν στην κατώτερη Στρατόσφαιρα, όπου και η μεγαλύτερη συγκέντρωση του O₃.



Άμεση καταστροφή του Όζοντος



Ένα (1) άτομο Cl καταστρέφει περίπου 10⁵ άτομα O₃

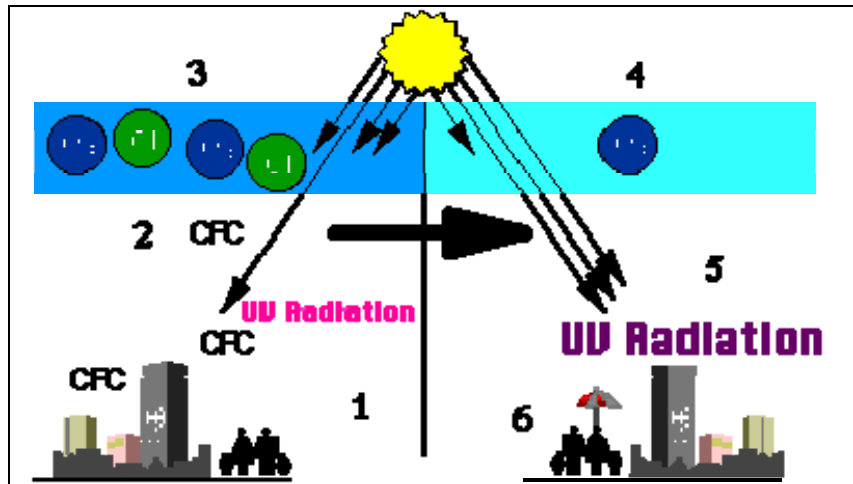
Γιατί υπάρχει τρύπα του O₃ πάνω από την Ανταρκτική;

Επειδή επικρατούν εκεί ειδικές κλιματικές συνθήκες. Οι κρύσταλλοι του πάγου που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα των πόλων προσροφούν τα CFCs και προσφέρουν την επιφάνεια τους για την αλληλεπίδραση του μορίου του O₃ (Σχήμα 2.12). Επιταχύνουν την αντίδραση (κατάλυση).

Επιπτώσεις της ακτινοβολίας UV

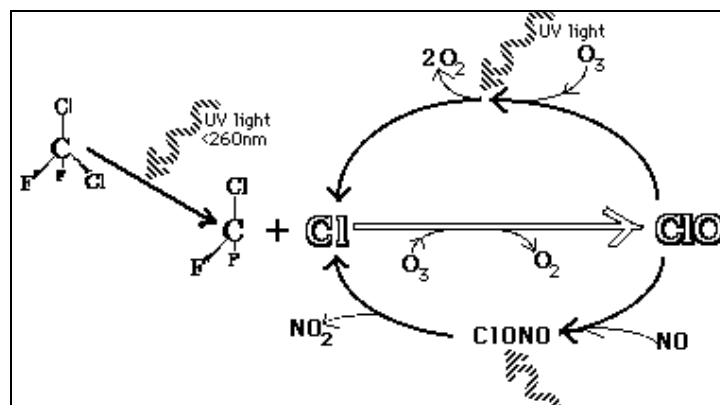
- Στον άνθρωπο: Μελάνωμα, καταρράκτης στα μάτια (διπλασιάστηκαν τα επεισόδια τα τελευταία 20 χρόνια) κτλ.
- Φυτά: επηρεάζει την ανάπτυξή τους
- Φυτοπλαγκτόν: επηρεάζει τον προσανατολισμό του και την κινητικότητά του

- Ψάρια: επιπτώσεις ιδιαίτερα στη μικρή ηλικία
- Υλικά: επιπτώσεις στα πολυμερικά κυρίως υλικά



<ol style="list-style-type: none"> 1. Απελευθέρωση CFC 2. Ανύψωση των CFC στο στρώμα του όζοντος 3. Η ακτινοβολία UV απελευθερώνει Cl από τα CFC 	<ol style="list-style-type: none"> 4. Το Cl καταστρέφει το όζον 5. Μειωμένο όζον → περισσότερη UV 6. Περισσότερη UV → μεγαλύτερες επιπτώσεις
---	---

Σχήμα 2.10. Σχηματική παράσταση της διεργασίας καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος (<http://www.epa.gov/ozone/science/process.html>).



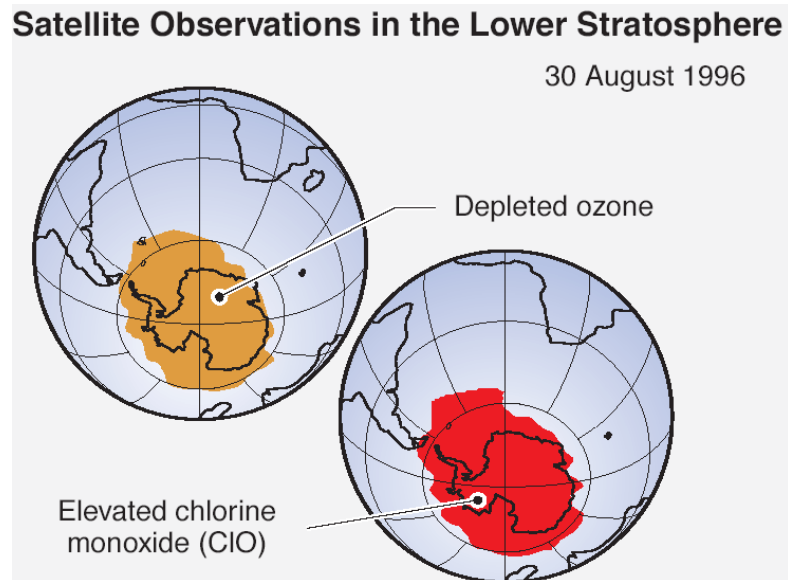
Σχήμα 2.11. Σχηματική παράσταση επίδρασης των CFC στο όζον.

Μπορεί η τρύπα του O_3 να σταθεροποιηθεί;

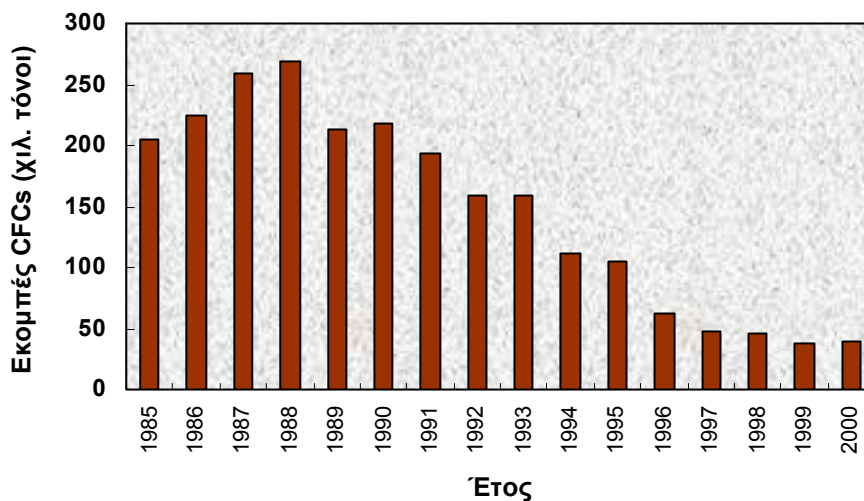
- Επιπτώσεις θα παρουσιάζονται μέχρι το 2100. Αναμένεται να σταθεροποιηθεί η κατάσταση σε μεγάλο βαθμό μέχρι το 2050.
- Τα τελευταία 15 χρόνια δεν εκπέμπονται CFCs από τα σπρέι, έχει μειωθεί σημαντικά η χρήση τους (βλ. Σχήμα 2.13) και άρχισαν να φαίνονται τα πρώτα θετικά σημάδια.

Συμφωνίες για τα CFC

- Το Πρωτόκολλο του Montreal 1987, επικυρώθηκε από 170 χώρες (με διάφορες προσθήκες μέχρι και σήμερα)
- 1996- σταμάτημα παραγωγής από τις αναπτυγμένες χώρες
- 2010 - σταμάτημα παραγωγής από τις αναπτυσσόμενες χώρες



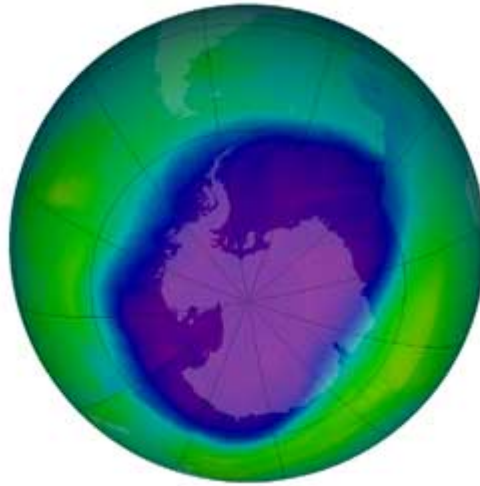
Σχήμα 2.12. Συσχέτιση συγκέντρωσης μονοξειδίου του χλωρίου και «τρύπας» του όζοντος στην Ανταρκτική.



Σχήμα 2.13. Εξέλιξη των εκπομπών CFC-11, CFC-12 και CFC-113 τα τελευταία 17 χρόνια.

«Καλό» και «κακό» O₃

- Στην τροπόσφαιρα το O₃ είναι τοξικό (είναι κύριο συστατικό του φωτοχημικού νέφους), αλλά και εκεί δεσμεύει κάποια ποσότητα UV-B.
- Το όζον αποτελεί παντού ασπίδα για την ακτινοβολία UV-B.



Ice-free Arctic could be here in 23 years

- David Adam, environment correspondent
- The Guardian

Wednesday September 5 2007

The Arctic ice cap has collapsed at an unprecedented rate this summer and levels of sea ice in the region now stand at a record low, scientists said last night. Experts said they were "stunned" by the loss of ice, with an area almost twice as big as Britain disappearing in the last week alone. So much ice has melted this summer that the north-west passage across the top of Canada is fully navigable, and observers say the north-east passage along Russia's Arctic coast could open later this month. If the increased rate of melting continues, the summertime Arctic could be totally free of ice by 2030.

Mark Serreze, an Arctic specialist at the US National Snow and Ice Data Centre at Colorado University in Denver which released the figures, said: "It's amazing. It's simply fallen off a cliff and we're still losing ice." The Arctic has now lost about a third of its ice since satellite measurements began 30 years ago, and the rate of loss has accelerated sharply since 2002.

Dr Serreze said: "If you asked me a couple of years ago when the Arctic could lose all of its ice, then I would have said 2100, or 2070 maybe. But now I think that 2030 is a reasonable estimate. It seems that the Arctic is going to be a very different place within our lifetimes, and certainly within our children's lifetimes."

The new figures show that sea ice extent is currently down to 4.4m square kilometres (1.7m square miles) and still falling. The previous record low was 5.3m square kilometres in September 2005. From 1979 to 2000 the average sea ice extent was 7.7m square kilometres. The minimum extent of sea ice usually occurs late in September each year, as the freezing Arctic winter begins to bite.

The sea ice usually then begins to freeze again over the winter. But Dr Serreze said that would be difficult this year. "This summer we've got all this open water and added heat going into the ocean. That is going to make it much harder for the ice to grow back. What we've seen this year sets us up for an even worse year next year." The winter ice has already failed to make up for increased losses in the summer in each of the last two years.

Changes in wind and ocean circulation patterns can help reduce sea ice extent, but Dr Serreze said the main culprit was man-made global warming. "The rules are starting to change and what's changing the rules is the input of greenhouse gases. This year puts the exclamation mark on a series of record lows that tell us something is happening."

The dramatic loss is further bad news for the region's wildlife which relies on the sea ice, such as polar bears. The animals use its coastal fringes to find food, and as the summer ice retreats to the north, they must swim further to hunt for seals. Some colonies of bears have already showed signs of malnutrition and biologists say there could be a severe drop in their population within a few decades, though they may not go extinct.

Yesterday's announcement will also increase political interest in the Arctic, with a number of countries currently jostling to exploit the oil and gas reserves believed to lie under the ocean, which could become more accessible as the icy cover retreats. Last month Russia claimed a huge area around the north pole, and Denmark and Canada are preparing similar claims, which rely on showing that a chain of underwater mountains that runs across the region are connected to their respective continental shelves.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 1. Ποιο υγρό καύσιμο (βενζίνη, ντίζελ) παράγει περισσότερο CO₂; Αν ένα αυτοκίνητο με βενζινομηχανή διανύει 15 km με 1 kg καυσίμου και ένα αυτοκίνητο ντίζελ 20 km με 1 kg καυσίμου, ποιο καύσιμο είναι περισσότερο αποδοτικό ανά διανυόμενο km; (Τα καύσιμα μπορούν να παρασταθούν ως: Βενζίνη: C₈H₁₈, Ντίζελ: C₁₆H₃₄)

ΛΥΣΗ:

$$(α) \frac{8 \times 12 (\text{kg C})}{8 \times 12 + 18 \times 1 (\text{kg βενζ.})} \cdot \frac{44 (\text{kg CO}_2)}{12 (\text{kg C})} = 3,09 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg βενζ.}}$$

$$(β) \frac{16 \times 12 (\text{kg C})}{16 \times 12 + 34 \times 1 (\text{kg diesel})} \cdot \frac{44 (\text{kg CO}_2)}{12 (\text{kg C})} = 3,12 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg diesel}}$$

Το ντίζελ παράγει δηλαδή λίγο περισσότερες εκπομπές CO₂ ανά kg καυσίμου, αλλά δεδομένου ότι οι κινητήρες ντίζελ είναι περισσότερο αποδοτικοί, οι εκπομπές ανά διανυόμενο km είναι τελικά λιγότερες! Συγκεκριμένα:

$$(α) 3,09 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg βενζ.}} \times \frac{1 \text{ kg βενζ.}}{15 \text{ km}} = 0,206 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{km}}$$

$$(β) 3,12 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg diesel}} \times \frac{1 \text{ kg diesel}}{20 \text{ km}} = 0,156 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{km}}$$

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- 1) Θα πρέπει τα περιβαλλοντικά θέματα να είναι στην πρώτη γραμμή όταν αναφερόμαστε σε ενεργειακά θέματα;
- 2) Ποιες είναι οι υπάρχουσες στρατηγικές για την μείωση του κινδύνου από την κλιματική αλλαγή;
- 3) Τι προτάσεις θα έκανες για τη μείωση των εκπομπών στην Ελλάδα;
- 4) Ποια νομίζετε είναι η συσχέτιση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας και της φθοράς των μαρμάρινων μνημείων της χώρας μας;
- 5) Ποιες δραστηριότητες σου επηρεάζουν τις εκπομπές των ρυπαντών που απειλούν τη στιβάδα του όζοντος; Η μείωση της στιβάδας θα επηρεάσει άλλες δραστηριότητές σου;
- 6) Σε ποια θερμοκρασία θα πρέπει να εξέρχονται τα νερά από το συμπυκνωτή μιας ΑΗΜ;

3. ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑΣ

3.1. Εισαγωγή

Ο Άνθρακας (γαιάνθρακας, κάρβουνο - coal) αποτελεί οργανικό ορυκτό με κύρια συστατικά τον άνθρακα και το υδρογόνο. Άλλα συστατικά που βρίσκονται στον άνθρακα, σε μικρές σχετικά ποσότητες, είναι το οξυγόνο, το θείο, το άζωτο, καθώς και ορισμένες ανόργανες ουσίες. Ο όρος άνθρακας είναι γενικός και χρησιμοποιείται για υλικά με πολύ διαφορετικές ιδιότητες.

Έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα που προσπαθούν να προσομοιάσουν το πολύπλοκο «μόριο» του άνθρακα. Είναι προφανές ότι αφού ακόμα και άνθρακες του ίδιου τύπου διαφέρουν σημαντικά, τα μοντέλα αυτά έχουν μόνο θεωρητική σημασία. Η μοριακή δομή είναι αρκετά περίπλοκη, αλλά από τη στοιχειακή ανάλυση μπορούν να γραφούν εμπειρικοί τύποι, όπως $C_{137}H_{97}O_9NS$ για τον πισσούχο άνθρακα και $C_{240}H_{90}O_4NS$ για τον καλής ποιότητας ανθρακίτη.

Ο άνθρακας έχει χρησιμοποιηθεί σε οικιακές χρήσεις (θέρμανση, μαγείρεμα) από τους Κινέζους τουλάχιστον από το 500 π.Χ. Υπάρχουν ενδείξεις επίσης ότι οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν άνθρακα στην Γαλατία και τη Βρετανία. Στην Αγγλία ήταν διαδεδομένη η χρήση του από τον 12^ο αιώνα, ενώ το 1275 μ.Χ. αναφέρεται η πρώτη νομοθεσία για έλεγχο της χρήσης του λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την καύση του.

3.2. Σχηματισμός γαιανθράκων

Οι γαιάνθρακες προέρχονται από την ενανθράκωση φυτικής ύλης και πολλά είδη γαιανθράκων δείχνουν ακόμη την ξυλώδη προέλευσή τους. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος ενανθράκωσης, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο βαθμός ενανθράκωσης. Ο χρόνος σχηματισμού των ανθράκων κυμαίνεται από 350.000.000 χρόνια περίπου για τους παλαιότερους άνθρακες ως λιγότερο από 30.000.000 χρόνια για τα κοιτάσματα τύρφης. Στο μεγαλύτερο από αυτό το διάστημα το κλίμα ήταν τροπικό ή υποτροπικό. Τα διάφορα στάδια δημιουργίας των γαιανθράκων μπορούν να περιγραφούν συνοπτικά ως εξής:

1) Με τη συσσώρευση φυτικής ύλης με τα χρόνια και τον τερματισμό της βιοχημικής αποσύνθεσής της σχηματίζεται αρχικά με θερμική και βακτηριακή αποσύνθεση η τύρφη (peat), η οποία περιέχει περίπου 60% κ.β. άνθρακα (επί ξηρού δείγματος). Η βιοχημική αποσύνθεση σταμάτησε είτε λόγω παρουσίας τοξινών ή λόγω έλλειψης οξυγόνου από την επικάλυψη της φυτικής ύλης από γαιώδη υλικά ή το νερό. Η διαδικασία μετατροπής της τύρφης σε άνθρακα ονομάζεται *ενανθράκωση*, ενώ ο βαθμός στον οποίο έχει προχωρήσει η διαδικασία αυτή προσδιορίζεται από το *βαθμό ενανθράκωσης*.

2) Με την κάλυψη των αποθέσεων τύρφης από ιζηματογενή πετρώματα και την άσκηση πίεσης σε θερμοκρασίες μέχρι 100°C, η τύρφη μετατρέπεται σε λιγνίτη, ο οποίος περιέχει 70% άνθρακα (C).

3) Σε υψηλότερη πίεση, ο λιγνίτης μετατρέπεται σε υποπισσούχο άνθρακα (ο οποίος έχει 80% C).

4) Τέλος, σε ακόμη υψηλότερη πίεση, ο υποπισσούχος άνθρακας μετατρέπεται σε ανθρακίτη (περίπου 90% C).

Ένα κοίτασμα άνθρακα πάχους 10 m αντιπροσωπεύει μέχρι και 400.000 χρόνια συσσώρευση.

3.3. Ταξινόμηση και ιδιότητες γαιανθράκων

Η ταξινόμηση των διαφόρων τύπων άνθρακα γίνεται συνήθως με το βαθμό της ενανθράκωσης κάθε τύπου. Γενικά, εκτός από τη τύρφη, τέσσερις είναι οι κυριότεροι τύποι ανθράκων: ο λιγνίτης (lignite), ο υποπισσούχος άνθρακας (subbituminous coal), ο πισσούχος ή βιτουμινιούχος άνθρακας (bituminous coal) και ο ανθρακίτης (anthracite). Έχουν επίσης προταθεί και διάφορες υποδιαίρεσεις των παραπάνω τύπων άνθρακα. Ο βαθμός ενανθράκωσης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και τις ιδιότητες των ανθράκων. Γενικά, καθώς αυξάνει ο βαθμός ενανθράκωσης (από την τύρφη στο γραφίτη, ο οποίος αποτελείται από 100% άνθρακα, αλλά δεν συμπεριλαμβάνεται στους γαιάνθρακες) μειώνεται το πτητικό κλάσμα, αυξάνεται το στοιχειακό θείο και μειώνεται το στοιχειακό οξυγόνο. Όσο χαμηλότερος είναι ο βαθμός ενός άνθρακα, τόσο χαμηλότερη είναι η θερμαντική του ικανότητα και μεγαλύτερο το ποσοστό της υγρασίας και των πτητικών συστατικών. Οι ιδιότητες των κυριότερων τύπων ανθράκων συνοψίζονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1. Ιδιότητες των ανθράκων

	Λιγνίτης	Υποπισσούχος άνθρακας	Πισσούχος άνθρακας	Ανθρακίτης
Ποιότητα	χαμηλή	χαμηλή	υψηλή	υψηλή
Ηλικία (10 ⁶ έτη)	50-100		350	
% C	65-72	72-76	76-90	90-95
% H	~5	~1-2		~2
% N	~1-2			
% O	~30			~1
% S	~1	~4		0
% H ₂ O	70-30	30-10	10-5	~5
Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	~6-12	~22	25-30	~32

Περιεκτικότητα σε θείο. Το θείο αποτελεί ίσως την κυριότερη πηγή ρύπανσης από τη χρήση των γαιανθράκων. Η περιεκτικότητα σε θείο ποικίλλει με τον τύπο του γαιάνθρακα, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1. Το συνολικό θείο στους άνθρακες συνίσταται από οργανικό θείο (0,5-2%), από θείο που βρίσκεται στο σιδηροπυρίτη (με τη κόκκων σιδηροπυρίτη, FeS₂, 0,5-7%) και από θείο που βρίσκεται στα θειικά άλατα (κυρίως ως FeSO₄ και, σε μικρά συνήθως ποσοστά, ως CaSO₄). Ο σιδηροπυρίτης απομακρύνεται με φυσικές διεργασίες πριν από τη χρήση του άνθρακα. Το οργανικό θείο είτε αποτελεί υπόλειμμα από τις πρωτεΐνες του ξύλου ή είναι αποτέλεσμα βακτηριακής δράσης. Παρά τις εντατικές προσπάθειες για την εύρεση μεθόδων απομάκρυνσης του οργανικού θείου πριν από την καύση, αυτό δεν έχει επιτευχθεί μέχρι σήμερα. Το θείο μπορεί να προκαλέσει κατά την καύση σημαντικά προβλήματα διάβρωσης των καυστήρων και ρύπανσης της ατμόσφαιρας.

Όμως, σε περιπτώσεις όπως η υγροποίηση του άνθρακα μικρές ποσότητες θείου είναι επιθυμητές επειδή δρα ως καταλύτης.

Περιεκτικότητα σε υδρογόνο. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το «ελεύθερο» υδρογόνο, δηλαδή η διαφορά ανάμεσα στο συνολικό υδρογόνο και στο υδρογόνο της υγρασίας. Το ελεύθερο υδρογόνο αποτελεί ένα από τα κριτήρια για την ικανότητα του άνθρακα για παραγωγή κοκ.

Περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Έχει αποδειχθεί ότι η περιεκτικότητα του άνθρακα σε οξυγόνο μειώνει τη θερμογόνο αξία του. Η παρουσία του έχει μεγάλη σημασία για τις διεργασίες αεριοποίησης και υγροποίησης του άνθρακα, επειδή αποδεσμεύει σημαντικές ποσότητες υδρογόνου.

Τέφρα. Τέφρα καλείται το υπόλειμμα από την καύση του άνθρακα, το οποίο είναι πλούσιο σε ανόργανα συστατικά και αποτελεί ανεπιθύμητο παραπροϊόν. Περιέχει κυρίως οξείδια Si, Al, Fe, Ca, Ti και άλλα ανόργανα συστατικά. Διακρίνεται σε *μόνιμη* και *ελεύθερη* τέφρα. Η ελεύθερη τέφρα απομακρύνεται πριν από τη χρήση του άνθρακα, με τη βοήθεια διάφορων μεθόδων εμπλουτισμού του άνθρακα. Η μόνιμη τέφρα αναφέρεται στα ανόργανα συστατικά που βρίσκονται στη χημική δομή του άνθρακα και φυσικά δεν μπορούν να απομακρυνθούν με μεθόδους εμπλουτισμού. Ο όρος *ιπτάμενη* τέφρα αναφέρεται στην τέφρα που παρασύρεται από τα καυσαέρια στις συσκευές καύσης του άνθρακα και κανονικά κατακρατείται σε ηλεκτροστατικά φίλτρα ή συγκεντρώνεται στον πυθμένα του καυστήρα. Η τυπική σύσταση της τέφρας από το πεδίο της Πτολεμαΐδας δίνεται στον Πίνακα 3.2. Περίπου το 30% ενός αποξηραμένου δείγματος λιγνίτη της Πτολεμαΐδας είναι τέφρα. Οι ποσότητες της τέφρας είναι τεράστιες και δημιουργούν προβλήματα τόσο στις συσκευές καύσης, όσο και με τη διάθεσή τους. Η ύπαρξη τέφρας στον άνθρακα διαφοροποιεί το καύσιμο αυτό από τα άλλα δύο ορυκτά καύσιμα. Η καύση του φυσικού αερίου δεν αφήνει προφανώς καθόλου τέφρα, ενώ το πετρέλαιο θέρμανσης αφήνει ελάχιστη τέφρα (<0,1%) κατά την καύση του.

Πίνακας 3.2. Τυπική χημική σύσταση της ιπτάμενης τέφρας από το πεδίο Πτολεμαΐδας.

Συστατικό	% κ.β.
SiO ₂	30,0
TiO ₂	0,7
Al ₂ O ₃	13,5
Fe ₂ O ₃	5,5
MgO	2,6
CaO	32,3
K ₂ O	1,1
Na ₂ O	0,5
P ₂ O ₅	0,3
CO ₂	3,1
S	3,2

Θερμογόνος Δύναμη. *Ανώτερη θερμογόνος δύναμη* (Α.Θ.Δ.) ενός άνθρακα καλείται το ποσό της θερμότητας που ελευθερώνεται με την πλήρη καύση του υπό σταθερό όγκο και τη ψύξη όλων των προϊόντων της καύσης σε μία θερμοκρασία αναφοράς και τη συμπύκνωση του παραγόμενου ατμού. Ο προσδιορισμός της θερμογόνου δύναμης γίνεται πειραματικά με

θερμιδόμετρο, ενώ προσεγγιστικά προσδιορίζεται όταν είναι γνωστή η σύστασή του από τον τύπο του Dulong:

$$\text{Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (σε MJ/kg)} = 33,83 C + 144,3 (H-O/8) + 9,42 S \quad (3.1)$$

όπου C, H, O, S είναι οι περιεκτικότητες των αντίστοιχων στοιχείων στον άνθρακα σε % κ.β.

Η ανώτερη θερμογόνος δύναμη περιλαμβάνει προφανώς και τη θερμότητα που ελευθερώνεται από τη συμπύκνωση του ατμού. Επειδή αυτό δεν συμβαίνει στην πράξη, περισσότερο σημαντική είναι η γνώση της *καθαρής (ή κατώτερης) θερμογόνου δύναμης* (Κ.Θ.Δ.), η οποία είναι περίπου 10% μικρότερη από την Α.Θ.Δ. και μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\text{Καθαρή Θερμογόνος Δύναμη (σε MJ/kg)} = \text{Αν. Θερμ. Δυν.} - 21,6 H \quad (3.2)$$

Όλες οι σχέσεις ισχύουν για ξηρά καύσιμα. Σε περίπτωση που το καύσιμο περιέχει υγρασία W (kg/kg), τότε από την Καθαρή Θερμογόνου Δύναμη πρέπει να αφαιρεθεί το μέγεθος 2,45 W.

Υγρασία. Οι περισσότεροι άνθρακες καθώς εξορύσσονται από τη γη περιέχουν σημαντικές ποσότητες υγρασίας. Ο προσδιορισμός της υγρασίας γίνεται με προσεκτική θέρμανση του άνθρακα σε θερμοκρασία λίγο μεγαλύτερη από το σημείο ζέσεως του νερού. Η υγρασία των ανθράκων κυμαίνεται από 5% μέχρι σχεδόν 70%. Το περιεχόμενο νερό διακρίνεται σε τριχοειδές και σε προσροφημένο. Η υγρασία είναι προφανώς ανεπιθύμητο συστατικό των ανθράκων, καθώς μειώνει τη θερμαντική ικανότητά τους και προσθέτει επιπλέον βάρος κατά τη μεταφορά τους. Αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τους «φτωχούς» ιδιαίτερα άνθρακες.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη διεργασία της καύσης στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς προσδιορίζονται με την ακόλουθη σειρά αναλύσεων:

- Χημικές αναλύσεις
- Φυσικοχημικές αναλύσεις
- Ορυκτολογική ανάλυση της τέφρας
- Ανθρακο-πετρογραφική ανάλυση

3.4. Ανάλυση γαιάνθρακα

3.4.1. Χημικές αναλύσεις

Σκοπός της ανάλυσης του καυσίμου είναι ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων και ο χαρακτηρισμός του δείγματος και, κατά συνέπεια, η προσεγγιστική εκτίμηση της ποιότητας του κοιτάσματος από όπου προέρχεται. Συνήθως διακρίνεται σε *άμεση* (proximate) και *στοιχειακή* (ultimate) ανάλυση.

Άμεση ανάλυση. Μια τυποποιημένη άμεση ανάλυση περιλαμβάνει τις αναλύσεις και ειδικές μετρήσεις για τέσσερις ιδιότητες του άνθρακα: υγρασία, πτητικό κλάσμα, μόνιμο άνθρακα και τέφρα. Η άμεση ανάλυση μάς δίνει μια ιδέα για τη συμπεριφορά του καυσίμου κατά την καύση του. Οι αναλύσεις αυτές γίνονται σε αυστηρά καθορισμένες συνθήκες με συγκεκριμένες μεθόδους.

• **Υγρασία.** Προσδιορίζεται συνήθως από την απώλεια βάρους κονιοποιημένου δείγματος 0,5-1,0 g ύστερα από θέρμανση στους 105-110°C για μία ώρα σε κενό ή σε αδρανή ατμόσφαιρα (π.χ. καθαρό άζωτο).

• **Πτητικό κλάσμα** (% κ.β. σε πτητικά συστατικά). Προσδιορίζεται με τη θέρμανση αποξηραμένου δείγματος απουσία αέρα σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 750°C και ζύγιση. Αποτελείται κυρίως από υδρογονάνθρακες, CO και CO₂. Άνθρακες με υψηλά ποσοστά πτητικών έχουν χαμηλότερη θερμογόνο δύναμη, καθώς αναφλέγονται σχετικά εύκολα, αλλά καίγονται γρήγορα δημιουργώντας μακριά και καπνίζουσα φλόγα.

• **Τέφρα**. Η τέφρα προσδιορίζεται θερμαίνοντας 1-2 g δείγματος στους 725±25°C σε αέρα και εκφράζεται ως το ποσοστό της μάζας του υπολείμματος της καύσης προς τη μάζα του αρχικού δείγματος γαιάνθρακα. Η αρχική θερμοκρασία αποτέφρωσης πρέπει να είναι χαμηλή, ώστε να διασπαστούν τα θειούχα άλατα και να αποφευχθούν αντιδράσεις που μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια των μετρήσεων.

• **Μόνιμος (fixed) άνθρακας**. Το υλικό που μένει μετά την απομάκρυνση της υγρασίας, των πτητικών συστατικών και της τέφρας.

$$[\text{Μόνιμος Άνθρακας}] \% = 100 - [\text{πτητικά ξηρού γαιάνθρακα}] \% - [\text{τέφρα ξηρού γαιάνθρακα}] \% \quad (3.3)$$

Γαιάνθρακες πλούσιοι σε μόνιμο άνθρακα, όπως ο ανθρακίτης, συναντούν δυσκολία στην έναυση της καύσης, αλλά κατόπιν καίγονται σταθερά για μεγάλο χρονικό διάστημα με μια χαμηλή και καθαρή φλόγα. Η καύσιμη ύλη των ανθράκων περιλαμβάνει τον μόνιμο άνθρακα και τα πτητικά συστατικά.

Στοιχειακή ανάλυση. Είναι ουσιαστικά η στοιχειακή ανάλυση ενός ξηρού δείγματος του καυσίμου. Δεν περιλαμβάνει συνήθως και την στοιχειακή ανάλυση της τέφρας, παρά μόνο την περιεκτικότητα της τέφρας σε θείο. Η ανάλυση παρέχει τα παρακάτω δεδομένα:

- Στοιχειακό άνθρακα (C).
- Στοιχειακό υδρογόνο (H).
- Στοιχειακό οξυγόνο (O). Συνήθως προσδιορίζεται όχι άμεσα, αλλά από τη διαφορά των άλλων συστατικών.
- Στοιχειακό θείο (S): οργανικό και ανόργανο.
- Στοιχειακό άζωτο (N).
- Θείο στην τέφρα
- Θερμογόνος δύναμη (με θερμιδόμετρα).

3.4.2. Ορυκτή ύλη

Με τον όρο *ορυκτή ύλη* (mineral matter) νοούνται όλες οι μορφές ανόργανων ουσιών που υπάρχουν στον άνθρακα. Η ύλη αυτή αποτελείται από ορυκτά που συναποτέθηκαν με τα οργανικά υλικά κατά τη δημιουργία της τύρφης, από ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα ηφαιστειακής προέλευσης και από ορυκτά που αποτέθηκαν από ροή υπόγειων νερών. Προέρχονται επίσης από τα ανόργανα ή οργανομεταλλικά συστατικά των ίδιων των φυτών που δημιούργησαν την τύρφη. Η ορυκτή ύλη είτε περιέχεται στον ιστό του άνθρακα είτε έχει τη μορφή λεπτών στρώσεων και πληρώσεων ρωγμών, οπότε και μπορεί να διαχωριστεί από τον άνθρακα σχετικά εύκολα με έκπλυση. Στην ορυκτή ύλη συμπεριλαμβάνονται επίσης και ανόργανα συστατικά που προέρχονται από την αναπόφευκτη ανάμειξη κατά την εξόρυξη των στρωμάτων του γαιάνθρακα με γειτονικά στρώματα.

Τα ορυκτά που συνήθως περιέχονται στους γαιάνθρακες είναι αργιλούχες ενώσεις (κυρίως ιλλίτης, καολινίτης και μοντμοριλονίτης), ανθρακικά ορυκτά (όπως ασβεστίτης, δολομίτης, σιδηρίτης), θειούχα άλατα και χαλαζίας. Οι αργιλούχες ενώσεις αποτελούν περίπου το 50% της συνολικής ορυκτής ύλης, ενώ ο χαλαζίας το 20%. Όπως λέχθηκε και

προηγούμενως, τα θειικά άλατα είναι συνήθως σπάνια, ενώ δευτερεύοντα ανόργανα συστατικά που περιέχονται σε συγκεντρώσεις της τάξης ppm είναι το B, Be, Ge, As, Cd, Zr, Ga, V, Co, Se, κτλ.

Τα δέκα στοιχεία που συνήθως προσδιορίζονται ποσοτικά, εκφρασμένα ως οξειδία, είναι τα ακόλουθα: SiO₂, Al₂O₃, CaO, Na₂O, K₂O, Fe₂O₃, TiO₂, MgO, P₂O₃, και SO₃. Σημειώνεται ότι η ορυκτή ύλη διαφέρει ποιοτικά και ποσοτικά από την τέφρα που υπολογίζεται κατά την προσεγγιστική ανάλυση λόγω των συνθηκών υψηλής θερμοκρασίας που επικρατούν κατά την παραγωγή της τέφρας και έχουν ως αποτέλεσμα την αφυδάτωση, διάσπαση και οξείδωση κάποιων ανόργανων ουσιών, καθώς επίσης και τη μερική απώλεια πτητικών συστατικών (Hg, K, Na, Cl, P και S).

3.4.3. Φυσικοχημικές αναλύσεις

Με τις αναλύσεις αυτές προσδιορίζονται φυσικές ιδιότητες, όπως η πυκνότητα (απόλυτη και σχετική), η ειδική επιφάνεια και το πορώδες. Επίσης προσδιορίζονται μια σειρά από μεγέθη που σχετίζονται με τη συμπεριφορά των ανθράκων κατά τη θραύση και λειοτρίβηση (Grindability, Bond's index), τη φθοροποιό δράση διαφόρων ορυκτών που περιέχονται στους άνθρακες (wear tests) και τα χαρακτηριστικά καύσης όπως, σχηματισμός φλόγας, ομοιομορφία φλόγας, θερμοκρασία φλογοθαλάμου, κ.α.

3.4.4. Ορυκτολογική ανάλυση της τέφρας

Οι χημικές αναλύσεις της τέφρας θα πρέπει να συμπληρώνονται με την ορυκτολογική σύσταση του ανόργανου μέρους του γαιάνθρακα και των στείρων για την αντιμετώπιση προβλημάτων μηχανικής διάβρωσης λόγω παρουσίας ορυκτών με υψηλή σκληρότητα, επισκωρίσεων και επικαθίσεων και τη γενικότερη πρόβλεψη της συμπεριφοράς της τέφρας.

Οι αναλύσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω βρίσκουν εφαρμογή σε δύο βασικούς ερευνητικούς τομείς. Πρώτον, στον τομέα της μελέτης της συμπεριφοράς των γαιανθράκων κατά την καύση τους και, δεύτερον, στον τομέα της διερεύνησης της δυνατότητας αξιοποίησης των γαιανθράκων σε εξηλεκτρικές χρήσεις.

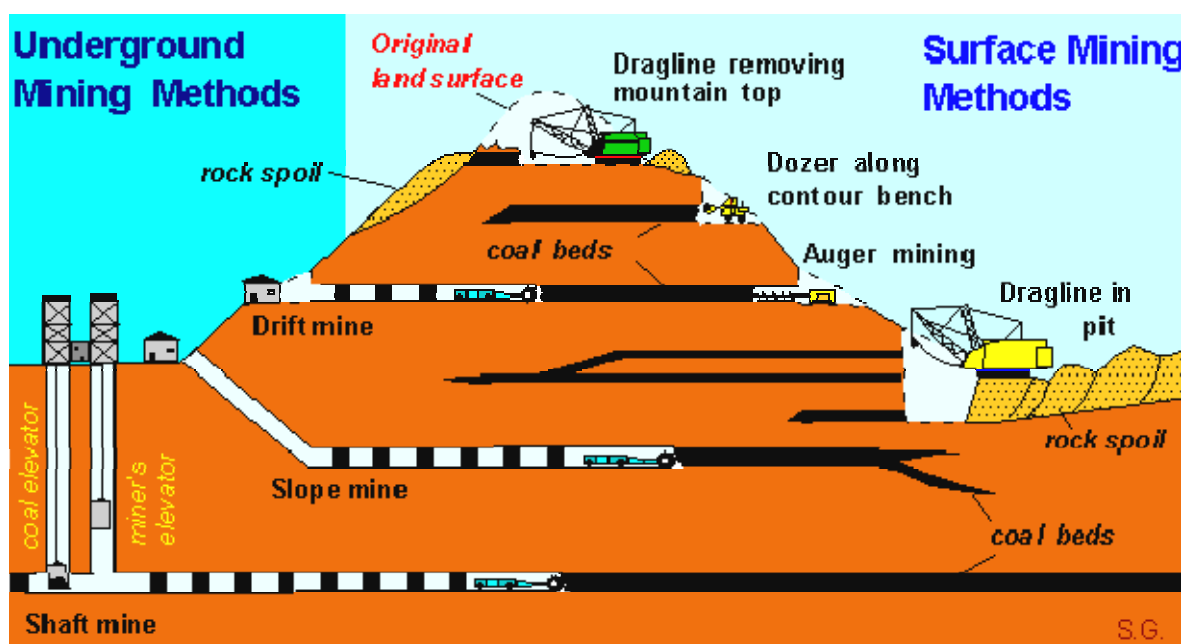
3.5. Εξόρυξη, Επεξεργασία και Μεταφορά

Η εξόρυξη των γαιανθράκων γίνεται είτε υπόγεια ή επιφανειακά (Σχήμα 3.1). Η επιφανειακή εξόρυξη είναι αρκετά αποδοτική και πρακτικά η πλειονότητα των λιγνιτών εξορύσσονται με αυτόν τον τρόπο. Από την άλλη μεριά, η επιφανειακή εξόρυξη συνοδεύεται από σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Με κατάλληλη προσπάθεια μπορεί να γίνει ανάπλαση των χώρων στους οποίους έχει ολοκληρωθεί η εξόρυξη. Συνήθως αποθηκεύεται με προσοχή το επιφανειακό στρώμα που υπήρχε πριν από την έναρξη της εξόρυξης και τοποθετείται μετά το πέρας της εκμετάλλευσης, ενώ γίνεται φύτευση ειδών με κατάλληλη υποδομή για πότισμα.

Η υπόγεια εξόρυξη γίνεται κυρίως με τη μέθοδο του ανοίγματος στοών και απόληψη του άνθρακα. Μόνο το 40% του άνθρακα εξορύσσεται συνήθως. Πάντως η μέθοδος αυτή συνδέεται με σειρά τεχνικών προβλημάτων τα οποία συχνά οδηγούν σε ατυχήματα. Τέτοια προβλήματα είναι η απελευθέρωση αέριων παραπροϊόντων (CH₄ και CO₂), η ύπαρξη λεπτόκοκκης σκόνης άνθρακα, η οποία και αποτελεί ισχυρό εκρηκτικό σε επαφή με τον αέρα και επιφέρει βλάβες στο αναπνευστικό σύστημα των εργαζομένων, η άντληση και

επεξεργασία των όξινων νερών, η κατάρρευση και πλημμύριση των στοών. Δεν πρέπει ίσως να ξεχνάμε ότι η ανάγκη για αποδοτική και γρήγορη άντληση των νερών σε πλημμυρισμένα ορυχεία άνθρακα στην Αγγλία οδήγησε στην εφεύρεση της ατμοκίνησης. Απαιτείται επαρκής εξαερισμός των στοών και έλεγχος της συγκέντρωσης της σκόνης.

Συχνά στις περιοχές εξόρυξης γίνεται επεξεργασία ή και εμπλουτισμός του καυσίμου με το διαχωρισμό των ανόργανων συστατικών και των συστατικών που δημιουργούν την ιπτάμενη τέφρα και λειοτρίβηση του άνθρακα. Ο βαθμός επεξεργασίας εξαρτάται κυρίως από τη χρήση του άνθρακα και από τον τύπο του. Για παράδειγμα, για την παρασκευή κοκ απαιτείται πισσούχος άνθρακας, με χαμηλή υγρασία (<5%) και χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Ο άνθρακας που προορίζεται για καύση σε ατμοηλεκτρικές μονάδες (ΑΗΜ) δεν έχει ιδιαίτερες προδιαγραφές, αν και για χρήση σε ΑΗΜ με σύγχρονους καυστήρες ή για μεταφορά πολφού απαιτείται η παρασκευή κονιοποιημένου προϊόντος. Αυτό γίνεται με πολλά είδη μύλων (μύλος πρόσκρουσης, σφαιρόμυλος, μύλος άλεσης κτλ.).



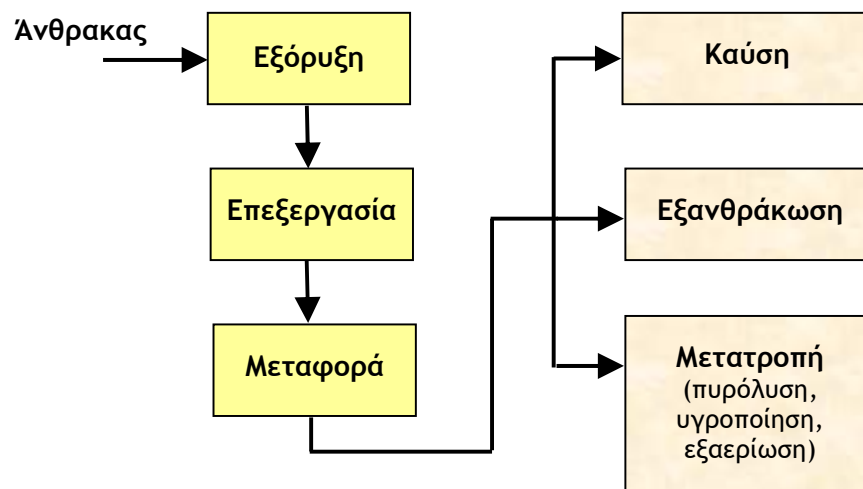
Σχήμα 3.1. Τρόποι εξόρυξης του γαιάνθρακα.

Μετά την επεξεργασία ο άνθρακας μεταφέρεται στον τόπο αξιοποίησής του, όπου μπορεί να αποθηκευτεί για ορισμένο χρονικό διάστημα. Η μεταφορά άνθρακα είναι μια αποδοτική εργασία, αλλά πολύ δαπανηρή, που μπορεί να διπλασιάσει την τιμή του. Το κόστος μεταφοράς είναι προφανώς απαγορευτικό για τους χαμηλής ποιότητας γαιάνθρακες. Για μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιούνται τρένα ή πλοία. Μια εναλλακτική μέθοδος μεταφοράς είναι οι αγωγοί πολφού (slurry). Ο θρυμματισμένος άνθρακας (σε μεγέθη 0,1-10 mm) αναμιγνύεται με αντίστοιχη ποσότητα νερού και αντλείται σε μεγάλες αποστάσεις μέσω αγωγών. Ένα πρόβλημα που προκύπτει από τη μέθοδο αυτή είναι ο αποδοτικός διαχωρισμός σε κυκλώνες και η επεξεργασία του νερού.

Γενικά οι άνθρακες, όπως ο λιγνίτης, αποθηκεύονται συνήθως σε ανοικτές αυλές (stock-piles ή bunkers) με δυνατότητα αποθήκευσης από έναν έως τρεις μήνες. Στην περίπτωση του φτωχού Ελληνικού λιγνίτη το απόθεμα ασφαλείας δεν μπορεί να υπερβαίνει τον ένα μήνα. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί κατά τον σχηματισμό των σωρών του άνθρακα ώστε να μην αυτο-αναφλεγεί ο αποθηκευμένος άνθρακας.

3.6. Χρήσεις

Τρεις είναι οι σημαντικότερες μέθοδοι αξιοποίησης των γαιανθράκων, όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 3.2. Η κύρια διεργασία αξιοποίησης του άνθρακα είναι η καύση του για την παραγωγή θερμότητας ή ατμού, κυρίως σε ατμοηλεκτρικές μονάδες. Επίσης από την εποχή πριν από την βιομηχανική επανάσταση ο άνθρακας μετατρεπόταν σε κοκ για χρήση στα χαλυβουργεία. Υπάρχει επίσης πληθώρα άλλων διεργασιών, οι περισσότερες από τις οποίες δεν μπορούν να εφαρμοστούν ακόμη με αυστηρά οικονομικά κριτήρια, που μετατρέπουν τον άνθρακα σε χρήσιμα προϊόντα, κυρίως για εξωηλεκτρικές χρήσεις. Οι κυριότερες από αυτές τις διεργασίες μετατροπής είναι η πυρόλυση, η υγροποίηση και η εξαερίωση. Οι διεργασίες αυτές δίνουν χρήσιμα στερεά, υγρά ή αέρια προϊόντα με υψηλότερη θερμική αξία από ότι ο άνθρακας, και λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.



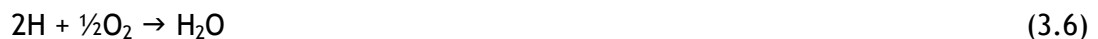
Σχήμα 3.2. Διεργασίες αξιοποίησης γαιανθράκων.

3.6.1. Καύση

Η καύση γίνεται με την παρουσία αέρα και έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση θερμικής ενέργειας (θερμότητας). Η κύρια και επιθυμητή αντίδραση της καύσης είναι η τέλεια καύση προς παραγωγή CO₂:



Συγχρόνως όμως μπορεί να συμβούν και πολλές άλλες αντιδράσεις, οι κυριότερες από τις οποίες είναι:

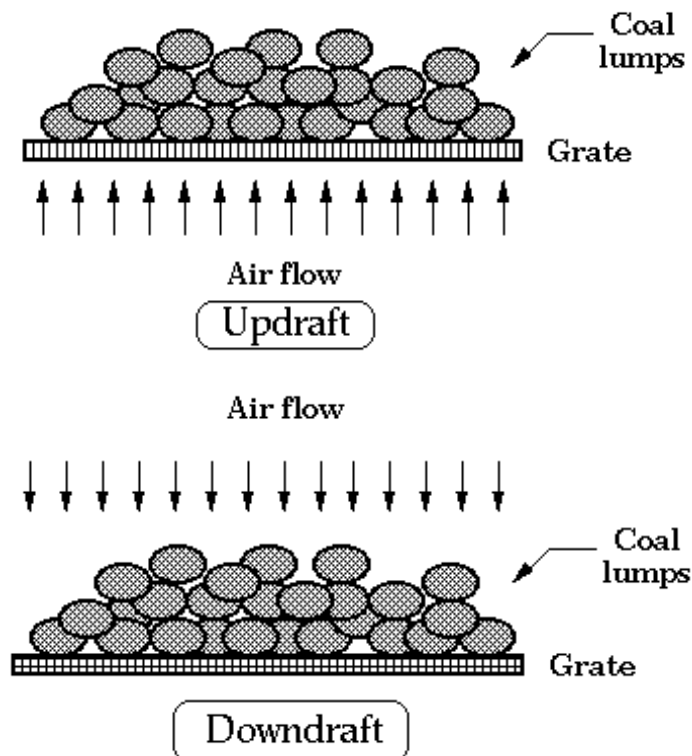


Η αντίδραση της ατελούς καύσης είναι εντελώς ανεπιθύμητη γιατί απελευθερώνεται λιγότερη ενέργεια και παράγεται το τοξικό μονοξείδιο του άνθρακα (ενώνεται με άτομα σιδήρου στην αιμοσφαιρίνη του αίματος). Όπως φαίνεται από τις αντιδράσεις 3.7 και 3.8, κατά την καύση παράγονται επίσης οξειδία του θείου και του αζώτου, τα οποία είναι οι κύριοι υπαίτιοι του φαινομένου της όξινης βροχής. Ένα άλλο πρόβλημα από την καύση άνθρακα σε μικρές μονάδες είναι η παραγωγή καπνού και αιθάλης. Τα πρώτα παράπονα για

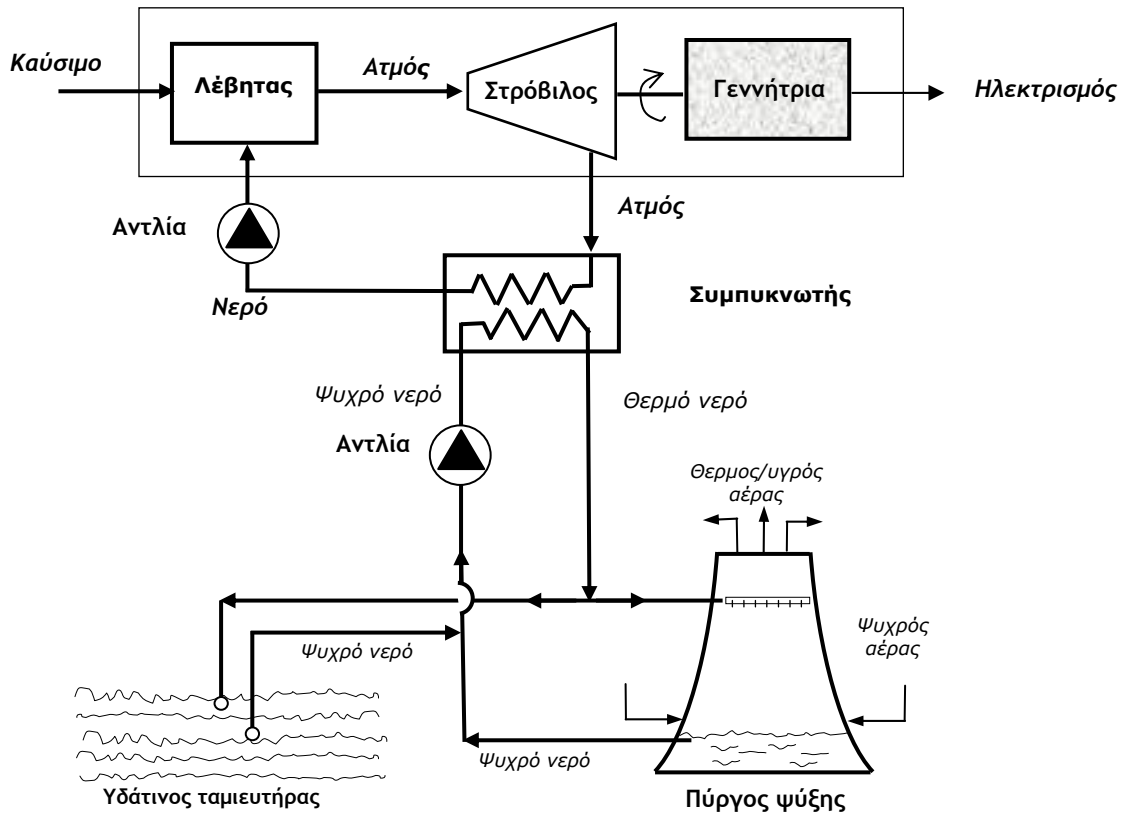
τους παραπάνω ρυπαντές από την καύση του άνθρακα έγιναν στο Λονδίνο το 1275 ! Τέλος, η τέφρα που μένει από την καύση του άνθρακα κανονικά θα έπρεπε να συλλέγεται και να αφαιρείται από τον πυθμένα του καυστήρα. Μέρος όμως αυτής της τέφρας (τα μικρότερα σωματίδια) παρασύρεται από τα καυσαέρια και θα πρέπει να δεσμεύεται προτού αυτά διατεθούν στη ατμόσφαιρα.

Η καύση αποτελεί την σημαντικότερη χρήση του άνθρακα. Περισσότερο από το 80% της παραγωγής του καταναλώνεται σε ΑΗΜ, επειδή αποτελεί το φθηνότερο καύσιμο (χωρίς να περιλαμβάνεται συνήθως το εξωτερικό κόστος του καυσίμου). Ποσοστό περίπου 10% χρησιμοποιείται σε βιομηχανικούς λέβητες και φούρνους. Ο άνθρακας όσο περισσότερα πτητικά συστατικά περιέχει τόσο ευκολότερη είναι η ανάφλεξή του.

Για περισσότερα από 3000 χρόνια, ή καύση του άνθρακα για οικιακή ή βιομηχανική χρήση γίνεται με ροή του αέρα προς τα πάνω, μέσω σχάρας, η οποία αποτελεί τη θερμότερη επιφάνεια φούρνο (Σχήμα 3.3). Στα θερμότερα τμήματα των λεβήτων των ΑΗΜ η θερμοκρασία ανέρχεται στους 1500°C, ενώ το νερό μέσα στους αυλούς φτάνει μέχρι τους 600°C σε πίεση 300 atm. Στην καλύτερη περίπτωση η απόδοση μιας ΑΗΜ φτάνει το 43%. Σχηματικό διάγραμμα μιας ΑΗΜ παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4. Σήμερα, μείωση εκπομπών NO_x επιτυγχάνεται με νέους καυστήρες χαμηλού NO_x, ενώ εάν υπάρχει ανάγκη εγκαθίστανται μονάδες εκλεκτικής καταλυτικής ή μη αναγωγής (με αμμωνία ή ουρία). Η αποθείωση των καυσαερίων γίνεται με συσκευές έκπλυσης καυσαερίων (scrubbers) που εγκαθίστανται μεταξύ του ατμοπαραγωγού και της καμινάδας. Το σπουδαιότερο πρόβλημα παραμένει η απομάκρυνση των σωματιδίων τέφρας και άκαυστων από τα καυσαέρια της καμινάδας που αντιμετωπίζεται με τη χρήση ηλεκτροστατικών φίλτρων (electrostatic precipitators). Σε μικρές εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν, με καλύτερη απόδοση, και τα σακκόφιλτρα. (Περισσότερες λεπτομέρειες σε επόμενο κεφάλαιο.)



Σχήμα 3.3. Τρόποι καύσης του άνθρακα με ροή αέρα προς τα πάνω και προς τα κάτω.



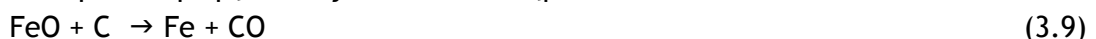
Απαιτήσεις καυσίμων μιας Μονάδας Ηλεκτροπαραγωγής 1000 ΜWe

Άνθρακας (πισσούχος):	9000 τόνοι/ημέρα	1 τρένο με 100 βαγόνια κάρβουνο
Πετρέλαιο:	40.000 BBL/ημέρα	1 δεξαμενόπλοιο κάθε 3 εβδομάδες
Φυσικό αέριο:	$6,6 \times 10^6$ m ³ /ημέρα	
Πυρηνική σχάση:	3 kg/ημέρα Ουράνιο (ως ²³⁵ U) (προερχόμενο από ½ τόνο ουρανίου)	
Πυρηνική σύντηξη(;):	13 g Δευτέριο + 220 g Τρίτιο/ημέρα	

Σχήμα 3.4. Σχηματική παράσταση μιας ΑΗΜ.

3.6.2. Εξανθράκωση

Η εξανθράκωση (carbonization) είναι η διεργασία που οδήγησε στη βιομηχανική επανάσταση. Ουσιαστικά γίνεται θέρμανση του άνθρακα σε υψηλή θερμοκρασία (1000°C), απουσία αέρα, για την παραγωγή κοκ (ουσιαστικά καθαρός μόνιμος άνθρακας), το οποίο χρησιμοποιείται για αναγωγή των οξειδίων του σιδήρου



Οι διάφοροι κατάλληλοι τύποι άνθρακα αποτελούν τα φθηνότερα αναγωγικά μέσα. Προτού αναπτυχθεί αυτή η διεργασία χρησιμοποιούνταν για την αναγωγή του σιδήρου ο ξυλάνθρακας. Στη χρήση άνθρακα μπορεί να οδήγησε η απαγόρευση κοπής ξυλείας για παραγωγή ξυλάνθρακα που έγινε στην Αγγλία κατά τον 17^ο αιώνα. Η καλύτερη ποιότητα κοκ προέρχεται από ορισμένους πισσούχους άνθρακες. Είναι ενδεικτικό ότι η χαλυβουργία ουσιαστικά αναπτύχθηκε δίπλα σε πλούσια κοιτάσματα γαιάνθρακα (π.χ. περιοχή Ρουρ της

Γερμανίας και Πίτσμπουργκ των Η.Π.Α.). Η αγορά κοκ σήμερα αντιπροσωπεύει ένα μικρό, αλλά σημαντικό, τμήμα της αγοράς των γαιανθράκων.

Το κοκ που χρησιμοποιείται στη χαλυβουργία θα πρέπει να πληροί τα εξής κριτήρια: να είναι ικανό αναγωγικό μέσο, να μην περιέχει υψηλά ποσοστά θείου και τέφρας που ρυπαίνουν το σίδηρο, να δίνει άφθονη θερμότητα (δηλ. να περιέχει πολύ μόνιμο άνθρακα), να επιτρέπει τον αέρα να διέλθει από την κλίνη του καυσίμου, να είναι αρκετά πορώδες και συγχρόνως ανθεκτικό και, τέλος, να είναι φθηνό.

3.6.3. Μετατροπή του άνθρακα

Μετατροπή του άνθρακα (coal conversion) είναι η διεργασία που μετατρέπει τον άνθρακα σε καθαρότερα και ευκολόχρηστα καύσιμα, υγρά ή αέρια, τα ονομαζόμενα «συνθετικά καύσιμα». Η διεργασία βασίζεται στο γεγονός ότι οι άνθρακες είναι ελλειμματικοί ως προς το υδρογόνο σε σχέση με τα άλλα ορυκτά καύσιμα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3. Οι κυριότερες διεργασίες μετατροπής του άνθρακα είναι η πυρόλυση, η υγροποίηση και η εξαερίωση.



Συχνά αναφέρεται και ο όρος *αναβάθμιση ή εξευγενισμός των ανθράκων*. Γενικά η έννοια αυτή περιλαμβάνει τη μετατροπή σε στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα, αλλά επεκτείνεται και σε άλλες διεργασίες. Με αυτήν την έννοια, ακόμα και η μπρικετοποίηση του άνθρακα είναι μια μορφή αναβάθμισης. Άλλου είδους αναβάθμιση είναι η παραγωγή αιωρημάτων (πολφών) άνθρακα με νερό ή πετρέλαιο (coal-water ή coal-oil slurries). Τα αιωρήματα αυτά υπέχουν θέση υγρού καυσίμου και παρασκευάζονται με σύγχρονες μεθόδους επίπλευσης για να απομακρυνθούν οι ανόργανες ύλες. Τα αιωρήματα, εάν είναι σταθερά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υγρά καύσιμα σε ατμοπαραγωγούς (είτε ως βασικό ή ως ενισχυτικό καύσιμο). Τέλος, η παραγωγή ακετυλενίου μέσω ανθρακασβεστίου είναι μια από παλιά γνωστή μέθοδος παρασκευής οργανικών ενώσεων.

Πίνακας 3.3. Αναλογία τυπικών λόγων C/H των ορυκτών καυσίμων.

Καύσιμο	C/H (μαζική)	C/H (μοριακή)	Κατάσταση
Πισσούχος άνθρακας	15	1,25	στερεό
Αργό πετρέλαιο	9	0,77	υγρό
Βενζίνη	6	0,50	υγρό
Φυσικό Αέριο	3	0,25	αέριο

3.6.4. Πυρόλυση

Πυρόλυση είναι η θερμική διάσπαση του άνθρακα σε αδρανή ατμόσφαιρα για την παραγωγή στερεών, υγρών και αέριων προϊόντων. Αρχικά με τη θέρμανση απομακρύνονται τα αέρια και το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας από τους πόρους του άνθρακα. Μετά τους 300°C αρχίζουν οι αντιδράσεις διάσπασης που συνεχίζονται μέχρι τη θερμοκρασία των 1000°C περίπου. Ανάλογα με τις δομικές μονάδες του άνθρακα που διασπώνται παράγονται διάφορα προϊόντα της πυρόλυσης. Τα υγρά προϊόντα παράγονται από τη διάσπαση κυκλικών ομάδων με ασθενείς δεσμούς, το CO₂ από τις καρβοξυλικές ομάδες, το CO από καρβονυλικές ομάδες (καθώς και από τη διάσπαση αρωματικών πυρήνων), το νερό από υδροξυλικές ομάδες και οι διάφοροι ελαφροί υδρογονάνθρακες από αλκυλικές ομάδες.

Το στερεό προϊόν της πυρόλυσης ονομάζεται **εξανθράκωμα** ή **ημικόκ** (char) και βέβαια είναι εμπλουτισμένο σε στοιχειακό άνθρακα σε σχέση με τον αρχικό ορυκτό άνθρακα. Τα υγρά προϊόντα της πυρόλυσης αποτελούνται από μίγμα οργανικών ενώσεων υψηλού μοριακού βάρους, στις οποίες κυριαρχούν οι πολυαρωματικές ενώσεις. Τα αέρια προϊόντα της πυρόλυσης είναι ελαφροί υδρογονάνθρακες (CH₄, C₂H₆, C₃H₈, κτλ.) και ενώσεις οξυγόνου (CO, CO₂).

Εάν η πυρόλυση γίνεται σε ατμόσφαιρα υδρογόνου, η διεργασία ονομάζεται υδρογονο-πυρόλυση. Παράγονται λιγότερα στερεά και υγρά προϊόντα και το αέριο προϊόν είναι εμπλουτισμένο σε μεθάνιο.

Οι συνθήκες που επηρεάζουν τις αποδόσεις και την κατανομή των προϊόντων πυρόλυσης είναι η θερμοκρασία πυρόλυσης, η πίεση πυρόλυσης, το είδος του άνθρακα, ο τύπος του αντιδραστήρα, ο ρυθμός θέρμανσης των σωματιδίων του άνθρακα και η πίεση που λαμβάνει χώρα η πυρόλυση.

3.6.5. Υγροποίηση

Η υγροποίηση είναι η διεργασία μετατροπής του άνθρακα σε υγρά προϊόντα (καύσιμα). Η υγροποίηση του άνθρακα γίνεται καταλυτικά, παρουσία υδρογόνου ή ενώσεων που μπορούν να δώσουν υδρογόνο. Ο άνθρακας εισέρχεται στον αντιδραστήρα υπό μορφή πολφού (slurry) και εμπλουτίζεται σε υδρογόνο. Τα υγρά προϊόντα που παράγονται είναι κυρίως ναφθενικές και αρωματικές ενώσεις (για το ορισμό των ενώσεων αυτών, βλ. κεφάλαιο 4.3). Απλοποιημένα η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι:



Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μετατροπή του άνθρακα σε υγρά και το είδος των υγρών προϊόντων που παράγονται είναι ο τύπος του άνθρακα που χρησιμοποιείται (χρησιμοποιείται κυρίως ο πισσούχος άνθρακας), η θερμοκρασία, η πίεση, ο χρόνος παραμονής στον αντιδραστήρα, το είδος του αντιδραστήρα και ο καταλύτης που χρησιμοποιείται.

Η πίεση έχει θετική επίδραση στην υγροποίηση του άνθρακα, με την παραγωγή υγρών προϊόντων να αυξάνει με την αύξηση της πίεσης από τις 70 στις 280 atm. Αντίθετα με την πίεση, η βέλτιστη θερμοκρασία για μεγιστοποίηση των παραγόμενων υγρών είναι περίπου 450°C. Η διεργασία εφευρέθηκε στη Γερμανία το 1913 από τον F. Bergius και εξελίχθηκε σε εμπορική διεργασία στη Γερμανία και την Αγγλία κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Η υγροποίηση του άνθρακα είναι μια δύσκολη διεργασία που βρίσκει ακόμη και σήμερα εμπορική εφαρμογή (στην Νότια Αφρική). Γενικά, τα συνθετικά υγρά καύσιμα από άνθρακα μπορεί να γίνουν ελκυστικά μόνον στην περίπτωση που η τιμή του πετρελαίου υπερβεί τα 50-70 δολάρια το βαρέλι.

3.6.6. Εξαερίωση

Εξαερίωση είναι η μετατροπή του άνθρακα σε αέρια προϊόντα, όπως στο αέριο σύνθεσης (CO+H₂), το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο. Το αέριο σύνθεσης κατόπιν μπορεί να μετατραπεί σε υγρούς υδρογονάνθρακες (έμμεση υγροποίηση) μέσω της σύνθεσης Fischer-Tropsch (που αναπτύχθηκε το 1925 στη Γερμανία) ή να χρησιμοποιηθεί για άλλες χρήσεις. Η διεργασία της εξαερίωσης έχει ηλικία μεγαλύτερη των 200 ετών, με την παραγωγή του «φωταερίου» (coal gas, αέριο με μέτρια συγκέντρωση σε μεθάνιο), η οποία γινόταν με θέρμανση του άνθρακα απουσία αέρα.

Η εξαερίωση επιτελείται με τη χρήση αέρα, οξυγόνου ή ατμού. Μεταξύ αυτών των αερίων και του άνθρακα συμβαίνουν ποικίλες αντιδράσεις που περιλαμβάνουν:

α) Ενδόθερμες αντιδράσεις υδρόλυσης:



β) Εξώθερμες αντιδράσεις καύσης του άνθρακα:



γ) Άλλες αντιδράσεις όπως:



Αποτέλεσμα των παραπάνω αντιδράσεων είναι η παραγωγή αερίου σύνθεσης, το οποίο αποτελεί την πρώτη ύλη για την παραγωγή πολλών βιομηχανικών προϊόντων, όπως αμμωνίας ($\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$) και μεθανόλης ($\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$). Η μεθανόλη κατόπιν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση αλκενίων, αρωματικών ενώσεων, οξικού οξέος, φορμαλδεΐδης κ.ά. Αέριο σύνθεσης παράγεται σήμερα κυρίως από το φυσικό αέριο.

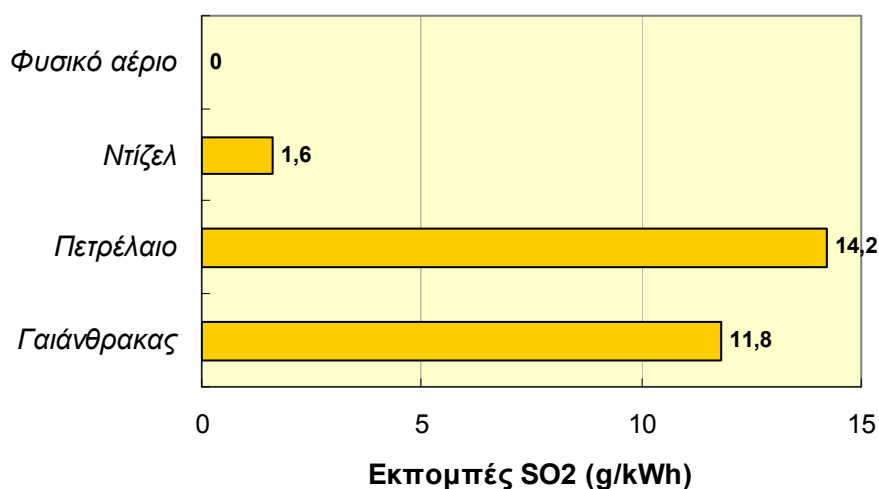
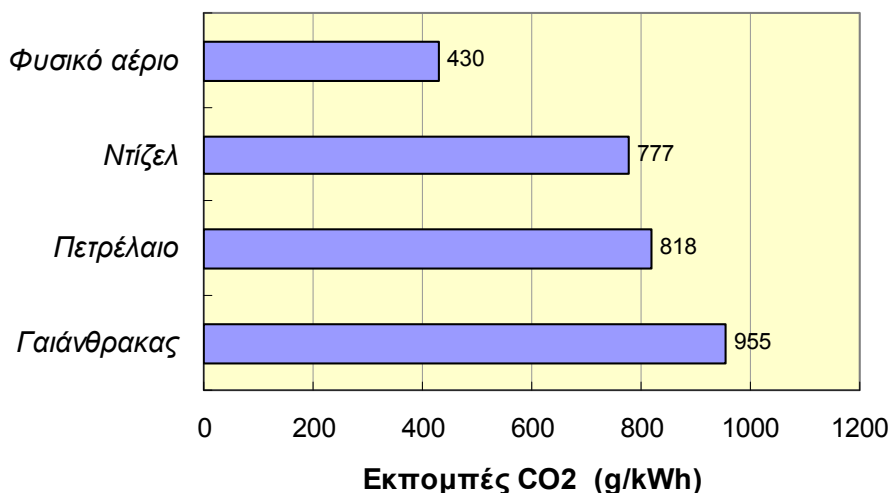
Στην Βιομηχανία ΑΕΒΑΛ μέχρι το κλείσιμό της πριν από αρκετά χρόνια, από το λιγνίτη Πτολεμαΐδας παραγόταν H_2 για την παραγωγή αμμωνίας. Η μέση σύσταση του αερίου εξαερίωσης της ΑΕΒΑΛ παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4. Σύσταση αερίου εξαερίωσης Λιγνίτη Πτολεμαΐδας.

Συστατικό	% mol
CO	54,8
H ₂	29,5
N ₂	1,7
CH ₄	0,2
CO ₂	13,8
H ₂ S	0,8

3.7. Περιβαλλοντικά προβλήματα

Ο άνθρακας είναι το λιγότερο καθαρό καύσιμο, λόγω κυρίως των εκπομπών οξειδίων θείου και αζώτου (όπως καταδεικνύεται στο Σχήμα 3.5) και σωματιδίων (ιπτάμενη τέφρα). Προβλήματα επίσης δημιουργούνται στο στάδιο της εξόρυξης (και κυρίως με τα επιφανειακά ορυχεία και τις καθιζήσεις), τις εκπομπές CO₂ και αιθάλης (επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα και στα μνημεία), την απόθεση-διάθεση της τέφρας. Μέρος της ιπτάμενης τέφρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία τσιμέντου και κεραμικών, ως εδαφικό πρόσθετο για μείωση της οξύτητας του εδάφους και στην παρασκευή συνθετικών ζεολίθων. Η ιπτάμενη τέφρα από τα ελληνικά πεδία λιγνίτη κρίνεται ακατάλληλη για την τελευταία χρήση, επειδή περιέχει μεγάλο ποσοστό οξειδίου του ασβεστίου. Χρησιμοποιείται όμως στη βιομηχανία τσιμέντου, στην κεραμοποιία, στην οδοποιία και στην κατασκευή φραγμάτων.



Σχήμα 3.5. Σύγκριση των εκπεμπόμενων ρύπων CO₂ και SO₂ ανά παραγόμενη kWh για διαφορετικά ορυκτά καύσιμα.

Οι προσεγγίσεις που μπορεί να γίνουν για τη μείωση των εκπομπών από ΑΗΜ μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

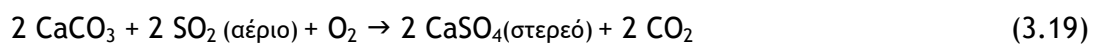
- 1) Χρήση ανθράκων με μικρότερο ποσοστό θείου και τέφρας. Πρακτικά δεν μπορεί να γίνει στις περισσότερες των περιπτώσεων.
- 2) Απομάκρυνση των οξειδίων του θείου και της τέφρας
- 3) Απομάκρυνση του θείου πριν από την καύση.
- 4) Αλλαγή στο καύσιμο που χρησιμοποιείται, π.χ. αντικατάσταση του γαϊάνθρακα με φυσικό αέριο.
- 5) Αραίωση των καυσαερίων με τη χρήση υψηλής υψικαμίνου για την καλύτερη διασπορά των ρύπων. Βέβαια αυτό δεν αποτρέπει το σχηματισμό όξινης βροχής στην ευρύτερη περιοχή.

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν εν συντομία οι προσεγγίσεις 2 και 3.

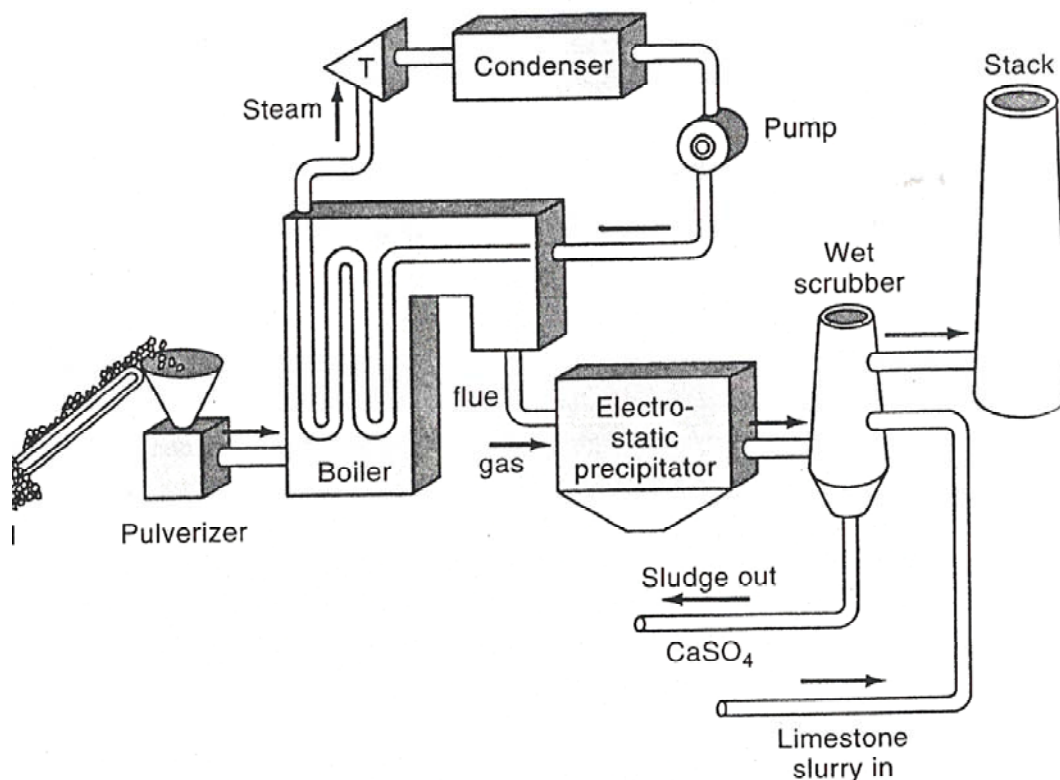
Για τον έλεγχο των ρύπων από τις ΑΗΜ έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί πολλές μέθοδοι. Τα σωματίδια που εκπέμπονται (το μέσο μέγεθος τους κυμαίνεται από 0,01 μέχρι 100 μm) μπορούν να απομακρυνθούν με κυκλώνες, ηλεκτροστατικά φίλτρα (electrostatic precipitators) και πλυντρίδες (scrubbers). Οι κυκλώνες είναι αποδοτικοί στην απομάκρυνση των μεγάλων σωματιδίων (>50 μm), αλλά όχι των σωματιδίων που είναι μικρότερα από 5

μm. Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα είναι απαραίτητα σε κάθε ΑΗΜ και συνήθως επαρκούν για το σκοπό που τοποθετούνται. Αφαιρούν το 99% κ.β. της ιπτάμενης τέφρας, αλλά δεν είναι αποτελεσματικά στα σωματίδια με μέγεθος μικρότερο από 1 μm. Και βέβαια τα μικρότερα σωματίδια είναι που προκαλούν προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα. Μία άλλη τεχνική είναι η χρήση σακόφιλτρων (από βαμβάκι ή ίνες υάλου). Η απόδοση των σακόφιλτρων πλησιάζει το 99,9% κ.β. και μπορούν να απομακρυνθούν σωματίδια μέχρι και 0,1 μm σε μέγεθος.

Για την απομάκρυνση-δέσμευση των οξειδίων του θείου χρησιμοποιούνται ειδικές πλυντρίδες. Σε αυτές, τα καυσαέρια διέρχονται από πύργο, από την κορυφή του οποίου γίνεται ψεκασμός υδατικού διαλύματος ή καλύτερα αιωρήματος νερού και κονιοποιημένου ανθρακικού ασβεστίου ή δολομίτη. Η διεργασία αυτή καλείται αποθειώση των καυσαερίων. Το SO₂ αντιδρά με τα παραπάνω άλατα και σχηματίζεται θειικό ασβέστιο σύμφωνα με την αντίδραση.

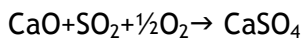


Το στερεό προϊόν είναι μια υγρή ιλύς θειικού ασβεστίου που μπορεί να διατεθεί με σχετική ευκολία. Η απόδοση της πλυντρίδας ανέρχεται σε 98%. Το υπόλοιπα καυσαέρια, αφού θερμανθούν ξανά, οδηγούνται στην υψικάμινο. Το Σχήμα 3.6 παρουσιάζει σχηματικά τα στάδια ελέγχου των ρύπων από μία ΑΗΜ. Το κόστος μιας μονάδας αποθειώσης δεν είναι μικρό. Το κόστος εγκατάστασης της μονάδας αποθειώσης αντιπροσωπεύει περίπου το 25% του παγίων κεφαλαίων της ΑΗΜ. Επιπλέον, η προσθήκη της μονάδας μειώνει τη συνολική απόδοση της μονάδας κατά 2-4% και αυξάνει το κόστος της kWh κατά 10-15%.

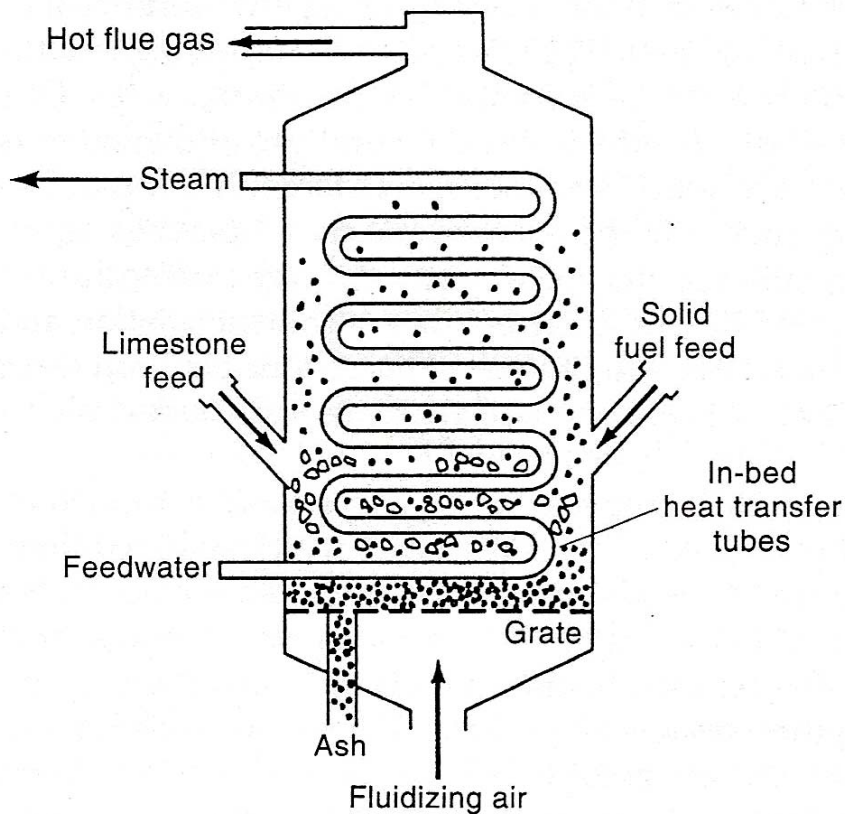


Σχήμα 3.6. Σχηματικό διάγραμμα μιας ΑΗΜ που παρουσιάζει τις κύριες μεθόδους ελέγχου των ρύπων.

Έλεγχος των εκπομπών οξειδίων του θείου πριν από ή κατά τη καύση του άνθρακα είναι δυνατόν να γίνει με διάφορους τρόπους, αλλά με υψηλό κόστος. Μία κατεύθυνση είναι να γίνει πρώτα ο εξευγενισμός του άνθρακα (μετατροπή σε συνθετικά καύσιμα) και κατόπιν να γίνει η καύση των «καθαρών» προϊόντων. Ένας άλλος αποδοτικός τρόπος είναι η καύση του άνθρακα σε ρευστοστερεά κλίνη (fluidized bed coal combustion, FBC), που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.7. Στη ρευστοστερεά κλίνη καίγεται θρυμματισμένος άνθρακας σε μία κινούμενη κλίνη από αέρα και άμμο, στην οποία έχει προστεθεί ασβεστόλιθος. Η αντίδραση



συμβαίνει στο λέβητα και το θειικό ασβέστιο αφαιρείται ως μέρος των σωματιδίων στα καυσαέρια. Αν και η ιδέα της ρευστοστερεάς κλίνης υπάρχει από το 1920, η εφαρμογή της στην καύση του άνθρακα είναι σχετικά πρόσφατη. Υπάρχει μεγάλος αριθμός μικρών μονάδων ρευστοστερεάς κλίνης, αλλά στην περιοχή των μονάδων ισχύος 100-200 MW ο αριθμός τους είναι περιορισμένος.



Σχήμα 3.7. Μονάδα καύσης άνθρακα σε ρευστοστερεά κλίνη.

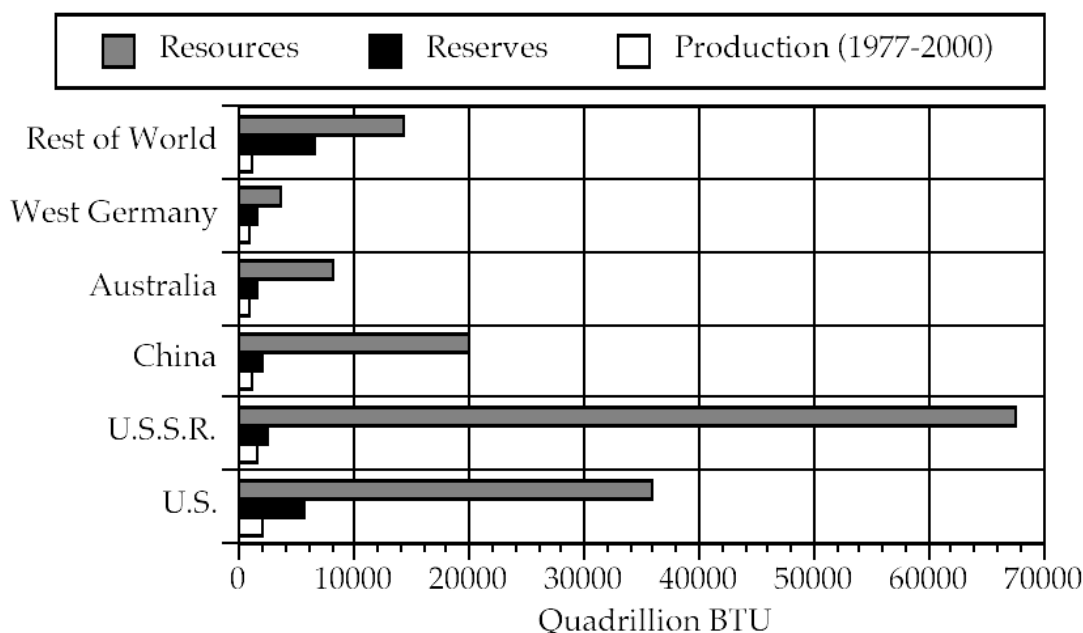
Τα οξείδια του αζώτου είναι δυσκολότερο να ελεγχθούν από τα SO_x . Αυτό μπορεί να γίνει εν μέρει με τη μείωση της θερμοκρασίας καύσης ώστε να ελαττωθεί ο σχηματισμός των θερμικών NO_x . Μια άλλη προσέγγιση είναι η αποαζωτοποίηση (εισαγωγή αμμωνίας που αντιδρά με τα NO_x προς άζωτο και νερό, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως), μια διεργασία παρόμοια με την αποθείωση.

3.8. Πόροι και Αποθέματα

Εκτιμάται ότι με τον τρέχοντα ρυθμό κατανάλωσης των γαιανθράκων οι πόροι άνθρακα θα διαρκέσουν 900 χρόνια, ενώ τα αποθέματα (πόροι άνθρακα που πληρούν ορισμένα οικονομικά και τεχνολογικά κριτήρια) περίπου 160 χρόνια (δεδομένα 2008, BP Statistical Review). Αντίθετα, αν η χρήση αυξάνει κατά 2% το χρόνο (ρεαλιστική εκτίμηση ιδιαίτερα με το ρυθμό αύξησης των τελευταίων ετών), οι πόροι θα διαρκέσουν 150 χρόνια και τα αποθέματα μόνον 65 χρόνια. Οι εκτιμήσεις αυτές ισχύουν προφανώς κάτω από τις εξής προϋποθέσεις: δεν θα ανακαλυφθούν νέα αξιόλογα κοιτάσματα και δεν θα βελτιωθεί η τρέχουσα απόδοση των διεργασιών εξόρυξης και αξιοποίησης των ανθράκων.

Τα μεγαλύτερα αποθέματα ανθράκων βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο. Οι Η.Π.Α., η πρώην Σοβιετική Ένωση και η Κίνα κατέχουν το 80% των παγκόσμιων ανακτήσιμων πόρων, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.8.

Η παραγωγή και κατανάλωση άνθρακα αυξάνει σημαντικά τα τελευταία 5 χρόνια (με μέση ετήσια αύξηση περίπου 4,2%, Σχήμα 1.15), ύστερα από μία περίοδο σχετικής στασιμότητας, ενώ οι τιμές του εμφανίζουν συστηματική άνοδο τα τελευταία 2-3 χρόνια, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.9.

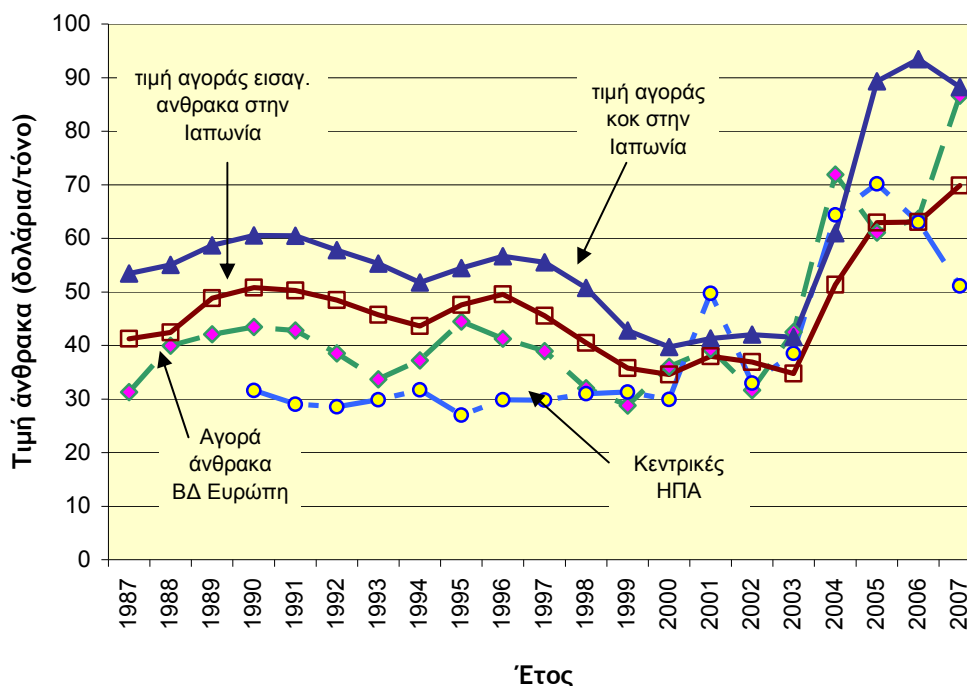


Σχήμα 3.8. Οι χώρες με τους πλουσιότερους πόρους και αποθέματα ανθράκων.

3.9. Η κατάσταση στη χώρα μας

Το σημαντικότερο ενεργειακό καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα παραμένει ο λιγνίτης αν και το ποσοστό του μειώθηκε τα τελευταία χρόνια λόγω της λειτουργίας μονάδων με φυσικό αέριο. Στον Πίνακα 1.9 έχει παρουσιαστεί ή εγκατεστημένη ισχύς της ΔΕΗ από διάφορες ενεργειακές πηγές. Δύο είναι οι κύριες περιοχές εξόρυξης λιγνίτη, η Πτολεμαΐδα (και η γύρω περιοχή) και η Μεγαλόπολη. Στο Σχήμα 3.10 δίνεται η εξέλιξη με το χρόνο της παραγωγής και της κατανάλωσης άνθρακα στην χώρα μας, ενώ στο Σχήμα 3.11 παρουσιάζονται τα συνολικά αποθέματα λιγνίτη της χώρας μας και το ποσοστό

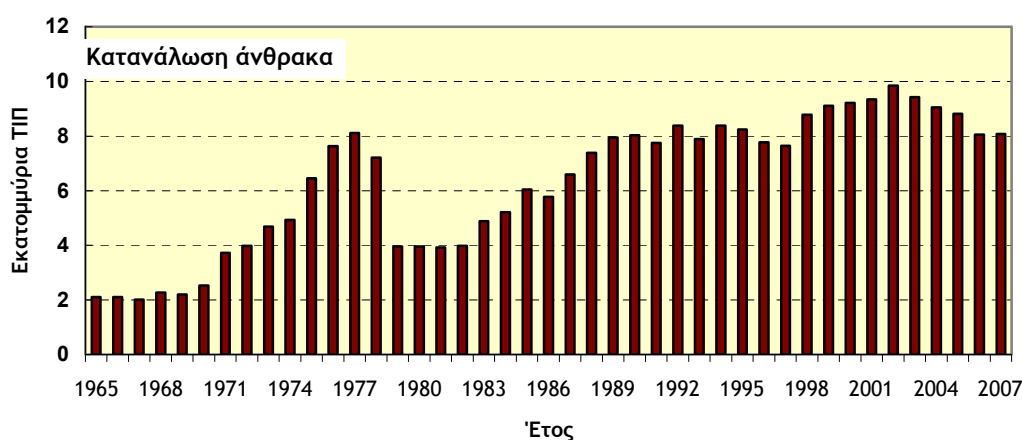
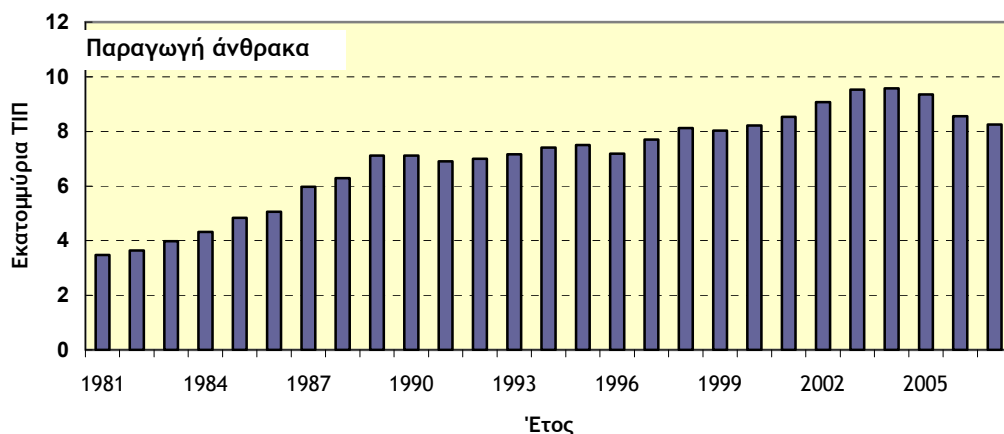
που έχει ήδη εξορυχθεί. Η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Το σύνολο του ελληνικού λιγνίτη διατίθεται στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας και μικρό μόνο μέρος της τάξης του 1,5% χρησιμοποιείται για παραγωγή μπρικετών λιγνίτη για εξωηλεκτρική χρήση (ως αναγωγικού μέσου σε δύο μεταλλουργικά εργοστάσια σιδηρονικελίου της Βαλκανικής).



Σχήμα 3.9. Εξέλιξη των τιμών άνθρακα τα τελευταία 20 χρόνια.

Με βάση τα συνολικά αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια. Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα μας ανέρχονται σε περίπου 5 δισ. τόνους. Το 2002 εξορύχθηκαν συνολικά 70,3 εκ. τόνοι λιγνίτη. Οι επτά λιγνιτικοί σταθμοί της ΔΕΗ αποτελούν το 44% της εγκατεστημένης ισχύος και παρήγαγαν το 2002 περίπου το 64% της ηλεκτρικής παραγωγής της ΔΕΗ. Τέλος, εκτός από το λιγνίτη, η Ελλάδα διαθέτει και ένα μεγάλο κοίτασμα τύρφης (χαμηλής ποιότητας) στην περιοχή των Φιλιππων.

Η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή. Η θερμογόνο δύναμη κυμαίνεται από 4-5 MJ/kg στις περιοχές Μεγαλόπολης, Αμυνταίου και Δράμας, από 5,4-6,0 MJ/kg στην περιοχή Πτολεμαΐδας και 7,5-10 MJ/kg στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας (Πίνακας 3.5). Σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας μας είναι η χαμηλή σχετικά περιεκτικότητα σε θείο. Για το λιγνίτη της Περιοχής Πτολεμαΐδας, με βάση τις συνηθισμένες τιμές περιεκτικότητας θείου σε ξηραθέντα δείγματα ($S_{ολικό}=1,3\%$, $S_{καύσιμο}=0,6\%$, $S_{τέφρας}=3\%$) και θεωρώντας περιεκτικότητα τέφρας επί ξηρού 30% και υγρασία 55%, το θείο που περιέχεται σε 100 g φυσικού δείγματος είναι 0,58 g, από τα οποία 0,40 g δεσμεύονται στην τέφρα και 0,18 g διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα.

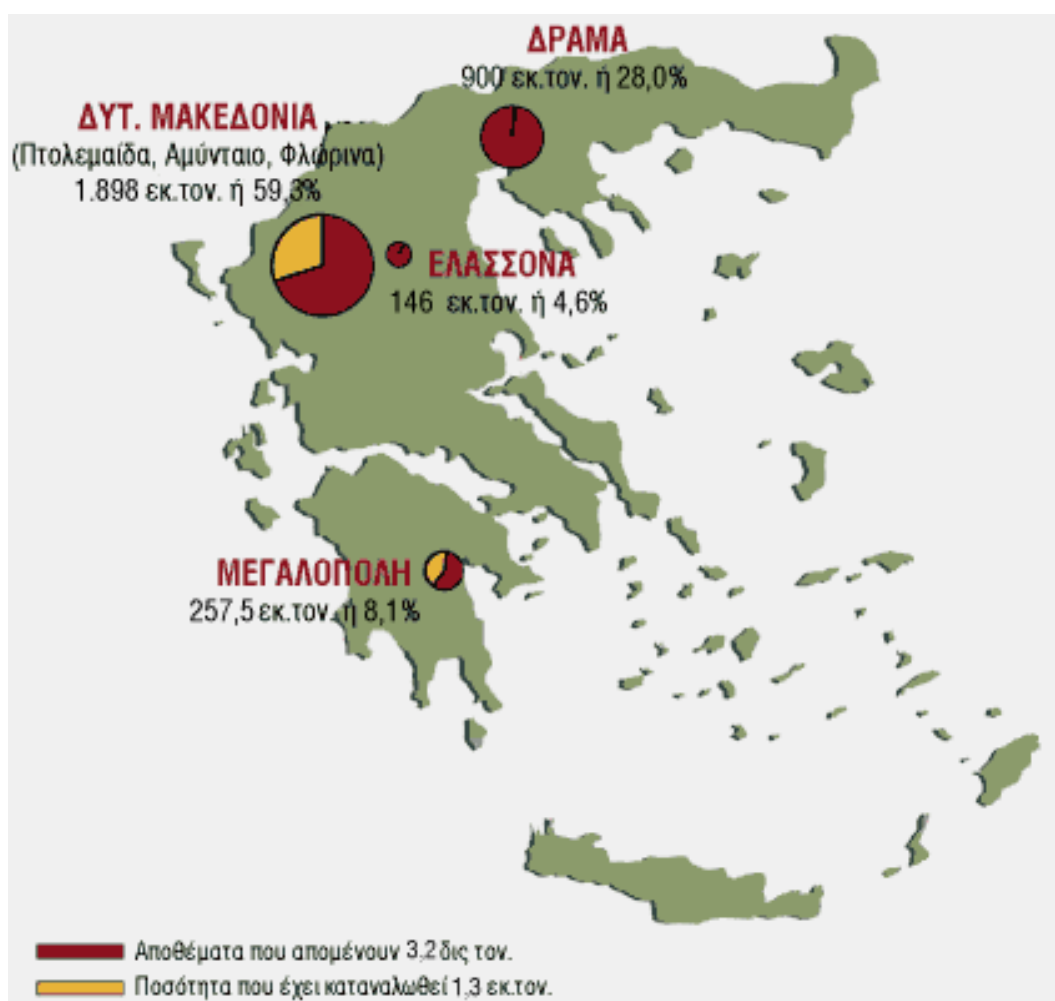


Σχήμα 3.10. Παραγωγή και κατανάλωση άνθρακα στην Ελλάδα. Πηγή: BP Statistical Review, 2008.

Ο ελληνικός λιγνίτης της Πτολεμαΐδας έχει μέση υγρασία 58% κ.β. και μέση θερμογόνο δύναμη 5,6 MJ/kg. Τα χαρακτηριστικά αυτά μαζί με την υψηλή τέφρα τον καθιστούν από τους φτωχότερους ίσως λιγνίτες διεθνώς, που προορίζονται για ηλεκτροπαραγωγή. Ο λιγνίτης Μεγαλόπολης πιθανώς να είναι και ο φτωχότερος υπό εκμετάλλευση λιγνίτης στον κόσμο.

Πίνακας 3.5. Στοιχειακή ανάλυση ελληνικών γαιανθράκων ύστερα από ξήρανση και αφαίρεση της τέφρας.

	Λιγνίτης Πτολεμαΐδας	Λιγνίτης Μεγαλόπολης	Τύρφη Φιλίππων
C % κ.β	65,8	60,2	61,4
H % κ.β	4,7	5,5	5,3
O % κ.β	26,6	25,6	29,2
N % κ.β	1,0	2,3	2,0
S % κ.β	1,9	6,4	2,1
A.Θ.Δ. MJ/kg	5,6	4,8	5,9
Πτητικά % κ.β	58,7	63,2	62,3



Σχήμα 3.11. Κοιτάσματα λιγνίτη στην Ελλάδα (Πηγή ΔΕΗ: www.dei.gr/deh/ilektriko/orixeia).

Τα κεφάλαια 3-6 βασίστηκαν κυρίως στην παρακάτω βιβλιογραφία:

- Βασάλος Ι. και Λεμονίδου Α., «Σημειώσεις - Ενεργειακές Πρώτες Ύλες», Τμήμα Χημικών Μηχανικών ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2002.
- Νικολαΐδης, Ι., «Τεχνολογίες Εκμετάλλευσης Ορυκτών Πόρων», Διδακτικές Σημειώσεις, Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, Κοζάνη, 2003.
- ΔΕΠΑ Α.Ε., «Το φυσικό αέριο και οι χρήσεις του» και «Το φυσικό αέριο και η καύση του», Αθήνα, 1977.
- Hinrichs, R.A., "Energy - Its Use and the Environment", Saunders College Publ., 1996.
- Nelson, W.L., "Petroleum Refinery Engineering", Fourth Edition, McGraw-Hill, 1985.
- Radovic, L.R. "Energy and Fuels in Society", McGraw-Hill, 1997 (και <http://www.ems.psu.edu/~radovic/matsc101.html>)
- Tyler Miller, G. «Βιώνοντας το Περιβάλλον», Ένατη έκδοση, Μετάφραση, Εκδόσεις Ίων, 1999.
- BP Company, "BP Statistical Review of World Energy, 2008" (www.bp.com)
- Χρηστάνης, Κ. «Ενεργειακές Πηγές & Ενεργειακές Πρώτες Ύλες», Τμήμα Γεωλογίας Παν. Πατρών, 2005.