ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ & ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

«ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ»

ΜΑΡΙΑ ΚΑΤΑΝΤΩΝΑΚΗ

ΜΑΡΙΑ ΚΑΝΑΚΙΔΟΥ
ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ, 2009

University Of Crete
Department of Chemistry

Environmental Chemical Processes Laboratory

Master Thesis
Environmental Science and Engineering

"BIOFUELS AND THEIR EFFECT IN THE TROPOSPHERIC CHEMISTRY"

Maria Katantonaki

Maria Kanakidou
Supervisor

Heraklion, 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης που με δέχτηκε στο πρόγραμμα ΕΠΕΑΕΚ ***«Επιστήμες και Μηχανική Περιβάλλοντος»*** για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής καθώς και το **«Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Χημικών Διεργασιών του Τμήματος Χημείας»**, όπου η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε, για την δυνατότητα αλλά και την υλικοτεχνική υποδομή που μου προσέφερε.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την επίκουρο καθηγήτρια Μαρία Κανακίδου για την ανάθεση του θέματος και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη την διάρκεια της παρούσας εργασίας. Την ευχαριστώ επίσης για τις ιδιαίτερα εποικοδομητικές συζητήσεις που είχαμε, οι οποίες με βοήθησαν να καταλάβω σε βάθος τις διεργασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα. Την ευχαριστώ τέλος για τις ικανότητες που μου καλλιέργησε και τον τρόπο σκέψης που μου δίδαξε και τις πολλές ευκαιρίες που μου προσέφερε, που χωρίς αυτές δεν θα ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί η παρούσα διατριβή λόγω επιβαρυμένου φόρτου εργασίας.

Ευχαριστώ τους καθηγητές Σπυρίδων Περγαντή και Παναγιώτη Παπαγιαννακόπουλο που δεχτήκανε να είναι μέλη της συμβουλευτικής μου επιτροπής.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την Δρ. Μαρία Σφακιακιάκη και φίλη για τις γνώσεις, την βοήθεια, την εμπειρία και την συμπαράσταση που μου προσέφερε η οποία ήταν ιδιαίτερα σημαντική για μένα.

Ευχαριστώ επίσης την μεταπτυχιακή φοιτήτρια και φίλη Γεωργία Τζιρίτα για την βοήθεια που μου προσέφερε.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου και στους φίλους μου που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια και για την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα εναλλακτικά καύσιμα (όπως βιοκαύσιμα, φυσικό αέριο, υδρογόνο) πρόκειται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών και ενέργειας επειδή αποτελούν μία από τις λίγες διαθέσιμες εναλλακτικές επιλογές με την οποία η βενζίνη και το πετρέλαιο κίνησης αντικαθιστούνται ως καύσιμα για τις μεταφορές. Στην παρούσα μελέτη υπολογίστηκαν τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη του Ηρακλείου και πως αυτά επηρεάζονται με τη χρήση των βιοκαυσίμων. Χρησιμοποιήθηκαν τα αναλυτικά στοιχεία των οχημάτων που κυκλοφορούν στην Κρήτη: τύπος, χρήση και έδρα οχήματος κλπ., τα χαρακτηριστικά χρήσης και ενεργειακής κατανάλωσης, δηλ. διανυθέντα χιλιόμετρα, ονομαστική ή πραγματική κατανάλωση καυσίμου, βάρος, ποσοστό χρήσης στην πόλη ή αυτοκινητόδρομους κλπ. Από αυτά τα στοιχεία υπολογίστηκαν οι εκπομπές ρύπων στην πόλη του Ηρακλείου από το κυκλοφοριακό φόρτο και πως αυτές μεταβάλλονται με την χρήση των βιοκαυσίμων και συγκεκριμένα οι εκπομπές ρύπων VOCs, NOx, $PM_{2.5}$, CO_2, CO (με βάση τις προδιαγραφές του κατασκευαστή που ανήκει κάθε όχημα). Κατόπιν με τη χρήση ενός χημικού μοντέλου 0 διαστάσεων μελετήθηκε πως τα επίπεδα ρύπανσης της πόλης του Ηρακλείου επηρεάζονται από την κυκλοφορία των οχημάτων κάθε τύπου με την χρήση συμβατικών καυσίμων καθώς και το πως μεταβάλλονται αυτά με την χρήση βιοκαυσίμων.

Η παρούσα εργασία είχε σκοπό τον υπολογισμό της επίδρασης της χρήσης των βιοκαυσίμων και συγκεκριμένα του βιοντήζελ με περιεκτικότητες 20%v/v (B20) και 100%v/v (B100) στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Μελετήθηκε επίσης και η ιδανική περίπτωση πλήρους έλλειψης κυκλοφοριακού φόρτου. Δείξαμε ότι η χρήση βιοκαυσίμων και κυρίως του B100 οδηγεί σε χαμηλότερες τιμές όζοντος σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα αυτοκινήτων.

ABSTRACT

The alternative fuels (as bio-fuel, natural gas, hydrogen) have been integrated in the European policy for transports and energy because they constitute one of the few available alternative choices in which the petrol and the oil for engines can be replaced as fuels for the transports.

In the present study, we have been calculated the levels of air pollution in the city of Heraklion and how these levels are influenced by the use of bio-fuels. For this, data of the main transport vehicles in Crete: type, use and seat of vehicle, the usage characteristics and energy consumption, such as covered kilometers, nominal or real consumption of fuel, weight, usage percentage in the city or highways etc, have been employed.

Based on these elements the gas emissions in the city of Heraklion from the traffic were calculated and how these are changing with the use of bio-fuels and specifically the gas emissions VOCs, NOx, CO_2, CO (based on the specifications of the manufactures of each vehicle). Then, by the mean of chemical model of -0- dimensions the levels of pollution in the city of Heraklion were calculated and how they are influenced by the circulation of vehicles of each type with the use of conventional fuels as well as the way that levels change with the use of bio-fuels.

The present work was aiming the estimate of the effect of use of bio-fuels and specifically biodiesel with contents 20%v/v (B20) and 100%v/v (B100) improvement of quality of the air. The ideal case of full absence of traffic was also studied. We have shown that the use of bio-fuels and mainly the B100 leads to lower levels of ozone than the conventional fuels of cars.

Βιογραφικό Σημείωμα

Προσωπικά στοιχεία

Όνομα:	**Μαρία**
Επώνυμο:	**Καταντωνάκη**
Ημερομηνία γέννησης:	01/02/1973
Τόπος γέννησης:	Ηράκλειο Κρήτης, Ελλάδα
Διεύθυνση	
Ταχυδρομική:	Λ. Ικάρου 41, 71307, Πόρος,
E-mail	mkatadwnaki@hotmail.com/mkata@chemistry.uoc.gr
Τηλέφωνα	
Οικίας	+30 2810 220330
Εργασίας	+30 2810 224854
Κινητό	+30 6944464551
Fax:	+30 2810 343873

Μόρφωση

Πτυχίο Χημείας, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Απασχόληση

- Επιστημονική Συνεργάτης του Ενεργειακού Κέντρου Περιφέρειας Κρήτης, Υπεύθυνη Ενεργειακών Εκπαιδευτικών Προγραμμάτων σε μαθητές και εκπαιδευτικούς Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης στα πλαίσια Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης με θέματα: **«Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Εξοικονόμησης και Ορθολογικής Χρήσης της Ενέργειας και Κλιματικών Αλλαγών»,**
- Γραμματειακή υποστήριξη, Τηλεφωνήτρια, Χειρίστρια Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, σύνταξη αγγελιών, κλπ. στην Εφημερίδα «ΠΑΓΚΡΗΤΙΑ ΝΕΕΣ ΑΓΓΕΛΙΕΣ»

Εκπαιδευτική Εμπειρία

- Ωρομίσθια Καθηγήτρια Χημείας μέσω των προγραμμάτων «Πρόσθετης Διδακτικής Στήριξης»**»** και της *«Ενισχυτικής Διδασκαλίας»* στα παρακάτω σχολεία Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης του Ν. Ηρακλείου:
  - 11^{ο} ΓΕΛ Ν.Ηρακλείου,
  - ΓΕΛ Αρκαλοχωρίου,
  - ΓΕΛ Καστελίου,
  - ΕΠΑΛ Αρκαλοχωρίου,
  - 4^{Ο} ΓΕΛ Ν.Ηρακλείου,
  - ΓΕΛ Ν. Αλικαρνασσού,
  - ΓΕΛ Μοχού,
  - 10^{ο} ΓΕΛ Ν.Ηρακλείου,
  - 6^{ο} ΓΕΛ Ν. Ηρακλείου,
  - 3^{ο} ΓΕΛ Ν. Ηρακλείου
  - Γυμνάσιο Επισκοπής Ηρακλείου,
  - Γυμνάσιο Αρχανών
- Καθηγήτρια Χημείας σε μαθητές Λυκείου & Γυμνασίου σε μαθητές Γυμνασίου (και Φυσικής) στα Φροντιστήρια Μέσης Εκπαίδευσης:
  - «ΜΕΘΟΔΟΣ»,
  - «ΗΡΑΚΛΕΙΤΟΣ»

Γνώσεις Υπολογιστών

Microsoft Windows 3.11, 95, 98, NT, 2000.

- Microsoft Word 6.0, 7.0, 2000
- Microsoft Excel 5.0, 7.0, 2000
- Microsoft PowerPoint 5.0, 7.0, 2000
- Adobe Photoshop 4.0, 5.0, 5.5, 6.0

Συμμετοχές σε συνέδρια

Εισηγήσεις σε εκπαιδευτικούς Α/θμιας και Β/θμιας Εκπ/σης:

- Ιούνιος 2007: Διημερίδα ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης για την Τοπική Κοινωνία και τη Διαχείριση των Φυσικών Πόρων με θέμα: «Ενεργειακή Διαχείριση και Περιβάλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Εξοικονόμηση Ενέργειας», Κ.Π.Ε. Ανωγείων,
- Νοέμβριος 2007: 3^{ο} Πανελλήνιο Συνέδριο της Πανελλήνιας Ένωσης Εκπαιδευτικών για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση με θέμα «Εκπαίδευση για την Αειφορία και Περιβαλλοντική Εκπαίδευση: Κοινωνία-Οικονομία-Περιβάλλον- Πολιτισμός», Φιλοσοφική Σχολή Πανεπιστημίου Αθηνών,
- Φεβρουάριος 2008: Επιμορφωτικό σεμινάριο του Κ.Π.Ε. Βάμου με θέμα: «Δημιουργικές Εργασίες στην Περιβαλλοντική Εκπαίδευση», Κ.Π.Ε. Βάμου,
- Μάιος 2008: Επιμορφωτικό σεμινάριο του Κ.Π.Ε. Ιεράπετρας με θέμα: «Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Εκπαίδευση: Εννοιολογική και μεθοδολογική Προσέγγιση», Κ.Π.Ε. Ιεράπετρας,
- Μάιος 2008: Επιμορφωτικό σεμινάριο του Ενεργειακού Κέντρου Περιφέρειας Κρήτης και της Δ/νσης Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης Ν. Ηρακλείου – Τμήμα Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης και η ΠΕΕΚΠΕ Ανατολυτικής Κρήτης με θέμα: «Προγράμματα Ενεργειακής Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης για την Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση», Κτίριο Διαχείρισης Κρίσεων Περιφέρειας Κρήτης,
- Μάρτιος 2009: Επιμορφωτικό σεμινάριο του Κ.Π.Ε. Βάμου με θέμα: «Η Περιβαλλοντική Εκπαίδευση και ο ρόλος των Κ.Π.Ε. στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση», Κ.Π.Ε. Βάμου (Σχολικοί Σύμβουλοι Α/θμιας Εκπ/σης της Περιφέρειας Κρήτης),
- Απρίλιος 2009: Επιμορφωτικό σεμινάριο του Κ.Π.Ε. Βάμου με θέμα: «Αλλάξτε συμπεριφορές. Ανακυκλώστε.S.O.S.τε», Κ.Π.Ε. Βάμου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....16

1.1 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ.....16

1.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΥΟΤΟ.....18

1.3 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....19

1.3.1 Τι είναι φαινομένου του θερμοκηπίου.....20

1.3.2 Εξήγηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και παγκόσμια θέρμανση.....21

1.3.3 Παράγοντες που συμβάλλουν στην ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.....21

1.3.4 Αέρια του θερμοκηπίου.....22

1.4 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....25

1.4.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα.....28

1.4.2 Τροποσφαιρικό όζον.....29

1.5 ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ-ΟΖΟΝ ΚΑΙ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ.....38

2. ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΤΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ.....40

2.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ.....40

2.2 ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΤΑΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ.....41

2.3 ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ.....45

2.3.1 Ο τομέας των Μεταφορών στην Ελλάδα.....46

2.3.2 Λύση στον τομέα των μεταφορών.....47

2.4 ΣΧΕΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....48

2.5 ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΑΙ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ.....49

2.5.1 Βιομάζα.....49

2.5.2 Βιοκαύσιμα.....51

2.6 ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ 1ης και 2ης ΓΕΝΙΑΣ.....57

2.7 ΠΛΕΟΝΤΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ.....59

2.8 ΒΙΟΝΤΗΖΕΛ.....62

2.9 ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ.....67

3. ΣΚΟΠΟΣ.....71

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΗΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (FACSIMILE).....72

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....72

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....73

4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ-ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....77

5. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΚΑΙ ΟΧΗΜΑΤΑ.....78

6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ).....82

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....92

8. ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....95

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....108

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....108

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2. ΟΔΗΓΙΕΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ.....111

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ – ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....116

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4. ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗ..116

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ – ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΒΙΟΝΤΗΖΕΛ.....118

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6. ΠΑΡΑΓΩΓΗ – ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ.....124

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7. ΚΟΣΤΟΣ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ.....126

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Οι υπολογισμοί κλιματολογικών μοντέλων παίρνοντας υπόψη μόνο τα θερμοκηπικά αέρια και τα θερμοκηπικά αέρια με τα σωματίδια προβλέπουν μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη και την άνοδο της στάθμης των θαλάσσιων υδάτων από το 1850 μέχρι το 2100 με το πλέον ευνοϊκό σενάριο, (*IPCC,2007*)……..20

Σχήμα 1.2: Απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου, (*http://climatechange.edu.gr/wp-content/uploads/2009/04/09-greenhousegases-300x232.jpg*)……20

Σχήμα 1.3 : Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των κυριότερων αερίων θερμοκηπίου από το έτος 0 έως το έτος 2005. Οι αυξήσεις από το 1750 αποδίδονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες κατά τη βιομηχανική εποχή. Οι συγκεντρώσεις CO_2 και N_2O είναι σε μέρη στο εκατομμύριο (ppm) και του CH_4 σε μέρη στο δισεκατομμύριο (ppb), (*http://www.rewebis.gr/material/3.pdf*)……23

Σχήμα 1.4: Ενώ η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα αυξάνεται ακόμα, ο ρυθμός της αύξησης επιβραδύνεται από τη δεκαετία του '80, (*NASA, Hansen, 2000*)……24

Σχήμα 1.5. Κατανομή των ανθρωπογενών πηγών και των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από αυτές στην ατμόσφαιρα, (*lap.phys.auth.gr/pms/upload/WEB_POLLUTION.DOC*)……26

Σχήμα 1.6: Τριγωνική δομή O_3, (*http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_ozone.htm#05*)……29

Σχήμα 1.7: Σχηματική παράσταση που δείχνει την προέλευση του O_3 της τροπόσφαιρας, (*http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/ozontovolisi.pdf*)……31

Σχήμα 1.8.: Τυπική κατανομή της συγκέντρωσης του όζοντος ως μερική πίεση (σε mPa) συναρτήσει του ύψους (σε km), (*http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_ozone.htm#05*)……31

Σχήμα 1.9: Διαχρονική αύξηση της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος για την περίοδο 1876-1910 (10 με 15 ppbv), στο Montsouris της Γαλλίας, (*Volz and Kley, 1988*)……33

Σχήμα 1.10: Συγκριτικά αποτελέσματα από 13 παγκόσμια μοντέλα χημείας και μεταφοράς, τριών διαστάσεων, για τους μήνες Ιανουάριο και Ιούλιο με ταυτόχρονη σύγκριση με τιμές από το μοντέλο MOGUNTIA και τις πειραματικές τιμές από τη πόλη του Ηρακλείου και το σταθμό της Φινοκαλιάς, (*Kouvarakis et al., 2000*)……33

Σχήμα 1.11: Κατανομή της ολικής στήλης του τροποσφαιρικού όζοντος στις 28/6/1992 από μετρήσεις δορυφόρου πάνω από την Μεσόγειο. Η ολική στήλη όζοντος μετριέται σε Dobson Units (DU) όπου 1 DU αντιστοιχεί σε μήκος 0.001 cm υπό κανονικές συνθήκες. Για παράδειγμα ολική στήλη τροποσφαιρικού όζοντος 100 DU σημαίνει ότι εάν είχαμε την δυνατότητα να συμπιέσουμε όλο το όζον αυτής της στήλης (μοναδιαίου εμβαδού) κοντά στην επιφάνεια η στήλη θα είχε ύψος 0.1 cm, (*J. Fishman, NASA Langley Research Center, Hampton, Virginia, USA*)……34

Σχήμα 1.12: Τιμές τροποσφαιρικού όζοντος στο σταθμό της Φινοκαλιάς για τα έτη 1999, 2002 και 2003. Το έτος 1999 εμφανίζει φωτοχημικό μέγιστο τους μήνες Απρίλιο και Ιούλιο, το έτος 2002 τους μήνες Μάιο και Ιούλιο και το έτος 2003 τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο, (*Gerasopoulos et al., 2005*)……..35

Σχήμα 1.13: **Τιμές τροποσφαιρικού όζοντος (ημερήσιες μετρήσεις) στη περιοχή της Φινοκαλιάς την περίοδο 1997-2004,** (*Gerasopoulos et al., 2005*)……..35

Σχήμα 1.14: Ημερήσιες σχετικές μεταβολές του όζοντος (συγκεντρώσεις κανονικοποιημένες ως προς τη μέση εικοσιτετράωρη συγκέντρωση) στο πλοίο El Greco για τους μήνες Οκτώβριο του 1999 και Ιανουάριο, Απρίλιο και Ιούλιο του 2000, με τις αντίστοιχες από το σταθμό της Φινοκαλιάς για σύγκριση, (*Kouvarakis et al., 2002c*)……36

Σχήμα 1.15: Επίδραση της προέλευσης των αέριων μαζών στη συγκέντρωση του τροποσφαιρικό όζοντος ανά μήνα για τα έτη 1997 έως 2000., (*Kouvarakis et al., 2002c*)……36

Σχήμα 1.16: Μέσες μηνιαίες τιμές του συγκεντρώσεων του τροποσφαιρικού όζοντος στη πόλη του Ηρακλείου και στο σταθμό της Φινοκαλιάς για τη περίοδο 1990-2001, γραμμική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων από τη πόλη του Ηρακλείου και το σταθμό της Φινοκαλιάς, (*Kouvarakis et al., 2000*)……37

Σχήμα 2.1: Συνεισφορά στις εκπομπές CO_2 δραστηριοτήτων που συνδέονται με τη χρήση (καύση) ορυκτών καυσίμων για το 2004, (*ENERDATA*)……42

Σχήμα 2.2: **Σχετικές εκπομπές CO_2 αν με αναφορά το 1990 όπου οι εκπομπές λαμβάνονται ίσες με 100 ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας**, (*ENERDATA*).42

Σχήμα 2.3.: Αναμενόμενη εξέλιξη εκπομπών CO_2 από τον τομέα ηλεκτροπαραγωγής (Gt CO_2/yr), (*WRI 2006*)……43

Σχήμα 2.4: Εξέλιξη της αύξησης προσφοράς πετρελαίου και βιοκαυσίμων, 2006-2011, η αύξηση της προσφοράς υποχωρεί μετά το 2008, (*IEA, Medium Term Oil Market Report, Feb2007*)……44

Σχήμα 2.5: Αναμενόμενη αύξηση της δυναμικότητας διύλισης 2006-2011, (*IEA, 2007*)……44

Σχήμα 2.6: Παγκόσμια παραγωγή Βιοκαυσίμων, 2000-2011, (*IEA, Medium Term Oil Market Report, 2007*)……44

Σχήμα 2.7: Παραγωγή βιοντήζελ στην Ε.Ε. από το 1992, (*Biofuels Barometer - June 2004, EUROBSERV'ER*)……..……53

Σχήμα 2.8: Παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ε.Ε. από το 1992, (*Biofuels Barometer - June 2004, EUROBSERV'ER*)……53

Σχήμα 2.9: Πολύ μικρή η παραγωγή της Ελλάδας σε βιοκαύσιμα σε σχέση με άλλες Ευρωπαικές χώρες (Γερμανία, Ιταλία, Γαλλία), (*www.econ.uoi.gr/epixirimatikotita/parousiaseis/.../biodiesel.ppt*)……*55*

Σχήμα 2.10. Διεργασίες παραγωγής βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς, Fischer-Tropsch και πυρόλυση βιομάζας, (*vergina.eng.auth.gr/IHT/Proc8th/Biofuels.doc*)….59

Σχήμα 2.11: Ο κλειστός κύκλος άνθρακα των βιοκαυσίμων *(«From niche to nation: Ethanol Industry Outlook 2006», Renewable Fuels Association – RFA, USA*)……61

Σχήμα 2.12: Ποσοστό μείωσης των εκπομπών με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε βιοντήζελ, *(«Biofuels for Transport – An International Perspective», International Energy Agency, April 2004*)……61

Σχήμα 2.13: Η απαίτηση καυσίμων μηχανών στην ΕΕ-27: Το diesel συνεχίζει την ισχυρή αύξησή του, η απαίτηση βενζίνης μειώνεται, (*Eurostat*)……63

Σχήμα 2.14: Τάση στην παραγωγή biodiesel της Ευρωπαικής Ένωσης, (*EBB*)……..63

Σχήμα 2.15. : Η αύξηση ζήτησης βιοαιθανόλης για τα έτη 2001-2006, (*C., Berg. 2001. World Ethanol Production 2001*)……68

Σχήμα 2.16: Παγκόσμια παραγωγή αιθανόλης σε δις L, (*C., Berg. 2001. World Ethanol Ethanol Production 2001*)……68

Σχήμα 2.17 : Ενεργειακό Ισοζύγιο της παραγωγής βιοαιθανόλης, (*National Geographic & LAMNET*)……70

Σχήμα 4.1: Μοντέλο κουτιού μηδέν διαστάσεων, Eulerian (*Graedel and Crutzen, 1993*)……72

Σχήμα 4.2: Λογικό διάγραμμα του μοντέλου σε απλοποιημένη μορφή……73

Σχήμα 6.1: Μεταβολή των συγκεντρώσεων του όζοντος (σε ppbv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100% βιοντήζελ)……83

Σχήμα 6.2: Μεταβολή της καθαρής χημικής παραγωγής του όζοντος (σε ppbv/h) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ), όπου Net chemical productionO_3/h&F αναφέρεται στην καθαρή χημική παραγωγή όζοντος παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου, Net chemical production O_3/h_noF αναφέρεται στην καθαρή χημική παραγωγή όζοντος παρουσία μη κυκλοφοριακού φόρτου, όπου Net chemical production O_3/h&B100, αναφέρεται στην καθαρή χημική παραγωγή όζοντος με χρήση βιοντήζελ B100 ενώ όπου Net chemical production O_3/h & B20 αναφέρεται στην καθαρή χημική παραγωγή όζοντος με χρήση βιοντήζελ B20……84

Σχήμα 6.3: Οι μεταβολές των ωριαίων συγκεντρώσεων χημικής παραγωγής όζοντος(σε ppbv/h) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και των συγκεντρώσεων με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ)……85

Σχήμα 6.4: Μεταβολή των συγκεντρώσεων της ρίζας •OH (σε ppbv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ)……86

Σχήμα 6.5: Μεταβολή των συγκεντρώσεων της ρίζας RO_2• (σε pptv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ).....87

Σχήμα 6.6: Μεταβολή των συγκεντρώσεων του CH_3O_2• (σε pptv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ).....88

Σχήμα 6.7: Μεταβολή των συγκεντρώσεων του HO_2• (σε pptv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ).....89

Σχήμα 6.8: Μεταβολή των συγκεντρώσεων του HO_2• (σε pptv) και των συγκεντρώσεων του NO (σε ppbv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ).....89

Σχήμα 6.9: Μεταβολή των συγκεντρώσεων του H_2O_2 (σε pptv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ).....90

Σχήμα 6.10: Μεταβολή των συγκεντρώσεων του CO (σε ppbv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ).....91

Σχήμα 9.1: Κατανομή της παγκόσμιας ζήτησης τελικής ενέργειας ανά τομέα δραστηριότητας και είδος καυσίμου για το έτος 2004 (*IEA*).....108

Σχήμα 9.2: Διάγραμμα ροής της παραγωγής αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, (*http://bioenergynews.blogspot.com*).....117

Σχήμα 9.3: Παγκόσμια παραγωγή των κυριότερων φυτικών ελαίων σε 1.000 τόνους, (*FEDIOL, 2008*).....119

Σχήμα 9.4: Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγή βιοντήζελ, (*http://bioenergynews.blogspot.com*).....120

Σχήμα 9.5: Στάδια της παραγωγικής διαδικασίας του βιοντήζελ, (*http://bioenergynews.blogspot.com*).....121

Σχήμα 9.6: *Αντίδραση* Μετεστεροποίησης Τριγλυκεριδίου, (*http://bioenergynews.blogspot.com*).....121

Σχήμα 9.7: Υδρόλυση εστέρων και σαπωνοποίησή τους, (*http://bioenergynews.blogspot.com*).....122

Σχήμα 9.8: Όξινη εστεροποίηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων, (*http://bioenergynews.blogspot.com*).....122

Σχήμα 9.9: Εκτίμηση για τη διαμόρφωση του κόστους παραγωγής βιοντήζελ μετά το 2010, η δεύτερη , τρίτη, τέταρτη και τελευταία ράβδος αναφέρονται στο κόστος παραγωγής βιοντήζελ από λίπη (Ε.Ε. & ΗΠΑ), ελαιοκράμβη (Ε.Ε.), σόγια (ΗΠΑ) και βιομάζα (με τη μέθοδο Fischer-Tropsch), αντίστοιχα (*IEA*).....124

Σχήμα 9.10: Η σύγκριση των τιμών βενζίνης και αιθανόλης ως συνάρτηση της τιμής αργού πετρελαίου, (*http://bioenergynews.blogspot.com*).....125

Σχήμα 9.11 : Διάγραμμα ροής της παραγωγής αιθανόλης, (*http://bioenergynews.blogspot.com*).....126

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου από το 1750 μέχρι το 1998. Συνολικά, η συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 31% από το 1750, (*IPCC)*.....24

Πίνακας 2.1 : Παραγωγή βιοκαυσίμων για τις μεταφορές, υπολογισμένη σε μετρικούς tn (αντιστοιχία με 1.000t πετρελαίου), (*EBB, 2009*).....54

Πίνακας 2.2: Αυξητική τάση της παραγωγής biodiesel για τα έτη 2005-2008, υπολογισμένη σε tn, (*ΥΠΑΝ, 2008*).....55

Πίνακας 2.3: Η ελληνική παραγωγή και εμπορία βιοντήζελ που έλαβαν δικαιώματα πώλησης το 2008, και πληροφορίες σχετικές με τη δηλωθείσα δυναμικότητα της παραγωγής των εταιριών αυτών και το ύψος της αποφορολόγησης που έλαβαν, (*ΥΠΑΝ, 2009*).....56

Πίνακας 2.4: Τύποι, ονομασίες και διεργασίες τυπικών βιοκαυσίμων, (*vergina.eng.auth.gr/IHT/Proc8th/Biofuels.doc*).....58

Πίνακας 2.5: Τύποι, ονομασίες και διεργασίες των βιοκαυσίμων 2^{ης} γενιάς, (*vergina.eng.auth.gr/IHT/Proc8th/Biofuels.doc*).....58

Πίνακας 2.6: Ποσοστό μείωσης των εκπομπών NOx, PM, HC, CO με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε βιοντήζελ, *(«Biofuels for Transport – An International Perspective», International Energy Agency, April 2004)*.....*61*

Πίνακας 2.7: Παραγωγή βιοντήζελ σε 4 χώρες της Ε.Ε. (Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία), (αντιστοιχία σε 1.000tn πετρελαίου), (*EBB*).....64

Πίνακας 2.8: Εκπομπές % για B100 και B20 συγκρινόμενα με το συμβατικό diesel, ***B100 **(100% Βιοντήζελ), B20 **(μίγμα αποτελούμενο από 20% Βιοντήζελ και 80% ντίζελ),** (*http://www.bioenergia.gr*).....66

Πίνακας 4.1: Αριθμός αντιδράσεων που λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο για την περιγραφή της χημείας των διαφόρων υδρογονανθράκων.....76

Πίνακας 5.1: Στον πίνακα παρουσιάζονται τα g των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων (CO, NOx, VOC, PM, CO_2) ανά οχηματοχιλιόμετρο. Επίσης δίνονται πληροφορίες για τα ετήσια οχηματοχιλιόμετρα αλλά και την δυναμικότητα του στόλου για κάθε τύπο οχήματος, (*Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών, 2007*).....80

Πίνακας 5.2: **Στον πίνακα παρουσιάζονται οι ετήσιες εκπομπές F(i) και οι μετατροπές των αερίων ρύπων (CO, NOx, VOC), μετρημένες σε molecules/sec,** (*Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών, 2007*).....80

Πίνακας 5.3: Στον πίνακα παρουσιάζονται τα molecules/cm^3/sec των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων (CO, NOx, VOC) για κάθε τύπο οχήματος, (*Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών, 2007*).....81

Πίνακας 7.1: Σύνοψη αποτελεσμάτων παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ). Οι μονάδες για το O_3 και το CO είναι σε ppbv και για το H_2O_2 σε pptv.....92

Πίνακας 7.2: Σύνοψη αποτελεσμάτων παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ). Οι μονάδες για τις ρίζες ·OH αναφέρονται σε molecules/cm^3 και οι ρίζες RO_2·, CH_3O_2·, HO_2· αναφέρονται σε pptv.....93

Πίνακας 9.1: Η περιεκτικότητα των διαφόρων σπόρων σε λάδι, (*FEDIOL,2008, http://www.fediol.be/2/index.php*).....119

Πίνακας 9.2 . Τυπική σύσταση διαφόρων ελαίων και λιπών, (*ΚΑΠΕ*).....120

Πίνακας 9.3: Μέθοδοι, θερμοκρασίες, ελεύθερα λιπαρά οξέα, χρόνοι αντίδρασης, μοριακή αναλογία μεθανόλης/ελαίου, της βασικής και της όξινης ομογενούς κατάλυσης, (*http://bioenergynews.blogspot.com*).....123

Πίνακας 9.4: Εκτιμώμενο κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης από διάφορες πρώτες ύλες, (*http://bioenergynews.blogspot.com*).....124

Πίνακας 9.5: Το δυναμικό παραγωγής βιοαιθανόλης των καλλιεργειών στην Ελλάδα, *(ΚΑΠΕ)*.....125

Πίνακας 9.6: Κόστος Βιοκαυσίμων βάσει τωρινών δεδομένων (2004), *(Ryan et.al., 2005)*.....127

Πίνακας 9.7: Κόστος Βιοκαυσίμων βάσει μελλοντικών δεδομένων (>2010), *(Ryan et.al., 2005)*.....127

Πίνακας 9.8: Σύγκριση Κόστους Βιοκαυσίμων σε Συμβατικό Πετρέλαιο (2004), *(Ryan et.al., 2005)*.....127

Πίνακας 9.9: Μείωση εκπομπών CO_{2eq}. με τη χρήση βιοκαυσίμων, συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα (2004), *(Ryan et.al., 2005)*.....128

ΚΕΦ1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο σύγχρονος κόσμος, είναι ασφαλώς οι σοβαρές επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε πλανητικό επίπεδο όπως η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και οι περιβαλλοντικές συνέπειες της για τον υδρολογικό κύκλο και το κλίμα καθώς και η ατμοσφαιρική ρύπανση από το υφιστάμενο καθεστώς διαχείρισης της ενέργειας. Είναι γεγονός ότι η αλόγιστη και σπάταλη χρήση των πηγών ενέργειας - κυρίως των ορυκτών καυσίμων - τα τελευταία χρόνια έχει προκαλέσει σοβαρότατα οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα, με σπουδαιότερα την εξάντληση των ενεργειακών πόρων και την μεγάλη ρύπανση του περιβάλλοντος.

1.1 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Ο άνθρωπος από την εμφάνιση του στη γη επεμβαίνει στο φυσικό του περιβάλλον με συνεχώς αυξανόμενους ρυθμούς σαν συνέπεια της αύξησης του πληθυσμού και της κατασκευαστικής του ικανότητας. Οι παρεμβάσεις του ανθρώπου μέχρι τα τέλη του 18ου αιώνα (γεωργία, βασικές υποδομές, οικισμοί κλπ) δεν επηρέαζαν σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον παρά μόνο τοπικά και περιοδικά και οι διαδικασίες της φύσης εξακολουθούσαν να είναι οι ρυθμιστές των αλλαγών στον πλανήτη μας.

Με την έναρξη όμως της βιομηχανικής επανάστασης και τη συνεχώς αυξανόμενη βιομηχανική και ανθρώπινη δραστηριότητα είχαμε συνεχείς επιδράσεις σε όλο το γήινο περιβάλλον. Η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού από 1 δισεκατομμύριο περίπου το 1800 σε 2.5 δισεκατομμύρια το 1950 και σε 5.5 δισεκατομμύρια περίπου σήμερα συνοδεύτηκε, με μια αντίστοιχη παρέμβαση στο περιβάλλον. Η χρήση των ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, φυσικό αέριο, πετρέλαιο), η αποδάσωση για τους σκοπούς της υλοτομίας και της γεωργίας, και οι μορφές ρύπανσης (νερού, αέρα, εδάφους) επηρεάζουν έντονα την **ατμόσφαιρα**, τον **υδρολογικό κύκλο** και τις **διάφορες μορφές ζωής**.

Η βιομηχανοποιημένη κοινωνία διείσδυσε βαθιά στη γη και εξέτρεψε τις διάφορες μορφές του αποθηκευμένου άνθρακα από τα επίπεδα που είχε φθάσει μετά από εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια σαν αποτέλεσμα του βιολογικού συστήματος της γης - ατμόσφαιρας-υδρόσφαιρας, προκειμένου να παράγει καύσιμη ύλη. Τα συμβατικά καύσιμα (πετρέλαιο, γαιάνθρακες ή φυσικά αέρια) όταν καίγονται εκπέμπουν άνθρακα με τη μορφή του διοξειδίου του άνθρακα. Υπολογίζεται ότι η ετήσια κατανάλωση φυσικών καυσίμων αντιπροσωπεύει φυσικές προσπάθειες δημιουργίας τους περίπου ενός εκατομμυρίου χρόνων. Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση των ορυκτών καυσίμων στα αυτοκίνητα, στα φορτηγά, στις υψικαμίνους, στα εργοστάσια και στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, δεν αυξάνει μόνο τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αλλά παράγει και ένα πλήθος άλλων ρυπαντών του ατμοσφαιρικού αέρα. Το Θειϊκό οξύ που συμμετέχει στην **όξινη βροχή** προέρχεται κυρίως από τις εκπομπές του διοξειδίου του θείου από εργοστάσια και εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν γαιάνθρακα και πετρέλαιο σαν καύσιμη ύλη. Τα τοξικά χημικά που μεταφέρονται από τον αέρα, όπως ο υδράργυρος, ο τοξικός μόλύβδος, τα οξείδια του αζώτου προέρχονται σε μεγάλο βαθμό από τις ίδιες διαδικασίες.

Η αποδάσωση των δασών που παρατηρείται (deforestation) για τους σκοπούς της γεωργίας ή των υποδομών έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, περιορίζοντας το ποσό του διοξειδίου του άνθρακα το οποίο απορροφούν τα δάση με την διαδικασία της φωτοσύνθεσης, συνεισφέροντας έτσι στην αύξηση του ατμοσφαιρικού $\mathbf{CO_2}$ και ταυτόχρονα αυξάνοντας τις εκπομπές του μεθανίου (CH_4) που προκαλούν οι γεωργικές δραστηριότητες. Η συνεχής αποδάσωση των τροπικών δασών του Αμαζόνιου έχει εδώ και πολλά χρόνια προκαλέσει την ευαισθητοποίηση της διεθνούς κοινότητας χωρίς όμως ιδιαίτερα αποτελέσματα. Η χρήση διαφόρων ζιζανιοκτόνων επίσης απελευθερώνει μακρόβιες βλαβερές ουσίες στην ατμόσφαιρα.

Το ανθρώπινο γένος στη πρόσφατη εξέλιξη του έχει πολλαπλασιάσει τις δραστηριότητες του με μεγάλη ταχύτητα, σε σχέση με όλη την ιστορία της γης, διαταράσσοντας μακροχρόνιες ισορροπίες της φύσης και προξενώντας ξαφνικές χημικές αλλαγές στην ατμόσφαιρα και την υδρόσφαιρα. Μπορούμε ανεπιφύλακτα να ομιλούμε για

την συνεχώς μεταβαλλόμενη σύσταση της ατμόσφαιρας και την ρύπανση της υδρόσφαιρας του 20ου αιώνα.

Ποια είναι όμως τα Περιβαλλοντικά προβλήματα και σε ποια χωρική και χρονική κλίμακα μας επηρεάζουν; Πολύ συχνά ακούμε για προειδοποιήσεις των επιστημόνων προς την ανθρωπότητα ότι ήδη άρχισε η αντίστροφη μέτρηση για τον πλανήτη μας. Μάλιστα τονίζεται ότι η ανθρωπότητα έχει στη διάθεση της πολύ λίγα χρόνια, για να αντιστρέψει τις αρνητικές επιπτώσεις από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Δυστυχώς, τα λόγια και οι φόβοι των επιστημόνων έχουν στέρεες βάσεις. Τον τελευταίο αιώνα κυρίως λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας το κλίμα παρουσιάζει μία σημαντική μεταβολή, δηλαδή παρατηρείται αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Κύριο αίτιο σε αυτό το πρόβλημα είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου στο οποίο συμβάλλει καθοριστικά η υπερβολική χρήση των ορυκτών καυσίμων, προκαλώντας παγκοσμίως διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα. Τα αποτελέσματα της αλλαγής του κλίματος έχουν αρχίσει να φαίνονται και δεν είναι καθόλου ευχάριστα (π.χ. λιώσιμο πάγων, άνοδος στάθμης της θάλασσας και άρα εξαφάνιση νησιών, συχνοί καύσωνες και ξηρασίες). Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί μεγάλη δημοσιότητα σχετικά με την αλλαγή του κλίματος που εμφανίζεται κυρίως με τη μορφή της "Παγκόσμιας Θέρμανσης", της "τρύπας του όζοντος", της ρύπανσης ατμόσφαιρας και υδάτων, της όξινης βροχής και της καταστροφής δασών και οικοσυστημάτων. Το σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα της "τρύπας του όζοντος" αναμένεται να προκαλέσει υψηλά ποσοστά καρκίνου του δέρματος και καταρράκτη στα μάτια.

Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται στον άνθρωπο με πιθανότητα 90% και οι επιπτώσεις τους θα διαρκέσουν σίγουρα αιώνες. Υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ότι αρκετές μεταβολές που συμβαίνουν στο περιβάλλον μας οφείλονται κατά μεγάλο μέρος στην επίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας στο περιβάλλον. Η συγκυριακή εμφάνιση φυσικών φαινομένων, όπως είναι το θερμό υποθαλάσσιο ρεύμα Ελ Νίνιο, ευθύνονται στις πλημμύρες που πλήττουν συχνά τη Βενεζουέλα, τη Μοζαμβίκη και το Βιετνάμ αλλά και στη ξηρασία που κυριαρχεί στις κεντροδυτικές πολιτείες των ΗΠΑ. Οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής είναι εμφανείς παγκοσμίως [*Perry, 2005*]. Αν και οι επιδράσεις της αλλαγής του κλίματος είναι ιδιαίτερα αβέβαιες, περιοχές με μεσογειακό κλίμα αναμένεται θα υποστούν μελλοντικά ξηρασίες που θα προκύψουν από ένα ενισχυμένο λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων, φαινόμενο του θερμοκηπίου [*Houghton et al., 2001, EEA, 2006*]. Από τη δεκαετία του 1970, οι κλιματολογικές τάσεις θέρμανσης και ξήρανσης έχουν μεταβληθεί σε αρκετές εύκρατες περιοχές, συμπεριλαμβανομένων της Νότιας Ευρώπης, Δυτικής Β. Αμερικής, της Δυτικής Αυστραλίας και των ακρωτηρίων της Νότιας Αφρικής [*Smith et al., 2000, Cayan et al., 2001, Dunkeloh and Jacobeit, 2003, Feidas et al., 2004, Maheras et al., 2004, Piccarreta et al., 2004, Korner et al., 2005*]. Τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής αναμένεται να επηρεάσουν ιδιαίτερα την Ελλάδα και την Κρήτη, κυρίως λόγω της εκτεταμένης ακτογραμμής και του αριθμού των νησιών της. Μία αύξηση της στάθμης της θάλασσας θα άλλαζε ολοκληρωτικά τη ζωή των κατοίκων της Ελλάδας.

Οι επιστημονικές μετρήσεις και καταγραφές έχουν πράγματι δώσει ενδείξεις για όλα τα προαναφερόμενα: (i)καταγράφοντας μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά περίπου **0.4-0.8°C**, τα τελευταία 150 χρόνια, (ii) διαπιστώνοντας τη μείωση της περιεκτικότητας του όζοντος στη στρατόσφαιρα και (iii) σημειώνοντας ιατρικά περιστατικά σε περιοχές στις οποίες η μείωση του όζοντος είναι αξιοσημείωτη και όχι παροδική.

Τονίζεται επίσης, ότι στο μέλλον σε πολλές περιοχές του πλανήτη δεν θα μπορεί να υπάρξει ζωή εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Η κλιματική αλλαγή είναι πλέον πραγματικότητα οπότε χρειάζεται και παίρνονται μέτρα περιορισμού της. Μία πρόσφατη έκθεση του IPCC δηλώνει ότι η ανθρώπινη επιρροή στο παγκόσμιο κλίμα είναι ευδιάκριτη "The balance of evidence suggests a discernible human influence in global climate" [*International Panel on Climate Change, 1995*]. Περίπου το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ένα σημαντικό μέρος της θερμικής ρύπανσης είναι ένα αποτέλεσμα της παραγωγής, του μετασχηματισμού και της χρήσης των συμβατικών ορυκτών καυσίμων (άνθρακας και πετρέλαιο). Από την άλλη πλευρά η αποκλειστική εξάρτηση του ενεργειακού συστήματος από τα ορυκτά καύσιμα έχει σαν συνέπεια την εμφάνιση του ενεργειακού προβλήματος.

Η καταπολέμηση της ενεργειακής σπατάλης μπορεί να γίνει μόνο στο πλαίσιο της διαμόρφωσης και υλοποίησης ενός μακροχρόνιου ενεργειακού σχεδιασμού. Η εμμονή σε περιβαλλοντικά μοντέλα ανάπτυξης βρίσκει γόνιμο πεδίο εφαρμογής στην παραγωγή και χρήση της ενέργειας. Και όμως, η Ελλάδα έχει σημαντικά περιθώρια βελτίωσης των ενεργειακών της δεικτών, αρκεί να το θελήσει. Ακριβέστερα, ενώ η ελληνική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι βασισμένη κυρίως στον χαμηλής ποιότητας λιγνίτη, στον εισαγόμενο φυσικό αέριο καθώς επίσης και στο ρυπογόνο πετρέλαιο, που χρησιμοποιούνται κυρίως στους αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος των νησιών [*Kaldellis et al., 2004, 2005a*] ένας πιθανός τρόπος ώστε να μπορέσει αυτή η κατάσταση να αλλάξει είναι να αυξηθεί το ποσοστό συμμετοχής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο καθώς και να ενταθεί η ορθολογική χρήση της ενέργειας και η εξοικονόμηση της. Η εύρεση εναλλακτικών λύσεων είναι λοιπόν επείγουσα ανάγκη καθώς τα ενεργειακά αποθέματα είναι περιορισμένα και τα περιβαλλοντικά φαινόμενα που σχετίζονται άμεσα με την χρήση ενέργειας έχουν πάρει ανησυχητικές διαστάσεις.

Είναι αδιαμφισβήτητο λοιπόν ότι η ανθρώπινη παρέμβαση στο περιβάλλον αυξάνεται συνεχώς αλλά τα μεγέθη των μεταβολών αρκετές φορές υπερεκτιμούνται, σε μια προσπάθεια για πρόωρες επιστημονικές "υποθέσεις". Δεν πρέπει όμως να μας διαφεύγει ότι είμαστε απόλυτοι κυρίαρχοι των αποφάσεων που δύνανται να μετριάσουν τις επιπτώσεις. Η κατανόηση των παγκόσμιων προβλημάτων θα μας οδηγήσει σε μια συστηματική προσέγγιση τόσο στη διαμόρφωση μιας περιβαλλοντικής πολιτικής όσο και στη τοπική αντιμετώπιση σε ότι αφορά τη καταστροφή των διαφόρων οικοσυστημάτων.

1.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΥΟΤΟ

Το Πρωτόκολλο του Κυότο έχει δεσμεύσει τις βιομηχανικές χώρες να μειώσουν τις εκπομπές έξι αερίων (CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs και SF_6) τουλάχιστον κατά 5.2% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 στη διάρκεια της περιόδου 2008-2012. Ποιος είναι ο στόχος του Πρωτοκόλλου του Κυότο και πότε θα υλοποιηθεί;

- Το πρωτόκολλο του Κυότο υιοθετήθηκε στις 11 Δεκεμβρίου του 1997. Το πρωτόκολλο θεωρήθηκε ως κύριο εργαλείο στην συγκράτηση των κλιματολογικών αλλαγών εξαιτίας των δεσμευτικών ενεργειών-στόχων που θέτει για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Με την ισχύ του Πρωτοκόλλου, οι χώρες που συμμετέχουν υποχρεούνται να μειώσουν τις μέσες εκπομπές ρύπων του θερμοκηπίου κατά 5% μεταξύ του 2008-2012.
- Ωστόσο η συνθήκη του Κυότο δεν έχει ακόμα μπει σε ισχύ. Για να συμβεί αυτό, δυο συνθήκες πρέπει να τηρηθούν:
- Όχι λιγότερες από 55 χώρες να επικυρώσουν την συνθήκη. Αυτές οι 55 χώρες το ελάχιστο θα πρέπει να ενσωματωθούν με τις βιομηχανικές χώρες όπως αυτές είναι καταγεγραμμένες και μαζί εκπροσωπούν το λιγότερο το 55% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Η Ελλάδα έχει δεσμευτεί ότι οι εκπομπές της δε θα αυξηθούν περισσότερο από 25% πάνω από τα επίπεδα του 1990. Παρόλο που η χώρα μας δεν περιλαμβάνεται στους μεγάλους 'ρυπαντές', όπως οι ΗΠΑ ή η Ιαπωνία, και δεν είναι τόσο βιομηχανικά ανεπτυγμένη όπως η Γερμανία, οι επιδόσεις συνεχώς χειροτερεύουν. Αν συνεχιστεί ο σημερινός ρυθμός αύξησης των εκπομπών, χωρίς να υιοθετηθούν άλλες πολιτικές, και χωρίς να αλλάξουν οι καταναλωτικές μας συνήθειες, το πιο πιθανό είναι ότι η χώρα μας δε θα εκπληρώσει τις διεθνείς υποχρεώσεις της στο πλαίσιο του Πρωτόκολλου του Κυότο. Έχει παρατηρηθεί ότι οι εκπομπές CO_2 αυξάνονται συνεχώς, ενώ ήδη από το 2005 έχουμε ξεπεράσει το όριο του Πρωτοκόλλου του Κυότο. Εξάλλου, κατέχει μια από τις χειρότερες θέσεις παγκοσμίως αναφορικά με τις εκπομπές CO_2 ανά παραγόμενη kWh ηλεκτρισμού. Γι' αυτούς τους λόγους, η θέση της Ελλάδας στο κοντέρ της κλιματικής αλλαγής είναι χειρότερη από κάθε άλλη ευρωπαϊκή χώρα που αξιολογήθηκε [*http://www.bioenergia.gr/biodiesel-text.htm*].

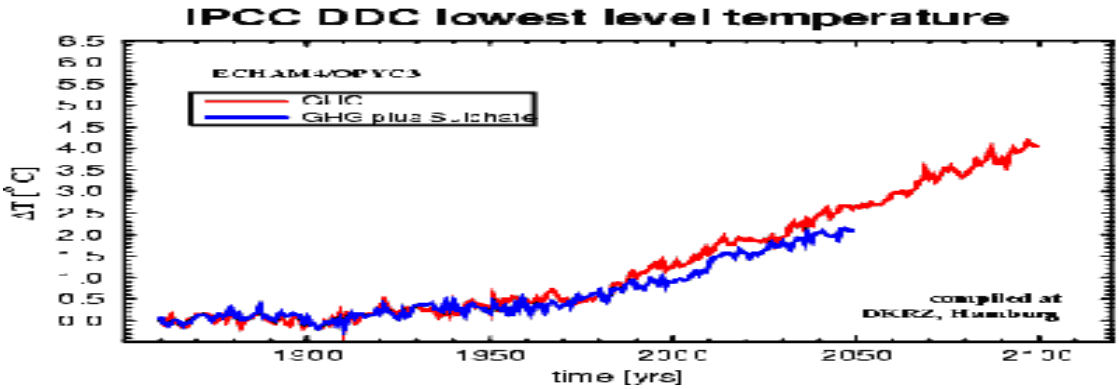
1.3 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Η ατμόσφαιρα της Γης έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων από τον 18ο αιώνα, όταν ανακαλύφθηκαν τα κύρια συστατικά που την αποτελούν: άζωτο, οξυγόνο, νερό, διοξείδιο του άνθρακα και ευγενή αέρια. Στο τέλος του 19ου και αρχές του 20^{ου} αιώνα, η προσοχή των επιστημόνων στράφηκε στις ενώσεις οι οποίες βρίσκονται σε ιχνοποσότητες (trace gases), σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 1 μέρος στο εκατομμύριο κατά όγκο (ppmv, part per million per volume, ισούται με 1μmol ανά mol). Σήμερα πλέον γνωρίζουμε ότι η ατμόσφαιρα αποτελείται από αναρίθμητες τέτοιες ενώσεις, οι οποίες βρίσκονται σε συγκεντρώσεις της τάξης του ενός δισεκατομμυριοστού κατά όγκο (ppbv, part per billion per volume) ή ενός τρισεκατομμυριοστού κατά όγκο (pptv, part per trillion per volume) ή και ακόμα μικρότερες [*Seinfeld and Pandis*, 1998]. Η σημασία αρκετών από αυτές τις ενώσεις (που βρίσκονται είτε σε αέρια είτε σε σωματιδιακή μορφή) είναι ιδιαίτερα μεγάλη για την ατμοσφαιρική χημεία και το κλίμα.

Το ενδιαφέρον των τελευταίων ετών έχει επικεντρωθεί:

- Στα θέματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω αυξημένων τιμών όζοντος και αιωρούμενων σωματιδίων
- Στις κλιματικές αλλαγές λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου (από αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και ενώσεων χημικά δραστικών όπως το όζον και το μεθάνιο) και λόγω αντανάκλασης ή απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος από τα αιωρούμενα σωματίδια και τα σύννεφα.

Σχεδόν όλοι οι επιστήμονες-μετεωρολόγοι συμφωνούν ότι οι εκπομπές του θερμοκηπίου που οφείλονται σε ανθρώπινο παράγοντα αλλάζουν το κλίμα της γης και οι συνέπειες είναι σοβαρές: αύξηση βροχών και χιονοπτώσεων, σε κάποιες περιοχές και επικίνδυνη μείωση σε άλλες, μείωση απορρόφησης άνθρακα από ωκεανούς και τα από δάση, σταδιακό λιώσιμο πάγων, λειψυδρία, αύξηση της στάθμης των θαλασσών από 20- 40 cm, αύξηση της θερμότητας των θαλασσών, αύξηση του πλήθους των εντόμων, εξαφάνιση πολλών θαλάσσιων ειδών, πλημμύρες, φονικοί τυφώνες. κ.τ.λ. Με την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης ο άνθρωπος άρχισε να προσθέτει στο περιβάλλον ουσίες οι οποίες είτε υπήρχαν σε μικρότερο βαθμό είτε δεν υπήρχαν καθόλου. Η συνέργια του ανθρώπου σε ότι αφορά την καταστροφή του περιβάλλοντος, μέχρι την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης, ήταν ελάχιστη. Οι δασικές πυρκαγιές, οι πλημμύρες, οι σεισμοί και οι ηφαιστειακές εκρήξεις ήταν και εξακολουθούν να είναι οι κύριοι φυσικοί μηχανισμοί στη διαμόρφωση του περιβάλλοντος. Μία από τις ουσίες που ο άνθρωπος επιτάχυνε την παραγωγή και τη διοχέτευση της στον ατμοσφαιρικό κύκλο είναι το διοξείδιο του άνθρακα (**CO_2**), το οποίο έχει και τη μεγαλύτερη προσθετική επίδραση στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη από όλα τα άλλα αέρια που ονομάζονται του θερμοκηπίου (μεθάνιο, οξείδια του αζώτου, υδρατμών κλπ). Οι μετρήσεις που αφορούν την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO_2 επιδεικνύουν μια θεαματική αύξηση, όπως φαίνεται από τα στοιχεία του παλαιότερου σταθμού καταγραφής της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε CO_2 που ευρίσκεται στη Χαβάη. Για τη μελέτη σχετικά με την κλιματική αλλαγή δημιουργήθηκε από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 το διακρατικό όργανο μελέτης της αλλαγής του κλίματος [*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*]. Το IPCC συντονίζεται από δύο αυτόνομους διακρατικούς Οργανισμούς του ΟΗΕ (τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό και τον Οργανισμό Περιβαλλοντικού Προγράμματος) και συνεργάζεται με τα πλέον αξιόλογα ερευνητικά κέντρα για να επιτελέσει το έργο του. Η μεθοδολογία που ακολουθείται βασίζεται στην υιοθέτηση διαφόρων σεναρίων για τα μεγέθη αλλά και το είδος των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στη χρήση κλιματολογικών μοντέλων για τη μελέτη της μεταβολής της θερμοκρασίας και του ύψους της θάλασσας τις επόμενες δεκαετίες ακολουθώντας το κάθε σενάριο (ενδεικτικό γράφημα από τα αποτελέσματα των κλιματολογικών μοντέλων του ερευνητικού κέντρου MAX PLANCK για την αύξηση της θερμοκρασίας (σχήμα 1.1).

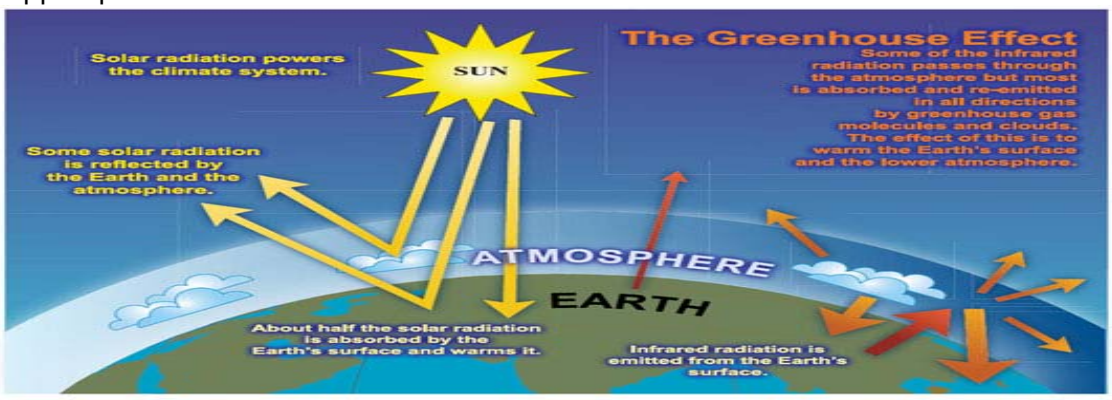


Σχήμα 1.1: Οι υπολογισμοί κλιματολογικών μοντέλων παίρνοντας υπόψη μόνο τα θερμοκηπικά αέρια και τα θερμοκηπικά αέρια με τα σωματίδια προβλέπουν μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη και την άνοδο της στάθμης των θαλάσσιων υδάτων από το 1850 μέχρι το 2100 με το πλέον ευνοϊκό σενάριο, Πηγή (IPCC,2007)

Όλα τα σενάρια, τα πλέον αισιόδοξα αλλά και τα πλέον απαισιόδοξα, προβλέπουν μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη και κατά συνέπεια άνοδο της στάθμης των θαλασσίων υδάτων. Η προσθετική επίδραση του ανθρώπου στο ρυθμό της φυσικής διεργασίας που ονομάζεται "φαινόμενο του θερμοκηπίου", σύμφωνα με το οποίο συστατικά της ατμόσφαιρας απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη γη και την διαβιβάζουν πίσω στη γη, είναι αδιαμφισβήτητη. Το ότι η αύξηση του ρυθμού μιας φυσικής διεργασίας επηρεάζει το κλίμα είναι και αυτό αδιαμφισβήτητο.

1.3.1 Τι είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Πηγή ενέργειας για τη Γη και το κλίμα της είναι ο Ήλιος, ο οποίος παρέχει ακτινοβολία στην ορατή και υπεριώδη περιοχή του φάσματος. Περίπου το ένα τρίτο της ακτινοβολίας που φτάνει στην άκρη της ατμόσφαιρας ανακλάται κατευθείαν πίσω στο διάστημα. Τα υπόλοιπα δύο τρίτα απορροφώνται, κυρίως από τη Γη αλλά και από την ατμόσφαιρα. Προκειμένου να εξισορροπηθεί το ποσό της ενέργειας που απορροφάται, η Γη πρέπει να εκπέμπει το ίδιο ποσό ενέργειας στο διάστημα. Η Γη, λόγω του ότι είναι πολύ πιο ψυχρή από τον ήλιο, ακτινοβολεί σε πολύ μεγαλύτερα μήκη κύματος, κυρίως στο υπέρυθρο μέρος του φάσματος. Ένα μεγάλο μέρος αυτής της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το έδαφος και τον ωκεανό απορροφάται από την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα και ακτινοβολείται πίσω στη γη. Αυτό καλείται φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αν δεν υπήρχε το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η ζωή στη Γη, τουλάχιστον με τη σημερινή της μορφή, δεν θα υπήρχε. Το πρόβλημα είναι ότι οι δραστηριότητες του ανθρώπου, κυρίως η καύση ορυκτών καυσίμων και η καταστροφή των δασών, εντείνουν κατά πολύ το φαινόμενο του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του πλανήτη. Στο σχήμα 1.2 απεικονίζεται μια ιδεώδης απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου.



Σχήμα 1.2: Απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου,Πηγή: http://climatechange.edu.gr/wp-content/uploads/2009/04/09-greenhousegases-300x232.jpg

1.3.2 Εξήγηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και παγκόσμια θέρμανση

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου βασίζεται στην ακόλουθη αρχή: Σε ένα τεχνικό θερμοκήπιο, το γυαλί είναι "αθέατο" για την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία η οποία το διαπερνά χωρίς απώλειες. Η ακτινοβολία στη συνέχεια απορροφάται από τα φυτά που βρίσκονται μέσα στο θερμοκήπιο, τα μόρια τους αρχίζουν να κινούνται και η κίνηση αυτή προκαλεί συγκρούσεις μεταξύ των μορίων και παράγει θερμότητα. Η θερμότητα αυτή ακτινοβολείται στην υπέρυθρη περιοχή (Infrared) του φάσματος. Το γυαλί όμως δεν είναι "αθέατο" για την εξερχόμενη υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα φυτά με αποτέλεσμα η ακτινοβολία αυτή παγιδεύεται μέσα στο θερμοκήπιο και θερμαίνει τα φυτά επιτρέποντας την ανάπτυξη τους ακόμη και κατά την διάρκεια του χειμώνα. Στην ατμόσφαιρα συμβαίνει κάτι ανάλογο.

Τα δυο αέρια που αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό της ατμόσφαιρας, το άζωτο (78%) και το οξυγόνο (21%), έχουν μηδαμινή συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το τελευταίο προκαλείται κυρίως από πιο πολύπλοκα μόρια, τα οποία βρίσκονται σε πολύ μικρότερο ποσοστό στην ατμόσφαιρα και παρουσιάζουν διπολική ροπή. Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γη προς το διάστημα δεν επηρεάζεται από τα δύο αυτά αέρια. Ορισμένα όμως από τα δευτερεύοντα αέρια της ατμόσφαιρας αλλάζουν αυτήν την κατάσταση καθότι έχουν μια κοινή ιδιότητα: επιτρέπουν στις ακτίνες του ήλιου να διαπερνούν την ατμόσφαιρα μέχρι την επιφάνεια της γης, αλλά απορροφούν και επανεκπέμπουν προς τη γη, ένα μέρος από την υπέρυθρη ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης. Το φυσικό αυτό φαινόμενο το οποίο η επιστήμη έχει παρατηρήσει και ερμηνεύσει πριν από πολλές δεκαετίες ονομάζεται φαινόμενο του θερμοκηπίου (Greenhouse effect).

Τα αέρια των οποίων ο ρόλος μοιάζει με αυτόν της γυάλινης στέγης του τεχνικού θερμοκηπίου ονομάζονται **αέρια του θερμοκηπίου** (greenhouse gases) και είναι αναπόσπαστα συστατικά της ατμόσφαιρας για εκατομμύρια χρόνια. Η αύξηση όμως αυτή της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα οδηγεί στον εγκλωβισμό υπερβολικής ποσότητας θερμότητας με συνέπεια την αύξηση του πάχους της 'κουβέρτας του θερμοκηπίου'. Αυτό προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης, η οποία με τη σειρά της οδηγεί στην αλλαγή του κλίματος. Τα τελευταία χρόνια, ο όρος συνδέεται με την **παγκόσμια θέρμανση** (*global warming*), ενώ θεωρείται πως το φαινόμενο έχει ενισχυθεί σημαντικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Παρατηρείται σε όλους τους πλανήτες που διαθέτουν ατμόσφαιρα αλλά για λόγους απλότητας θα αναφερόμαστε αποκλειστικά στην περίπτωση της **Γης**. Αποτέλεσμα του συνολικού φαινομένου είναι η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας, γεγονός που καθιστά τη Γη κατοικήσιμη. Χωρίς το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η **θερμοκρασία** της γήινης επιφάνειας θα ήταν σε παγκόσμια και ετήσια βάση περίπου -18°C**.**

1.3.3 Παράγοντες που συμβάλουν στην ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου

Οι υδρατμοί είναι το σημαντικότερο αέριο θερμοκηπίου και το διοξείδιο του άνθρακα το δεύτερο πιο σημαντικό, ενώ συμβάλλουν κι άλλα αέρια, όπως το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου και το τροποσφαιρικό όζον, τα οποία υπάρχουν σε μικρότερα ποσοστά. Απορροφούν την μεγάλου μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία και επανεκπέμπουν θερμική ακτινοβολία θερμαίνοντας την επιφάνεια. Ορισμένα αέρια, όπως το όζον, έχουν ημιδιαφάνεια και στην ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να απορροφούν ένα μέρος της, συμβάλλοντας σε ένα βαθμό και στην ψύξη της γήινης επιφάνειας.

Η ένταση της επίδρασης για προσθήκη μιας συγκεκριμένης ποσότητας συγκεκριμένου θερμοκηπιακού αερίου εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος και το ύψος. Προσθήκη κοντά στον ισημερινό, όπου στην ατμόσφαιρα υπάρχουν διαρκώς αυξημένα ποσοστά υγρασίας, θα έχει μικρότερο αντίκτυπο από αντίστοιχη κοντά στους πόλους, καθότι στη δεύτερη περίπτωση το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι πιο ασθενές. Επίσης, προσθήκη στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, που είναι πιο ψυχρά και ξηρά, θα έχει πιο ισχυρό αντίκτυπο από ό,τι κοντά στην επιφάνεια.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι ο ρυθμός απομάκρυνσης των αερίων θερμοκηπίου από την ατμόσφαιρα

(πχ απομάκρυνση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα από τα φυτά, μέσω της φωτοσύνθεσης). Αυτός είναι και ο λόγος που η καταστροφή των δασών επηρεάζει την εκδήλωση του ενισχυμένου φαινομένου του θερμοκηπίου σε μεγάλο βαθμό.

Επίσης, διάφοροι μηχανισμοί της ατμόσφαιρας μπορεί να επηρεάσουν το πόσο εκδηλώνεται η αλλαγή του φαινομένου του θερμοκηπίου. Για παράδειγμα, όταν διοχετεύεται ένα αέριο θερμοκηπίου, π.χ. διοξείδιο του άνθρακα, στην ατμόσφαιρα, έχουμε σαν αποτέλεσμα άνοδο της θερμοκρασίας η οποία προκαλεί άνοδο της σχετικής υγρασίας λόγω εξάτμισης των επιφανειακών νερών. Οι υδρατμοί με τη σειρά τους είναι θερμοκηπιακό αέριο, οπότε προκαλούν περαιτέρω αύξηση στη θερμοκρασία, κ.ο.κ. Έτσι δημιουργείται ένας φαύλος κύκλος που μπορεί ακόμα και να διπλασιάσει την παρατηρούμενη αλλαγή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε σχέση με την πρωτογενή αλλαγή που θα παρατηρούσαμε λόγω της προσθήκης του CO_2. Οι μηχανισμοί αυτοί ονομάζονται μηχανισμοί ανατροφοδότησης. Οι σημαντικότεροι μηχανισμοί ανατροφοδότησης είναι αυτοί που σχετίζονται με τα σύννεφα και μπορούν τόσο να αυξήσουν όσο και να ελαττώσουν τη θερμοκρασία της Γης.

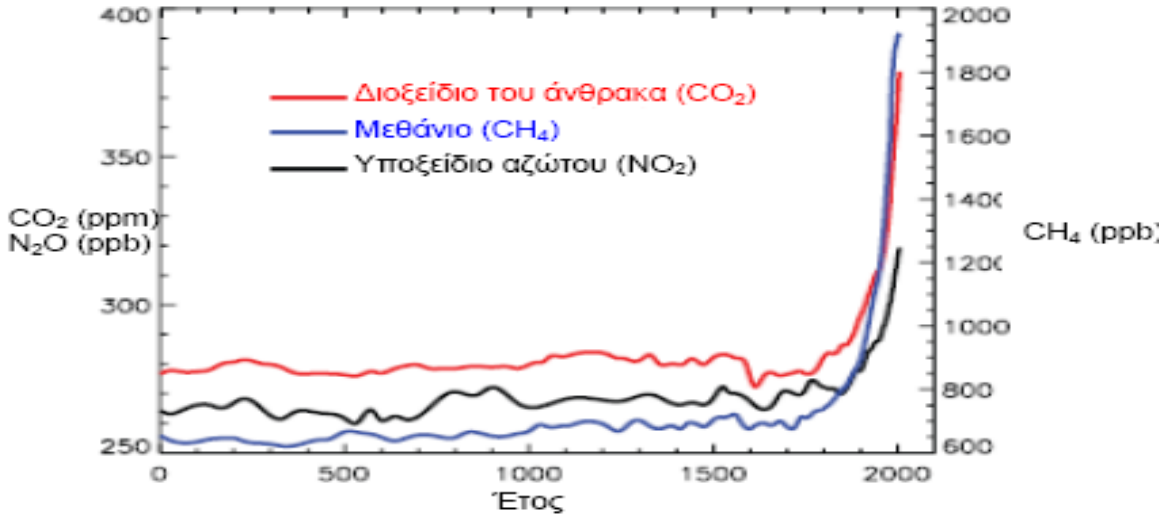
1.3.4 Αέρια του Θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι φυσικό, ωστόσο ενισχύεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία συμβάλλει στην αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου (σχήμα 1.3) καθώς και στην έκλυση άλλων ιχνοστοιχείων, όπως οι **χλωροφθοράνθρακες** (CFC's). Οι ατμοσφαιρικές αυτές συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων, και οι αυξήσεις τους καθορίζονται από την ισορροπία μεταξύ φυσικών και ανθρωπογενών πηγών και των μηχανισμών απομάκρυνσης του αερίου από την ατμόσφαιρα μέσω της μετατροπής του σε άλλη χημική ένωση. Κατά τη βιομηχανική εποχή, έχουν παρατηρηθεί σημαντικές αλλαγές στις συγκεντρώσεις όλων αυτών των αερίων, οι οποίες αποδίδονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες.

- το διοξείδιο του άνθρακα έχει αυξηθεί λόγω της χρήσης ορυκτών καυσίμων στις μεταφορές, τον κλιματισμό των κτηρίων και την βιομηχανική παρασκευή τσιμέντου και άλλων αγαθών. Η καταστροφή των δασών ελαττώνει την απομάκρυνση του CO_2 από την ατμόσφαιρα μέσω της φωτοσύνθεσης. Διοξείδιο του άνθρακα παράγεται επίσης κατά την αποικοδόμηση της βιομάζας.
- Το μεθάνιο έχει αυξηθεί λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που έχουν σχέση με τη γεωργία, τα δίκτυα φυσικού αερίου και την αποκομιδή των απορριμμάτων σε χώρους ταφής. Μεθάνιο εκπέμπεται ωστόσο και από φυσικές διεργασίες (π.χ. από βιολογικές διαδικασίες στους υγρότοπους). Η συγκέντρωση του μεθανίου στην ατμόσφαιρα έχει σταματήσει να αυξάνεται κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες μερικά λόγω περιορισμού των εκπομπών του από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.
- Υποξείδιο του αζώτου εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα από ανθρωπογενείς πηγές, κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων και τη χρήση λιπασμάτων. Παράγεται επίσης και από φυσικές διαδικασίες, τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στους ωκεανούς.
- Οι συγκεντρώσεις των αλογονωμένων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί λόγω της εκπομπής τους από ανθρωπογενείς πηγές. Οι συνηθέστεροι από αυτούς είναι οι χλωροφθοράνθρακες (π.χ. CFC-11 και CFC-12), οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν ευρέως κατά τις προηγούμενες δεκαετίες ως ψυκτικά αέρια καθώς και σε άλλες βιομηχανικές εφαρμογές, ώσπου ανακαλύφθηκε η καταστρεπτική τους επίδραση στο στρατοσφαιρικό όζον, με αποτέλεσμα την τρύπα του όζοντος, κυρίως πάνω από την Ανταρκτική. Η ποσότητα των αερίων χλωροφθορανθράκων στην ατμόσφαιρα άρχισε να ελαττώνεται μετά την εφαρμογή διεθνών κανονισμών που θεσπίστηκαν με στόχο την προστασία του στρατοσφαιρικού όζοντος.
- Το όζον είναι κι αυτό αέριο θερμοκηπίου, το οποίο διαρκώς παράγεται και διασπάται στην ατμόσφαιρα σε μια σειρά χημικών αντιδράσεων. Στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, η ποσότητα του ανεπιθύμητου τροποσφαιρικού όζοντος έχει αυξηθεί έμμεσα λόγω της εκπομπής, από ανθρωπογενείς πηγές, αερίων όπως είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδιο του αζώτου και

υδρογονάνθρακες. Τα αέρια αυτά προκαλούν αντιδράσεις οι οποίες οδηγούν στο σχηματισμό όζοντος.

- Οι υδρατμοί αποτελούν το πιο άφθονο και σημαντικό αέριο θερμοκηπίου στη γήινη ατμόσφαιρα. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν μικρή άμεση επίδραση στην ποσότητα υδρατμών της ατμόσφαιρας. Ωστόσο, ο ανθρώπινος παράγοντας μπορεί να έχει σημαντική έμμεση επίδραση στην ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα, λόγω των κλιματικών αλλαγών που προκαλεί. Όσο θερμότερη είναι η ατμόσφαιρα, για παράδειγμα, τόσο πιο πολλούς υδρατμούς περιέχει. Επίσης, οι εκπομπές μεθανίου από τις ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν κατά ένα μικρό ποσοστό την ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα, καθώς το μεθάνιο υφίσταται χημική διάσπαση, παράγοντας μια σχετικά μικρή ποσότητα νερού που είναι σχετικά σημαντική στη στρατόσφαιρα, όπου δεν υπάρχουν πολλοί υδρατμοί.



Σχήμα 1.3 : Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των κυριότερων αερίων θερμοκηπίου από το έτος 0 έως το έτος 2005. Οι αυξήσεις από το 1750 αποδίδονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες κατά τη βιομηχανική εποχή. Οι συγκεντρώσεις CO_2 και N_2O είναι σε μέρη στο εκατομμύριο (ppm) και του CH_4 σε μέρη στο δισεκατομμύριο (ppb), Πηγή: http://www.rewebis.gr/material/3.pdf

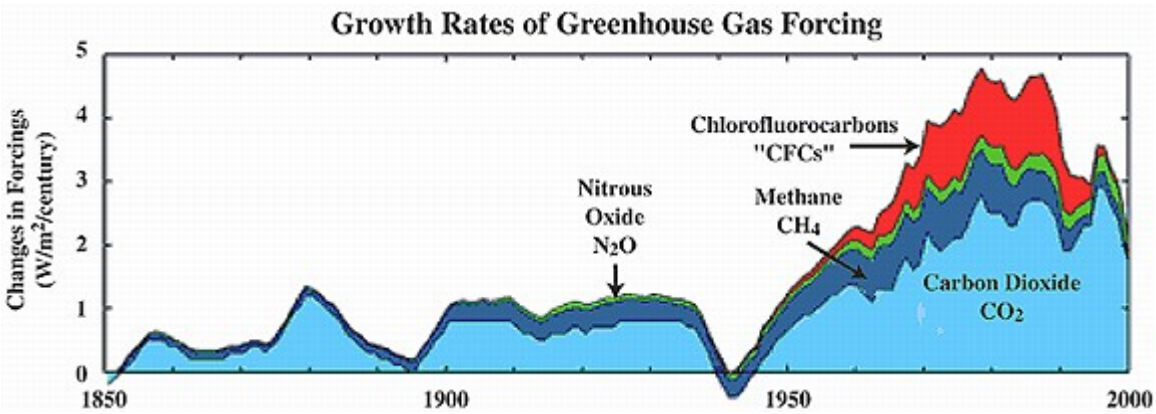
Δεδομένα από το World Resources Institute (WRI) δείχνουν ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν προσθέσει στην ατμόσφαιρα 2.3 τρισεκατομμύρια τόνους CO_2 τα τελευταία 200 χρόνια. Η μεγαλύτερη απόλυτη αύξηση στις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάστηκε το 2004, όταν μόνο από την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων προστέθηκαν στην ατμόσφαιρα πάνω από 28 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα [*Marland et al, and BP*]. Συνολικά, η συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 31% από το 1750 (Πίνακας 1.1) [*IPCC*], δηλαδή από τη Βιομηχανική Επανάσταση. Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα είναι πλέον περίπου 12 φορές υψηλότερες σε σχέση με το 1900, καθώς οι ανθρώπινες κοινωνίες ανά την υφήλιο καίνε αυξημένες ποσότητες γαιάνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου για την παραγωγή ενέργειας. Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι κύριες πηγές CO_2 είναι η ενέργεια και οι μεταφορές. Σήμερα, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι η υψηλότερη που έχει παρατηρηθεί τα τελευταία 420.000 χρόνια. Το καλύτερο σενάριο ως προς την αύξηση των εκπομπών CO_2 προβλέπει διπλάσιες συγκεντρώσεις αυτού του αερίου στην ατμόσφαιρα το 2100 σε σχέση με τις συγκεντρώσεις που παρατηρούνταν πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση. Σύμφωνα με το χειρότερο σενάριο, αυτός ο διπλασιασμός αναμένεται νωρίτερα, περίπου το 2045. Η τρίτη αναφορά αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την αλλαγή του κλίματος [*IPCC*] προβλέπει αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας μεταξύ 1.4°C και 5.8°C, έως το τέλος του αιώνα.

Αέρια θερμοκηπίου με τη μεγαλύτερη αύξηση συγκέντρωσης (Πηγή: **IPCC**)

Αέριο	**Επίπεδα 1998**	**Αύξηση από το 1750**	**Ποσοστό αύξησης**	**Συνεισφορά στο φαινόμενο [W/m^2]**
Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)	365 ppm	87 ppm	31%	1,46
Μεθάνιο (CH_4)	1,745 ppb	1,045 ppb	150%	0,48
Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O)	314 ppb	44 ppb	16%	0,15

Πίνακας 1.1: Αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου από το 1750 μέχρι το 1998. Συνολικά, η συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 31% από το 1750. (Πηγή:IPCC).

Μια από τις μελέτες της NASA [*Hansen and Sato, ίδρυμα Goddard NASA, 2000*], εμφανίζει ότι το ποσοστό αύξησης των εκπομπών των αερίου του θερμοκηπίου, επιβραδύνεται από την αιχμή του το 1980 (σχήμα 1.4), που οφείλεται εν μέρει στη διεθνή συνεργασία που οδήγησε στη μειωμένη χρήση του χλωροφλωράνθρακα, την πιο αργή αύξηση του μεθανίου, και ένα σταθερό ποσοστό εκπομπών διοξειδίου άνθρακα. Οι ερευνητές έχουν εμφανίσει ότι η γήινη θέρμανση στις πρόσφατες δεκαετίες έχει προκληθεί πιθανώς από το διοξείδιο άνθρακα (CO_2), και άλλα αέρια του θερμοκηπίου συμπεριλαμβανομένων των χλωροφλωροανθράκων (CFCs), του μεθανίου, του τροποσφαιρικού όζοντος και της αιθάλης. Συνολικά, η αύξηση των εκπομπών έχει επιβραδυνθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών, με τη σταδιακή κατάργηση του CFC που είναι ο σημαντικότερος παράγοντας, σύμφωνα με τη μελέτη. Η μείωση οφείλεται κατά μεγάλο μέρος στις συντονισμένες διεθνείς ενέργειες του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ για τη σταδιακή κατάργηση των αερίων που καταστρέφουν το όζον αλλά και στην πιο αργή αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου [*Hansen and Sato, ίδρυμα Goddard NASA, 2000*]. Αν και **το μεθάνιο** είναι πολύ λιγότερο άφθονο από το διοξείδιο του άνθρακα στη γήινη ατμόσφαιρα, η συνολική επίδραση του μεθανίου στην παγκόσμια θέρμανση είναι ουσιαστική - περίπου το ήμισυ από ό,τι συνεισφέρει το CO_2. Και όταν το μεθάνιο αυξάνεται προκαλεί επίσης μια άνοδο στα τροποσφαιρικά επίπεδα του όζοντος. Το τροποσφαιρικό όζον είναι ένα κύριο συστατικό "στην αιθαλομίχλη," που είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία και μειώνει τη παραγωγικότητα στη γεωργία. Ένας άλλος παράγοντας της θέρμανσης είναι η αιθάλη. Η αιθάλη είναι ένα προϊόν της ελλιπούς καύσης. Τα φορτηγά με κινητήρα ντήζελ και τα λεωφορεία είναι αρχικές πηγές της αερομεταφερόμενης αιθάλης στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ακόμα μεγαλύτερα ποσά της αιθάλης εμφανίζονται και στις υπό ανάπτυξη χώρες.



Σχήμα 1.4: Ενώ η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα αυξάνεται ακόμα, ο ρυθμός της αύξησης επιβραδύνεται από τη δεκαετία του '80 (NASA, Hansen, 2000)(http://www.physics4u.gr/news/2002/scnews441.html).

Η μελέτη επίσης προτείνει ότι η μείωση των εκπομπών μεθανίου και αιθάλης θα μπορούσε να παράγει μια σημαντική βραχυπρόθεσμη ιστορική επιτυχία στη μάχη ενάντια στη παγκόσμια θέρμανση, δίνοντας κατά συνέπεια χρόνο να αναπτυχθούν νέες τεχνολογίες για να μειώσουν τις μελλοντικές εκπομπές του διοξειδίου άνθρακα. Η θέρμανση του κλίματος που προβάλλεται από τη μελέτη του Ιδρύματος Goddard είναι περίπου η μισή αυτής που αναφέρονται στην έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής σχετικά με την αλλαγή Κλίματος [*IPCC*]. Η θέρμανση υπολογιζόμενη από το μοντέλο του GISS είναι παρόμοια με την χαμηλότερη, των αποτελεσμάτων του IPCC, παρά το γεγονός ότι το μοντέλο GISS έχει μια σχετικά υψηλή ευαισθησία σε διαταραχές. Η επιβραδυνόμενη αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου που αποκαλύπτονται από αυτήν την μελέτη, παρέχει μερικά ενθαρρυντικά στοιχεία ότι τα σκληρά περιβαλλοντικά μέτρα έχουν πράγματι μια θετική επίδραση στην αλλαγή του κλίματος. Η μελέτη χρησιμεύει επίσης για να μας υπενθυμίσει ότι τα αέρια του θερμοκηπίου ανεβαίνουν ακόμα. Και θα απαιτηθούν συνεχείς προσπάθειες ώστε να συγκρατηθούν οι εκπομπές, εάν ελπίζουμε να φέρουμε την αλλαγή του κλίματος κάτω από έλεγχο. [*Hansen, Nasa, 1997*]. Η Ελλάδα ακολουθεί, σύμφωνα με τις επιταγές του πρωτοκόλλου του Κυότο, ένα εθνικό πρόγραμμα μείωσης εκπομπών αερίων φαινομένου θερμοκηπίου για το διάστημα 2000 - 2010, αλλά έχει μείνει πολύ πίσω από τους στόχους της. Στον τομέα των μεταφορών τα σκήπτρα κρατάνε η προώθηση της χρήσης των αστικών μεταφορών και των βιοκαυσίμων.

1.4 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Ατμοσφαιρική ρύπανση καλείται, η παρουσία στην ατμόσφαιρα κάθε είδους ουσιών, σε συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να φτάσει σε επίπεδα που μπορεί να δημιουργήσουν ανεπιθύμητες συνθήκες διαβίωσης. Σε αυτήν την περίπτωση έχει επικρατήσει να λέγεται ότι έχουμε «Νέφος». Η συχνότητα του νέφους εξαρτάται από το τοπικό κλίμα και την τοπογραφία, τον πληθυσμό, την βιομηχανική ανάπτυξη, την χρήση καυσίμων και την θερμότητα. Το «Νέφος» παρουσιάζεται με δύο μορφές:

Νέφος καπνομίχλης, σχηματίζεται όταν έχουμε υψηλή συγκέντρωση ρύπων, όπως μονοξειδίου του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη σχετική υγρασία.

Φωτοχημικό νέφος, παρουσιάζεται όταν έχουμε υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη ηλιοφάνεια σε ένταση και διάρκεια, μικρή σχετική υγρασία και υψηλή συγκέντρωση οξειδίων του αζώτου, υδρογονανθράκων, και δευτερογενών προϊόντων τους. Το φωτοχημικό νέφος είναι συνηθισμένο φαινόμενο σε πόλεις, όπου κυριαρχεί θερμό και ξηρό κλίμα, καθώς και μεγάλος αριθμός αυτοκινήτων. Όσο πιο ζεστή είναι μια μέρα, τόσο υψηλότερα είναι τα επίπεδα του όζοντος και άλλων συστατικών στο φωτοχημικό νέφος.

Για να αντιμετωπίσουμε όμως αποτελεσματικά το πρόβλημα του νέφους πρέπει να γνωρίζουμε, πως δημιουργείται, από τι αποτελείται, τι επιδράσεις δημιουργεί στο περιβάλλον, και τι μπορούν να κάνουν πολιτεία και κοινωνία για την καταπολέμησή του.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί τοπικό, αλλά και διασυνοριακό πρόβλημα, που προκαλείται από την εκπομπή ορισμένων ρύπων, οι οποίοι, είτε μόνοι τους, είτε μέσω χημικής αντίδρασης, έχουν ως επακόλουθο αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία. Όσον αφορά την υγεία, το τροποσφαιρικό όζον και τα σωματίδια («λεπτή σκόνη») είναι οι πλέον ανησυχητικοί ρύποι. Η έκθεση στους εν λόγω ρύπους μπορεί να οδηγήσει σε επιπτώσεις που κυμαίνονται από ελαφρές προσβολές του αναπνευστικού συστήματος έως πρόωρο θάνατο. Το όζον δεν εκπέμπεται άμεσα, αλλά σχηματίζεται μέσω της αντίδρασης πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και οξειδίων του αζώτου (NOx), παρουσία ηλιακού φωτός. Τα σωματίδια είναι δυνατόν να εκπέμπονται άμεσα στον αέρα (τα λεγόμενα «πρωτογενή σωματίδια») ή να σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα ως «δευτερογενή σωματίδια» από αέρια όπως το διοξείδιο του θείου (SO_2), τα οξείδια του αζώτου (NOx) και η αμμωνία (NH_3).

Στα μεγαλύτερα αστικά κέντρα της Ευρώπης, υπάρχουν περίοδοι κατά τις οποίες η ατμοσφαιρική ρύπανση αγγίζει επίπεδα ικανά να προκαλέσουν δυσφορία και άλλα σοβαρά προβλήματα υγείας. Στις μεγάλες πόλεις, ένα υψηλό ποσοστό του πληθυσμού εκτίθεται κατά καιρούς σε συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων οι οποίες αυξάνουν τον κίνδυνο προβλημάτων υγείας, όπως για παράδειγμα αναπνευστικές μολύνσεις, ασθένειες των πνευμόνων, καρκίνος κλπ. Τα κυριότερα στοιχεία που συνιστούν την ατμοσφαιρική ρύπανση σε αστικές περιοχές είναι τα αιωρούμενα σωματίδια (PM10 και PM2.5), τα οξείδια του αζώτου (NOx), το διοξείδιο του θείου (SO_2), το όζον (O_3), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι κυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), το βενζόλιο (C_6H_6) και άλλες αρωματικές ενώσεις.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί τις τελευταίες δεκαετίες έχει γίνει άμεσα αντιληπτό ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες και κυρίως αυτές που συνδέονται με τη χρήση ενέργειας έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτές οι δραστηριότητες είναι και η αιτία των κλιματικών αλλαγών που όσο περνάει ο καιρός γίνονται όλο και πιο αισθητές. Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές. Με τον όρο φυσικές πηγές αναφερόμαστε στις πηγές εκπομπών αερίων ρύπων που δεν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρ' όλα αυτά οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίσθηκαν, όπως προαναφέρθηκε. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς εκπομπές οι οποίες συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες). Αντίθετα, η καλή διασπορά των φυσικών πηγών ανά την υφήλιο προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης ανάμιξης των ρύπων με τον καθαρό αέρα. Κατά συνέπεια, με κάποιες μικρές εξαιρέσεις, οι εκπομπές αερίων ρύπων από φυσικές πηγές από μόνες τους δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Από την εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης άρχισε να αναπτύσσεται το φαινόμενο της ρύπανσης του αέρα που οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Στις αναπτυγμένες χώρες οι περισσότεροι ρυπαντές προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων στα εργοστάσια και στα οχήματα. Σε πόλεις με μεγάλη κυκλοφοριακή κίνηση, όπως στο Λος Άντζελες, τα οχήματα φέρουν την ευθύνη για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές που μπορούμε να αναφέρουμε είναι:

- Βιομηχανικές πηγές (καύσεις, επεξεργασία).
- Παραγωγή και μεταφορά ενέργειας.
- Μεταφορές.
- Θέρμανση
- Διάθεση απορριμμάτων.

Στο σχήμα 1.5 εμφανίζεται η κατανομή των ανθρωπογενών εκπομπών των πρωτογενών άμεσα εκπεμπόμενων ρύπων ανά κατηγορία πηγής. Όπως είναι φανερό από το σχήμα αυτό, οι μεταφορές και οι βιομηχανικές δραστηριότητες (συμπεριλαμβανομένης και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) είναι συνυπεύθυνες για ποσοστό μεγαλύτερο του 90% των εκπομπών πρωτογενών ρύπων.

Σχήμα 1.5. Κατανομή των ανθρωπογενών πηγών και των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από αυτές στην ατμόσφαιρα, Πηγή: (*lap.phys.auth.gr/pms/upload/WEB_POLLUTION.DOC*).

Συνεπώς, η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί στις μέρες μας σημαντικό πρόβλημα όχι μόνο της χώρας μας [*Samara et al., 2003*] αλλά ένα παγκόσμιο πρόβλημα και για την μείωση των εκπομπών πρωτογενών ρύπων έχουν υπογραφεί διάφορες διεθνείς συνθήκες (π.χ. Γενεύη, 1979, Βιέννη 1985, Νέα Υόρκη 1992 κτλ.). Τόσο η παραγωγή ενέργειας, όσο και οι μεταφορές ευνοούν την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η ανάγκη όμως για καθαρότερο αέρα έχει αναγνωρισθεί εδώ και αρκετές δεκαετίες, με ανάληψη δράσεων σε επίπεδο κρατών μελών και Ε.Ε., όπως και με ενεργό συμμετοχή σε διεθνείς συμβάσεις. Οι δράσεις της Ε.Ε. έχουν επικεντρωθεί στον καθορισμό ελάχιστων προτύπων για την ποιότητα του περιβάλλοντος αέρα και στην αντιμετώπιση των προβλημάτων της όξινης βροχής και του τροποσφαιρικού όζοντος και των αερολυμάτων. Έχουν μειωθεί οι εκπομπές ρύπων από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης και κινητές πηγές, έχει βελτιωθεί η ποιότητα των καυσίμων και έχουν ενσωματωθεί απαιτήσεις προστασίας του περιβάλλοντος στους τομείς των μεταφορών και της ενέργειας.

Οι βιομηχανικές εκπομπές (όπου υπάρχουν βιομηχανίες κοντά σε πόλεις) συμμετέχουν με πολύ μικρότερο ποσοστό στην επιβάρυνση του εισπνεόμενου αέρα απ΄ότι το συνολικό μέγεθος τους, επειδή εκπέμπονται σε μεγάλο ύψος και διασπείρονται ευκολότερα σε μεγάλες αποστάσεις από τους ανέμους σε σύγκριση με τις εκπομπές των οχημάτων. Η οδική κυκλοφορία παραμένει ο βασικός παράγοντας που επιδρά επιβαρυντικά στην ποιότητα αέρα στις Ευρωπαϊκές πόλεις. Όμως, παρά την προσδοκώμενη αύξηση της κυκλοφορικής κίνησης, αναμένεται μία σταδιακή μείωση των εκπομπών ρύπων, ως αποτέλεσμα της αξιοσημείωτης ελάττωσης του επιπέδου εκπομπών του κάθε οχήματος. Η παρατηρούμενη μείωση των επιπέδων των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι το αποτέλεσμα της περιβαλλοντικής πολιτικής, που περιλαμβάνει ένα συνδυασμό μέτρων και παρεμβάσεων που υλοποιήθηκαν ή/και συνεχίζουν να υλοποιούνται, όπως:

- η ανανέωση του στόλου των παλαιών συμβατικών Ι.Χ. αυτοκινήτων με καινούργια καταλυτικής τεχνολογίας,
- η ανανέωση των πετρελαιοκινήτων οχημάτων (κυρίως λεωφορείων και ΤΑΧΙ),
- η διαχρονική βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων, που χρησιμοποιούνται στα οχήματα, τη θέρμανση και τη βιομηχανία και ιδίως η διαχρονική μείωση της περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο,
- τα συστήματα αντιρρύπανσης στο βιομηχανικό τομέα,
- η σταδιακή διείσδυση του φυσικού αερίου στη βιομηχανία και στα κτίρια,
- οι κυκλοφοριακές επεμβάσεις (π.χ. λεωφορειολωρίδες, νέοι σταθμοί αυτοκινήτων κλπ.),
- η ρύθμιση και συντήρηση των οχημάτων (εφαρμογή της Κάρτας Ελέγχου Καυσαερίων),
- η ρύθμιση και συντήρηση των καυστήρων κεντρικής θέρμανσης,
- η χρήση εναλλακτικών καυσίμων μεταφοράς.

Σε αντίθεση όμως με την παραπάνω παρατήρηση, θεωρείται πιθανό κάποιες πόλεις να μην επιτύχουν τον Ευρωπαϊκό στόχο ποιότητας αέρα για το NO_2 ως το 2010, αν δεν ληφθούν μέτρα περικοπής της κυκλοφορίας οχημάτων. Η ανάπτυξη στον τομέα των μεταφορών καθοδηγείται από οικονομικές και δομικές τάσεις και αλλαγές. Ως παράδειγμα, η γενικότερη οικονομική ανάπτυξη, η άνθιση του διεθνούς εμπορίου καθώς και η αυξανόμενη ιδιωτική κατανάλωση έχουν σαν συνέπεια την διόγκωση της κυκλοφορικής κίνησης. Το γεγονός αυτό οφείλεται αφενός στις πολλαπλασιαζόμενες ανάγκες για μετακίνηση και αφετέρου στην ευκολότερη πλέον πρόσβαση των πολιτών στα μέσα μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων, όπως αυτοκίνητα και αεροπλάνα. Επίσης, το φαινόμενο της αύξησης της κυκλοφορικής κίνησης είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με άλλες κοινωνικές τάσεις και επιδρά άμεσα και σε άλλους τομείς της σύγχρονης κοινωνίας. Οι μετακινήσεις ανά μεταφορικό μέσο στις πόλεις έχουν αλλάξει σε σημαντικό βαθμό στην τελευταία δεκαετία. Η σημαντικότερη αλλαγή που επηρεάζει καθοριστικά τις κυκλοφοριακές συνθήκες και τη συνεπαγόμενη ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η μετατόπιση σημαντικού ποσοστού μετακινήσεων από τα μέσα μαζικής μεταφοράς και τα Taxi, σε μετακινήσεις με ΙΧ. Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο ποσοστό των μετακινήσεων στην αρχή της δεκαετίας, κατείχαν αθροιστικά τα μέσα μαζικής μεταφοράς και τα Taxi, ενώ σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό κατέχουν οι μετακινήσεις με ΙΧ. Η εμφάνιση υψηλών τιμών ρύπανσης στους δρόμους των πόλεων, δεν ερμηνεύεται μόνο με τον κυκλοφοριακό φόρτο, αλλά αποτελεί

συνδυασμό διαφόρων παραγόντων όπως: ο κυκλοφοριακός φόρτος, οι μετεωρολογικές συνθήκες, το πλάτος της οδού, η ταχύτητα των οχημάτων, το ύψος των κτιρίων και η πυκνή δόμηση. Η εμφάνιση του φαινομένου της "οδικής χαράδρας" σε δρόμους της πόλης καθορίζει επίσης τις εμφανιζόμενες υψηλές τιμές ρύπανσης.

1.4.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί σημαντικό πρόβλημα και της χώρας μας. Στην Ελλάδα, η ατμοσφαιρική ρύπανση των πόλεων δεν αφορά μόνο την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη αλλά και τις άλλες μεγάλες Ελληνικές πόλεις (Πάτρα, Ηράκλειο, Βόλος, Λάρισα κλπ). Όλα τα αστικά κέντρα, εμφανίζουν επιβαρημένη ατμόσφαιρα, ιδιαίτερα όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια. Τα τελευταία υπολογίζονται ως ο ακριβότερος (σε όρους κόστους υγείας) ρύπος στα βιομηχανικά κράτη, με εκτιμώμενο κόστος μεταξύ 150.000 και 2.200.000 $/t [*Spadaro and Rabl, 2001*]. Περαιτέρω, αποτελούν μαζί με τα οξείδια του αζώτου, τα βασικά μειονεκτήματα των πετρελαιοκινητήρων σε επίπεδο εκπομπών. Επίσης, είναι και το βασικό επιχείρημα των αντίθετων [*Lloyd and Cackette, 2001*] σε ευνοϊκή νομοθετικά μεταχείριση της μηχανής αυτής σε επίπεδο επιβατηγών οχημάτων που έχει θέσει σα στόχο η Ευρωπαϊκή Ένωση (και αρκετά κράτη - μέλη ήδη εφαρμόζουν) στα πλαίσια των υποχρεώσεων της για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μετά την υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κυότο. Οι θέσεις της αμερικανικής κυβέρνησης στο θέμα καυσαέριο πετρελαιοκινητήρα - ανθρώπινη υγεία αποτυπώνεται στην τελευταία έκθεση της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος [*U.S. EPA, 2002*], όπου και χαρακτηρίζεται ως πιθανώς καρκινογόνο και υπεύθυνο για άμεση επίδραση στην υγεία ευαίσθητων ομάδων πολιτών (ασθματικοί, ηλικιωμένοι, παιδιά). Κατά την ευρωπαϊκή άποψη, η οποία φυσικά δεν αγνοεί το ενδεχόμενο κόστος υγείας [*Lacroix, 2003*], οι τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις, τόσο σε επίπεδο σχεδιασμού του κινητήρα όσο και σε επίπεδο μετεπεξεργασίας του καυσαερίου συνηγορούν σε μια ευνοϊκή πολιτική για τον κινητήρα diesel. Παράλληλα, επιδεικνύεται εντονότατο ενδιαφέρον από την πλευρά των ευρωπαίων καταναλωτών αφού τα πετρελαιοκίνητα οχήματα νέας τεχνολογίας παρουσιάζουν οικονομικά και οδηγικά πλεονεκτήματα όπως χαμηλότερη κατανάλωση και υψηλότερη ροπή.

Η πετρελαιοκίνηση στην Ελλάδα είναι απαγορευμένη για τα επιβατικά αυτοκίνητα και τα ελαφρά φορτηγά στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη. Η απαγόρευση αυτή βασίστηκε στις πολύ κακές εντυπώσεις που δημιουργήθηκαν λόγω του καπνού που εξέπεμπαν τα οχήματα κατά τις δεκαετίες ’70 και `80. Κύριες αιτίες του φαινομένου ήταν η παλαιά τεχνολογία, η εισαγωγή μεταχειρισμένων οχημάτων όλων των χρήσεων, η κακή συντήρηση, η ανεπαρκής ποιότητα του καυσίμου και η μη λειτουργία ΚΤΕΟ. Η Ελλάδα είναι η μόνη χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης που απαγορεύει τη χρήση πετρελαιοκίνητων επιβατικών και ελαφρών φορτηγών (στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη αλλά και, έμμεσα, σε όλη τη χώρα αφού αυτό δημιουργεί αντικίνητρα για την εισαγωγή και διάθεση τέτοιων οχημάτων στην υπόλοιπη χώρα) με βάση το επιχείρημα ότι η απελευθέρωση θα οδηγήσει σε χειροτέρευση της ήδη επιβαρημένης ατμόσφαιρας.

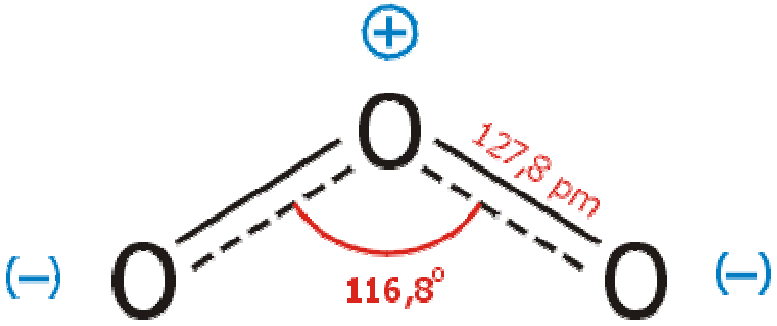
Οι ελληνικές πόλεις παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συνδέονται με τις εκπομπές ρύπων από διάφορες πηγές και τη γενικότερη κλιματολογία και τοπογραφία της περιοχής τους. Οι στενοί δρόμοι με ψηλά κτίρια και με ελάχιστους ανοικτούς χώρους, συνδυαζόμενοι με κλιματολογικές συνθήκες άπνοιας ή ασθενών ανέμων, παράλληλα με τις εκπομπές ρύπων από τα οχήματα, τις βιομηχανίες και τις κεντρικές θερμάνσεις, συμβάλλουν γενικά στη συσσώρευση ρύπων στην ατμόσφαιρα.Για την ατμοσφαιρική ρύπανση των ελληνικών πόλεων προκύπτει ότι κατά τη διάρκεια της τελευταίας 20ετίας οι συγκεντρώσεις:

- του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), του μολύβδου (Pb), του διοξειδίου του θείου (SO_2) μειώθηκαν σε πολύ μεγάλο ποσοστό και βρίσκονται σήμερα σε επίπεδα κάτω από τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας της Ε.Ε., στις περισσότερες των περιπτώσεων.
- των αιωρουμένων σωματιδίων PM_{10} (εισπνεύσιμα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μm) μειώθηκαν σε κάποιο βαθμό, αλλά εξακολουθούν να βρίσκονται σε επίπεδα ψηλότερα από τα ισχύοντα και τα νέα όρια.

- του διοξειδίου του αζώτου (NO_2) παρουσίασαν σταθεροποίηση με μικρή ανοδική τάση και τείνουν να έχουν υπερβάσεις των νέων ορίων.
- του όζοντος (O_3) παρουσίασαν σταθεροποίηση με μικρή ανοδική τάση, ιδίως στις περιοχές, που είναι εκτός πολεοδομικού συγκροτήματος.

1.4.2 Τροποσφαιρικό όζον

Το όζον είναι ένα σημαντικό συστατικό της ατμόσφαιρας παρά το γεγονός ότι η συγκέντρωση του είναι μικρή. Το ατμοσφαιρικό όζον απορροφά έντονα την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία στη φασματική περιοχή από 200 έως περίπου 310 nm. Ειδικότερα, απορροφά εντονότατα την *Γ-υπεριώδη UV-C (180-280 nm)* και την *Β-υπεριώδη UV-B (280-320 nm)* ηλιακή ακτινοβολία. Η λιγότερη βλαβερή *Α-υπεριώδης ακτινοβολία UV-A (320-400 nm)* απορροφάται λιγότερο έντονα από το όζον και φθάνει έτσι στην επιφάνεια της γης. Επομένως, το όζον παίζει σημαντικό ρόλο στην διατήρηση της έμβιας ζωής στον πλανήτη μας, καθόσον απορροφά αποτελεσματικά την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία. Επίσης, το όζον απορροφά και στη φασματική περιοχή των 9.1 και 9.6 μm, περιοχή εκπομπής της γήινης ακτινοβολίας, επομένως και το όζον παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της θερμικής ισορροπίας του πλανήτη μας (σύστημα: γη-ατμόσφαιρα) στα πλαίσια του φαινομένου του θερμοκηπίου. Λόγω της τριγωνικής δομής του δημιουργεί ηλεκτρικό δίπολο που απορροφάει στα 240 και 320nm στη UV-A και UV-B και στα 9.6μm στο IR. Το μόριο του όζοντος είναι περίπου 1200 φορές πιο αποτελεσματικό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου από ότι το μόριο του CO_2. Η συμμετοχή του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά την περίοδο 1750-1990 ήταν περίπου 18% [*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC 1995*].



Σχήμα 1.6:Τριγωνική δομή του όζοντος, Πηγή: http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_ozone.htm#05

Το όζον στην ατμόσφαιρα εμφανίζεται με δύο πρόσωπα: Στο ευρύ κοινό είναι γενικά γνωστό ότι το όζον είναι ένα αέριο στοιχείο (σχήμα 1.6) που παράγεται στην στρατόσφαιρα (15-50km), το λεγόμενο «καλό» όζον το οποίο παράγεται με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μοριακό οξυγόνο. Η εξαιρετικά αραιή στιβάδα όζοντος, αλλά "πάχους" πολλών χιλιομέτρων, δρα σαν φίλτρο που απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία (UV) του ήλιου και προστατεύει τους ζωντανούς οργανισμούς από οξειδωτικές βλάβες στα βιομόρια και τον άνθρωπο από την αύξηση των περιπτώσεων καρκίνου του δέρματος. Συχνά αναφέρεται ως στρώμα ή **στιβάδα όζοντος**, όμως θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο όρος αυτός είναι κάπως "παρεξηγημένος", γιατί πουθενά δεν υπάρχει μια στιβάδα καθαρού όζοντος. Στην πραγματικότητα πρόκειται για μια διάχυτη περιοχή της ατμόσφαιρας όπου κυριαρχούν τα κανονικά συστατικά της ατμόσφαιρας και το όζον βρίσκεται σε εξαιρετικά χαμηλή συγκέντρωση (0,1-1,1 ppmv), αλλά οπωσδήποτε σε πολύ μεγαλύτερη από εκείνη της τροπόσφαιρας. Η μείωση του όζοντος στην στρατόσφαιρα από την χρήση ανθρωπογενών χημικών στοιχείων όπως οι χλωροφθοράνθρακες τις τελευταίες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα είναι ένα πρόβλημα σε παγκόσμια κλίμακα και έχει απασχολήσει ιδιαίτερα αλλά και συνεχίζει να απασχολεί τόσο την επιστημονική κοινότητα όσο και την κοινή γνώμη και τις κυβερνήσεις των κρατών.

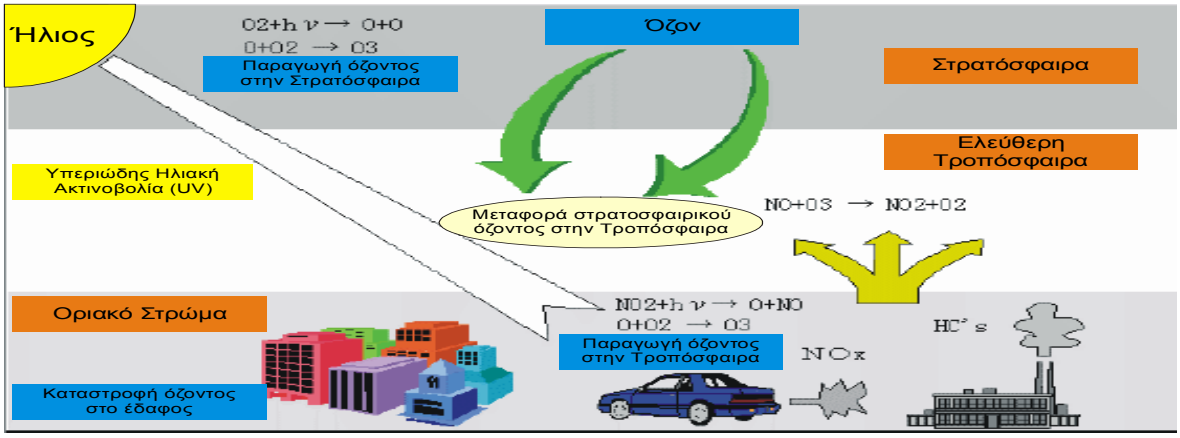
Το όζον χαμηλά στο έδαφος (0-15km) είναι ένας ρύπος που συνδέεται με επεισόδια φωτοχημικού νέφους σε αστικά κέντρα και γύρω από αυτά, όπου μπορεί να προκαλέσει ποικίλα προβλήματα στον άνθρωπο και την φύση όταν ξεπεραστούν κάποιες οριακές τιμές. Για αυτό τον λόγο έχει επικρατήσει να αποκαλούμε το τροποσφαιρικό όζον ως το «κακό» όζον. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι μέχρι περίπου και τα τέλη της δεκαετίας του '70 η επιστημονική κοινότητα θεωρούσε ότι το όζον στην τροπόσφαιρα είναι ένα αδρανές αέριο που δεν αντιδρά με άλλα στοιχεία και ότι προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από την κατώτερη στρατόσφαιρα (από διεισδύσεις στρατοσφαιρικού όζοντος στην τροπόσφαιρα) και καταστρέφεται στο έδαφος. Ήτανε στα τέλη της δεκαετίας του '70 και '80 που τέθηκαν οι βάσεις της θεωρίας της φωτοχημικής παραγωγής του τροποσφαιρικού όζοντος. Το έναυσμα δόθηκε από την προσπάθεια για την εξήγηση του φωτοχημικού νέφους του Λος Άντζελες στην δεκαετία του '60 από όπου διαπιστώθηκε ότι το φωτοχημικό νέφος (ή ρύπανση του όζοντος) δημιουργείται από μία πολύπλοκη σειρά χημικών αντιδράσεων που περιλαμβάνουν πτητικούς υδρογονάνθρακες (VOCs) και οξείδια του αζώτου (NOx) από βιομηχανικές πηγές και αυτοκίνητα υπό την δράση του ηλιακού φωτός. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνει κατά την διάρκεια της ημέρας, η ηλιακή ενέργεια επιταχύνει αυτές τις χημικές αντιδράσεις με αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας όζοντος που παράγεται. Αντίστροφα, όταν η θερμοκρασία μειώνεται οι χημικές αντιδράσεις επιβραδύνουν και το φωτοχημικό νέφος σπάνια δημιουργείται. Η παραγωγή του τροποσφαιρικού όζοντος είναι λοιπόν ένα φαινόμενο που ευνοείται κατά την διάρκεια της ημέρας και των θερμών μηνών του έτους (τέλη άνοιξης και καλοκαιριού). Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές με υψηλά επίπεδα NOx και VOC παράγονται υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος. Οι συγκεντρώσεις του σε καθαρές ατμόσφαιρες κυμαίνονται από 5 έως 30ppbv, ενώ σε βιομηχανικές ή μεγάλες αστικές περιοχές φτάνουν αρκετά ψηλά. Το όριο που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι 53ppbv για οκτάωρη έκθεση και 32ppbv για εικοσιτετράωρη έκθεση [*De Santis, 1999*]. Η διαταραχή επομένως της κατακόρυφης κατανομής του όζοντος τόσο στην τροπόσφαιρα, όσο και στην στρατόσφαιρα, έχει σημαντικότατες συνέπειες στην βιόσφαιρα και στην ατμόσφαιρα, και κατ'επέκταση στη Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή, αλλά και στην φωτοχημεία της ατμόσφαιρας.

Το όζον της τροπόσφαιρας λοιπόν είναι κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης και θεωρείται ένας από τους κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους των αστικών περιοχών, που ωστόσο μεταφέρεται συχνά και σε μεγάλες αποστάσεις από τις πόλεις. Οι συγκεντρώσεις των ρύπων στην κεντρική περιοχή ενός πολεοδομικού συγκροτήματος είναι υψηλότερες σε σύγκριση με άλλες περιοχές της πόλης. Εξαίρεση αποτελεί το όζον, που παρουσιάζει στην εκτός πολεοδομικού συγκροτήματος περιοχή υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με το πολεοδομικό συγκρότημα, ένεκα της γνωστής φυσικοχημικής συμπεριφοράς του να μεταφέρεται από την πόλη στην περιφέρεια. Το όζον δεν προέρχεται από καμιά πηγή ρύπανσης, αλλά δημιουργείται δευτερευόντως με φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα από πρωτογενείς ρύπους, που εκπέμπονται κυρίως από την κυκλοφορία οχημάτων στο πολεοδομικό συγκρότημα. Το τροποσφαιρικό όζον είναι εξίσου σημαντικό αν και η δυναμική και χημική συμπεριφορά του είναι αρκετά πολύπλοκες και δεν είναι γνωστές με ακρίβεια.

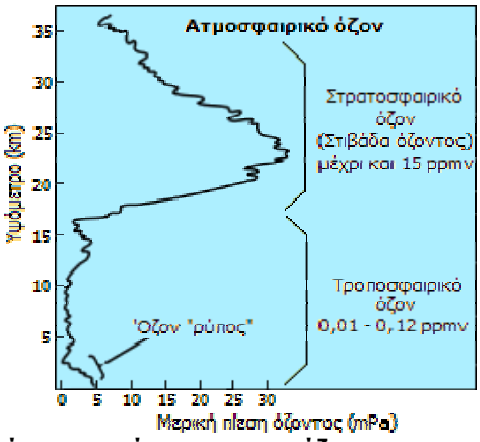
Σήμερα γνωρίζουμε ότι η προέλευση του τροποσφαιρικού όζοντος (όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.7) αφενός είναι η φωτοχημική παραγωγή υπό την παρουσία διάφορων πρωτογενών ρύπων (π.χ. οξείδια του αζώτου, υδρογονάνθράκες) και του φωτός, και αφετέρου η μεταφορά στρατοσφαιρικού όζοντος προς την τροπόσφαιρα. Συγκεκριμένα, σε περιβάλλοντα πλούσια σε οξείδια του αζώτου και υδρογονάνθρακες, η επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας σχετικά μεγάλου μήκους κύματος οδηγεί στην παραγωγή όζοντος (σχήμα 1.7). Είναι ένα θερμοκηπικό αέριο και πιθανότατα συμβάλει στην παγκόσμια θέρμανση. Οξειδώνει πολλές ουσίες στην τροπόσφαιρα και ελέγχει την τροποσφαιρική χημεία.

Είναι χαρακτηριστική η φράση για το όζον « good up high, bad nearby » που σημαίνει καλό εκεί ψηλά, κακό εδώ γύρω. Εκτιμάται ότι το 90% του ατμοσφαιρικού όζοντος βρίσκεται στην στρατόσφαιρα και το 10% στην τροπόσφαιρα [*http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_ozone.htm#05*.]. Μια τυπική κατανομή της συγκέντρωσης του όζοντος (ως μερική πίεση) ως συνάρτηση του ύψους δείχνεται στο

σχήμα 1.8. Η κατακόρυφη κατανομή του όζοντος (σχήμα 1.8), είναι αρχικά σχεδόν σταθερή και σε μικρές συγκεντρώσεις μέχρι το τέλος της τροπόσφαιρας. Μέσα στη στρατόσφαιρα αυξάνει απότομα παρουσιάζοντας μέγιστο της συγκέντρωσης του περίπου στα 20 με 25 km. Για αρκετό καιρό η επιστημονική κοινότητα πίστευε ότι σχεδόν όλο το όζον στην τροπόσφαιρα προερχόταν από μεταφορά από τη στρατόσφαιρα, χωρίς να παίζει κάποιο σημαντικό ρόλο η τροποσφαιρική χημεία. Εντούτοις δείχθηκε ότι μόνο το 0.1 % του στρατοσφαιρικού όζοντος μεταφέρεται στη τροπόσφαιρα (Crutzen, 1995), ποσότητα που δεν είναι ικανή να εξηγήσει τα τροποσφαιρικά επίπεδα. Το όζον μέσα στο στρώμα ανάμιξης (BL, boundary layer) έχει χρόνο ζωής που καθορίζεται φωτοχημικά και κυμαίνεται από 2 με 4 μέρες (Fishman et al., 1991). Η εναπόθεση του στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι μηδαμινή, κάνοντας έτσι το όζον ένα ισχυρά μεταφερόμενο ρύπο.



Σχήμα 1.7: **Σχηματική παράσταση που δείχνει την προέλευση του όζοντος της τροπόσφαιρας, http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/ozontovolisi.pdf**



Σχήμα 1.8.: Τυπική κατανομή της συγκέντρωσης του όζοντος ως μερική πίεση (σε mPa) συναρτήσει του ύψους (σε km). Πηγή: http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_ozone.htm#05

Το τροποσφαιρικό όζον έχει πολλαπλή σημασία για την ατμόσφαιρα της γης. Καταρχήν το τροποσφαιρικό όζον κατέχει κεντρικό ρόλο στην χημεία της τροπόσφαιρας καθώς αποτελεί την βασική πηγή του πιο σημαντικού οξειδωτικού μέσου στην τροπόσφαιρα, της ρίζας του υδροξυλίου (OH). Με πιο απλά λόγια το υδροξύλιο αποτελεί το ισχυρότερο «*απορρυπαντικό*» της ατμόσφαιρας που την καθαρίζει από μια σειρά οργανικών και ανόργανων ενώσεων που εκπέμπονται από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές. Φαντασθείτε πως υπό την έλλειψη της ρίζας του υδροξυλίου όλες αυτές οι ενώσεις θα είχαν πολύ μεγάλο χρόνο ζωής και θα συσσωρεύονταν στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας δρώντας επικουρικά στο γνωστό φαινόμενο του θερμοκηπίου που προκαλείται από ενώσεις όπως το CO_2, το μεθάνιο και βέβαια οι υδρατμοί. Αυτό θα είχε σαν συνέπεια ότι μια σειρά από αέριες ενώσεις που δεν συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου θα συνέβαλλαν σε ακόμα μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο πλανήτη μας.

Η σημασία του τροποσφαιρικού όζοντος έγκειται όμως και στις συνέπειες που έχει τόσο στον άνθρωπο όσο και στο φυτικό βασίλειο και τα διάφορα υλικά. Το όζον που αποτελεί πρόδρομο ένωση των ριζών OH, NO_3, είναι τοξικό για τον άνθρωπο και τα φυτά επειδή οξειδώνει τους βιολογικούς ιστούς. Ως αναφορά για τις επιπτώσεις του όζοντος στον άνθρωπο, η συνεχής έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές τιμές όζοντος μπορεί να του προκαλέσει μόνιμη βλάβη στους πνεύμονες. Ακόμα και όταν το όζον είναι σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις η εισπνοή του μπορεί να προκαλέσει μια σειρά από προβλήματα υγείας όπως πόνους στο στήθος, βήχα, ερεθισμό του λαιμού, συμφόρηση, και να επιδεινώσει καρδιακά προβλήματα, βρογχίτιδα, εμφύσημα και άσθμα.

Το όζον είναι από μόνο του ένα οξειδωτικό μέσο και είναι φυτο-τοξικό στοιχείο που σημαίνει ότι όταν βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις γίνεται επικίνδυνο για τα φυτά και δάση καθώς επηρεάζει την ικανότητα τους να παράγουν και να αποθηκεύουν τροφή κάνοντας τα έτσι πιο ευάλωτα στις αρρώστιες, τα έντομα και τις άσχημες καιρικές συνθήκες. Σύμφωνα με την U.S. EPA [*United States Environmental Protection Agency* - ***http://www.epa.gov/oar/oaqps/gooduphigh/***], η ρύπανση του όζοντος προκαλεί καταστροφές στη σοδειά που αντιστοιχεί σε μείωση της αγροτικής παραγωγής πάνω από 0.5 δισεκατομμύριο δολάρια κάθε έτος σε πανεθνικό επίπεδο.

Το όζον ως οξειδωτικό μέσο επιδρά και σε διάφορα οργανικά υλικά, όπως οργανικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στην ζωγραφική, στις εξωτερικές ζωγραφισμένες διακοσμήσεις κτιρίων, ή για βαφή υφασμάτων, το φυσικό καουτσούκ, τα συνθετικά ελαστικά υλικά από κυτταρίνη όπως το χαρτί, διάφορα εκθέματα των μουσείων φυσικής ιστορίας όπως φτερά, δέρμα ζώων, πάπυρο. Επομένως η ρύπανση του όζοντος συνδέεται άρρηκτα και με προβλήματα υποβιβασμού της πολιτισμικής μας κληρονομιάς.

Η ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

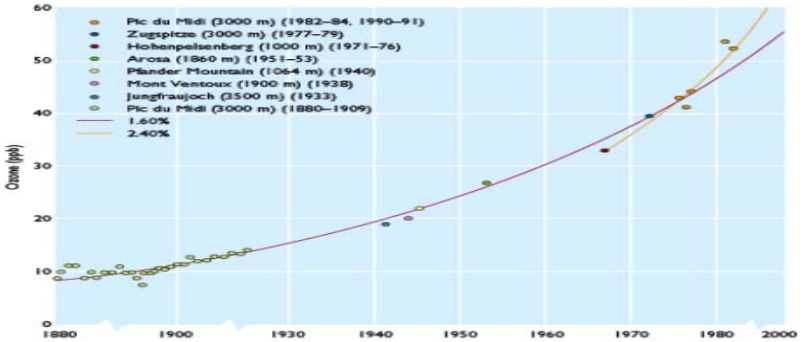
Από τα τέλη του προηγούμενου αιώνα οι συγκεντρώσεις του όζοντος, βρίσκονται σε μια διαρκή άνοδο. Τα υψηλά επίπεδα του όζοντος οφείλονται κυρίως στην ανθρώπινη δραστηριότητα, παρατηρώντας την πολύ μεγάλη αύξηση στα 150 χρόνια, από τότε που ανακαλύφτηκε και μετράται. Από όταν ανακαλύφτηκε ότι το τροποσφαιρικό όζον είναι αποτέλεσμα των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και διαπιστώθηκαν οι επιβλαβείς συνέπειες του στην υγεία των οργανισμών (ανθρώπινων και όχι), καθώς και ότι αποτελεί τη βασική πηγή των επιβλαβών ριζών υδροξυλίου και νιτρικών ριζών, έχουν γίνει προσπάθειες για να περιοριστούν οι πρόδρομες ενώσεις του και κατά επέκταση τα επίπεδα του όζοντος. Για να μπορέσουν να βγουν κάποια αξιόπιστα συμπεράσματα, είναι απαραίτητες οι διαχρονικές μετρήσεις που θα δίνουν τις διάφορες τάσεις.

Ιδιαίτερη συμβολή στην διαπίστωση της αύξησης του υποβάθρου όζοντος της τροπόσφαιρας έδωσε και η αξιολόγηση των μετρήσεων όζοντος στο Παρίσι (σχήμα 1.9) (Montsouris) στα τέλη του περασμένου αιώνα. Από τα επίπεδα των 10-15 ppbv O_3 το 1876-1910 [*Montsouris, Volz and Kley 1988*] και τα 15-25 ppbv O_3 το 1956-1983 (*Arkona, Volz and Kley 1988*), οι τιμές του όζοντος έχουν σχεδόν διπλασιαστεί. Οι σημερινές τιμές των συγκεντρώσεων του όζοντος στην περιοχή μας, έχουν φτάσει τα 40-80ppbv, αναλόγως την εποχή [*Kouvarakis et al., 2000, 2002c, Lelieveld and Dentener., 2000, Bonasoni et al., 2000, Kalabokas et al., 2000, Zerefos et al., 1998, 2002, EMEP, 2000*] και συγκεκριμένα στα επίπεδα των 40ppbv για χειμερινές τιμές και τα 65-70 για μέσες καλοκαιρινές τιμές. Παρατηρείται αύξηση στις συγκεντρώσεις του όζοντος κατά 1,5% ανά χρόνο στην Ευρώπη, λόγω της έντονης ανθρωπογενούς δραστηριότητας [*Volz and Kley, 1988, Logan, 1994*]. Επεισόδια όζοντος να μπορούν να πλησιάσουν και τα 90ppbv, τιμές πολύ υψηλές αν συνδυαστούν με τα όρια ασφαλείας που έχουν οριοθετήσει διάφοροι οργανισμοί.

Η πιθανότερη αιτία για την αύξηση αυτή του υποβάθρου όζοντος της τροπόσφαιρας θεωρείται η φωτοχημική παραγωγή όζοντος λόγω της σταδιακής αύξησης των ανθρωπογενών εκπομπών πρωτογενών ρύπων (NOx, CO, HC), όπως προαναφέρθηκε και η σταθερή ανάμειξη των πρόδρομων αυτών ενώσεων σε ευρύτερες περιοχές. Πολλές άλλες ερευνητικές εργασίες σε διάφορες τοποθεσίες στην Ευρώπη και Βόρεια Αμερική έδειξαν ότι υπάρχει αύξηση του όζοντος της τροπόσφαιρας κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών της τάξης του 1% ανά έτος. Όλες αυτές οι διαπιστώσεις της αύξησης του τροποσφαιρικού όζοντος τόσο κοντά στο έδαφος όσο και στην ελεύθερη

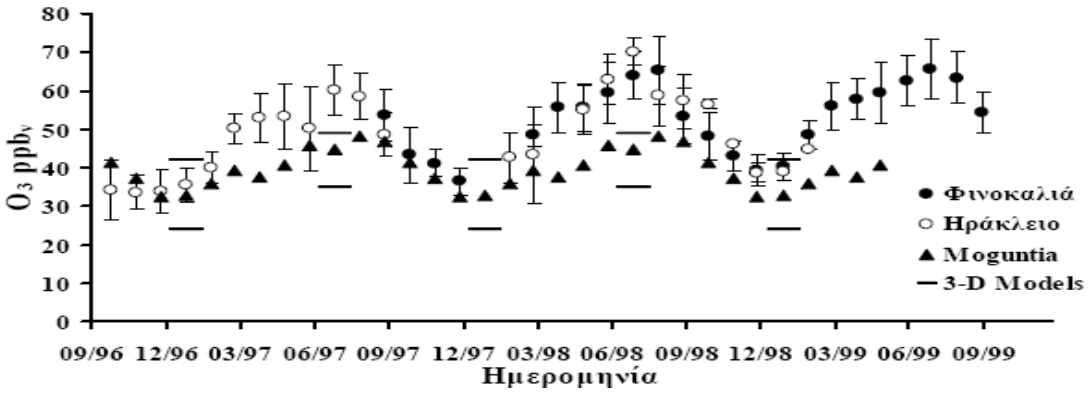
τροπόσφαιρα (πάνω από το οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας όπου ζούμε και αναπνέουμε) δείχνουν ότι είναι ένα πρόβλημα που δεν περιορίζεται μόνο σε τοπική κλίμακα αλλά επεκτείνεται σε διακρατική και ημισφαιρική κλίμακα. Έγινε αντιληπτό ότι η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος δεν είναι ένα πρόβλημα που αφορά μόνο τα αστικά κέντρα και τις γύρω περιοχές αλλά ένα πρόβλημα που αφορά ευρύτερες περιοχές. Αυτό σημαίνει ότι η λύση ενός τέτοιου προβλήματος μπορεί να δοθεί μόνο κάτω από την συντονισμένη προσπάθεια όλων των κρατών.

.



Σχήμα 1.9: Διαχρονική αύξηση της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος για την περίοδο 1876-1910 (10 με 15 ppbv), στο Montsouris της Γαλλίας, Πηγή: (Volz and Kley, 1988)

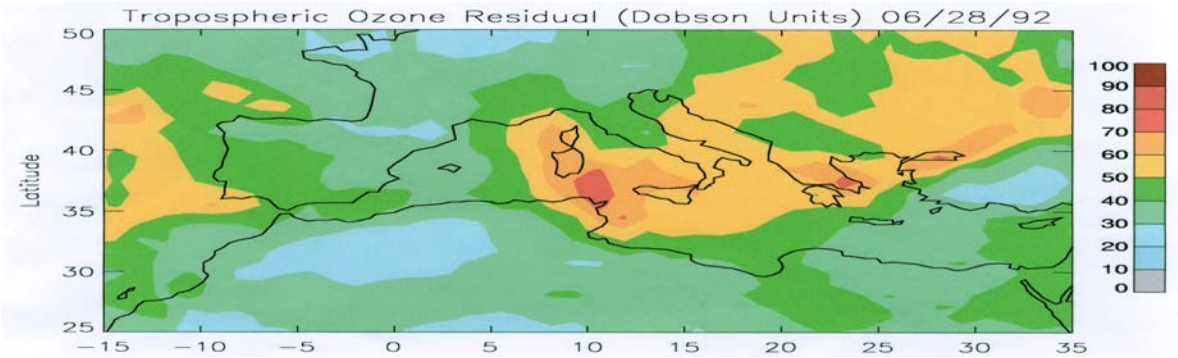
Η μεγάλη σημασία που έχει το τροποσφαιρικό όζον στην χημεία της τροπόσφαιρας και κατά επέκταση την υγεία του ανθρώπου καθώς και η δραστική αύξηση του λόγω της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, έχουν ωθήσει πολλές ερευνητικές ομάδες να δημιουργήσουν υπολογιστικά μοντέλα που να μπορούν με ακρίβεια να προσομοιώνουν τις συγκεντρώσεις του όζοντος στην ατμόσφαιρα. Τα ήδη υπάρχοντα μοντέλα πλησιάζουν αλλά δεν μπορούν να αποδώσουν με ακρίβεια τις παρατηρούμενες τιμές. Αυτό οφείλεται στη δυσκολία που δημιουργείται λόγω των πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων που συμμετέχει (άμεσα ή έμμεσα) το όζον, καθώς και στην ανακρίβεια που υπάρχει για τις τιμές των εκπομπών των λοιπών ενώσεων που συμμετέχουν σε αυτές τις αντιδράσεις. Στο σχήμα 1.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα 13 παγκόσμιων μοντέλων 3 διαστάσεων, χημείας και μεταφοράς, για τους μήνες Ιανουάριο και Ιούλιο [*Kanakidou et al., 1999*]. Παράλληλα γίνεται σύγκριση με τιμές από το μοντέλο MOGUNTIA [*Zimmermann, 1998, Kanakidou and Crutzen, 1999*], και δίνονται και οι πειραματικές τιμές για την περιοχή του Ηρακλείου και της Φινοκαλιάς [*Kouvarakis et al. 2000*]. Για τους χειμερινούς μήνες το εύρος τιμών των μοντέλων (30-40ppbv) καλύπτει τις τιμές στην Φινοκαλιά, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο για τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου τα μοντέλα δίνουν μέγιστη τιμή τα 50ppbv, αρκετά χαμηλότερη από τις παρατηρούμενες πιθανόν λόγω υποεκτίμησης των εκπομπών στην περιοχή της Μεσογείου.



Σχήμα 1.10: Συγκριτικά αποτελέσματα από 13 παγκόσμια μοντέλα χημείας και μεταφοράς, τριών διαστάσεων, για τους μήνες Ιανουάριο και Ιούλιο με ταυτόχρονη σύγκριση με τιμές από το μοντέλο MOGUNTIA και τις πειραματικές τιμές από τη πόλη του Ηρακλείου και το σταθμό της Φινοκαλιάς. Πηγή: Kouvarakis et al., 2000

ΤΟ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΟΖΟΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το πρόβλημα της ρύπανσης του όζοντος αφορά ιδιαίτερα την Ελλάδα και την Μεσόγειο που είναι μια περιοχή πλούσια σε φως του ήλιου. Εκτεταμένες προσομοιώσεις με τρισδιάστατο μαθηματικό μοντέλο (Σχήμα 1.11) που καλύπτει όλη την Ευρώπη και την Μεσόγειο, έδειξαν ότι ακόμη και αν περιοριστούν σημαντικά οι ανθρωπογενείς (βιομηχανία, μεταφορές, θέρμανση κλπ.) εκπομπές προδρόμων ενώσεων του όζοντος στην Ελλάδα, οι τιμές του όζοντος στην περιοχή δεν πρόκειται να μειωθούν σημαντικά. Αυτό συμβαίνει γιατί το μεγαλύτερο ποσοστό του υποβάθρου του όζοντος στην περιοχή προέρχεται από τις εκπομπές της Ηπειρωτικής Ευρώπης. Τα αποτελέσματα αυτά έχουν σημαντική πολιτική αξία για τη Ελλάδα καθώς για τον αποτελεσματικό έλεγχο των επιπέδων όζοντος στην περιοχή απαιτούνται ρυθμίσεις των εκπομπών όχι μόνο σε τοπική και εθνική κλίμακα αλλά και σε διακρατική και Ευρωπαϊκή κλίμακα. Χαρακτηριστικά φαίνεται στο Σχήμα 1.11 από δορυφορικές μετρήσεις της ολικής στήλης τροποσφαιρικού όζοντος ότι μέγιστες τιμές τροποσφαιρικού όζοντος παρατηρούνται πάνω από την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και όλο τον Ελλαδικό χώρο.



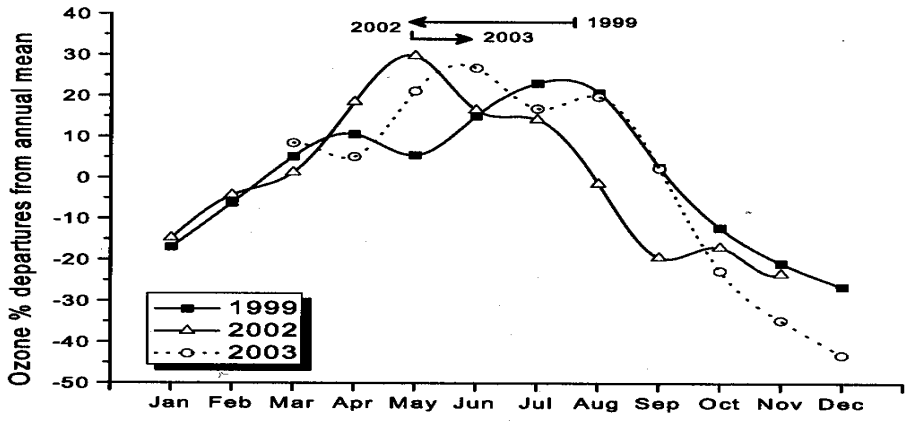
Σχήμα 1.11: Κατανομή της ολικής στήλης του τροποσφαιρικού όζοντος στις 28/6/1992 από μετρήσεις δορυφόρου πάνω από την Μεσόγειο. Η ολική στήλη όζοντος μετριέται σε Dobson Units (DU) όπου 1 DU αντιστοιχεί σε μήκος 0.001 cm υπό κανονικές συνθήκες. Για παράδειγμα ολική στήλη τροποσφαιρικού όζοντος 100 DU σημαίνει ότι εάν είχαμε την δυνατότητα να συμπιέσουμε όλο το όζον αυτής της στήλης (μοναδιαίου εμβαδού) κοντά στην επιφάνεια η στήλη θα είχε ύψος 0.1 cm. (Πηγή: J. Fishman, NASA Langley Research Center, Hampton, Virginia, USA)

Μετρήσεις στο σταθμό της Φινοκαλιάς που πραγματοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Χημικών Διεργασιών του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης έδειξαν την ύπαρξη υψηλών επιπέδων υποβάθρου όζοντος πάνω από ολόκληρη την Ανατολική Μεσόγειο (40-80 ppb) [*Kouvarakis et al.2000, Gerasopoulos et. al.2005*]. Αυτά τα επίπεδα όζοντος υπερβαίνουν κατά την διάρκεια όλου του έτους το όριο φυτο-τοξικότητας των 32 ppb που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Η ανάλυση των πειραμάτων EMEP έδειξε επίσης, ότι κατά τους θερμούς μήνες, τα επίπεδα όζοντος υπερβαίνουν και το Όριο Ενημέρωσης Πληθυσμού που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση (53 ppb). Αυτό είναι ένα γεγονός που πρέπει να μας επιστήσει ιδιαίτερα την προσοχή καθώς το πρόβλημα της ρύπανσης του όζοντος παρουσιάζεται ιδιαίτερα έντονο στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου.

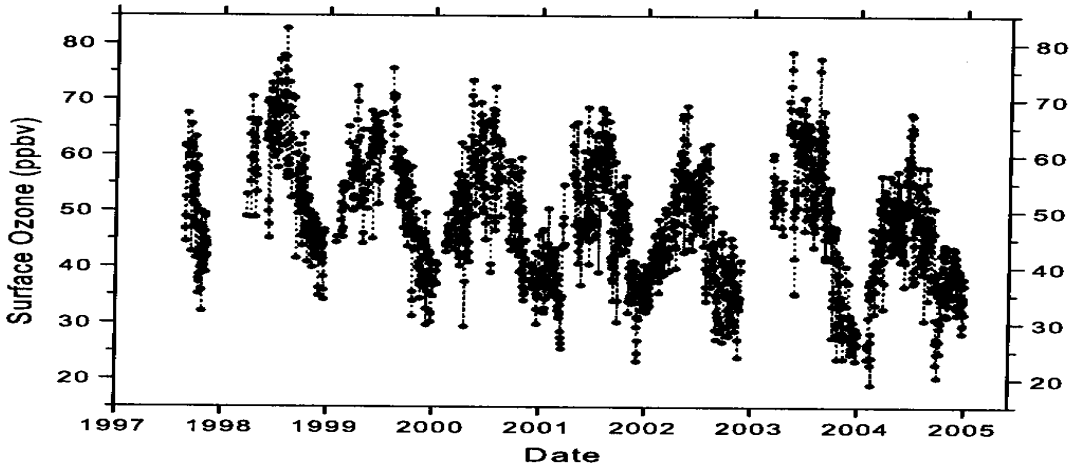
Το κύριο σημείο των δειγματοληψιών από το 1997 έως και σήμερα είναι ο σταθμός της Φινοκαλιάς, ο οποίος είναι ο νοτιότερος από τους σταθμούς του προγράμματος και θεωρείται από τους πρώτους τόσο σε συγκεντρώσεις όζοντος όσο και στη διάρκεια που αυτές παρατηρούνται. Κατά την διάρκεια αυτής της έρευνας [*Gerasopoulos et.al 2005*] μελετήθηκε η κατανομή των συγκεντρώσεων του τροποσφαιρικού όζοντος, τόσο ως προς την εποχιακή και ημερήσια, όσο και ως προς την χωρική κατανομή του, στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Επίσης έγινε προσπάθεια να κατανοηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τις κατανομές αυτές. Οι συγκεντρώσεις του σταθμού της Φινοκαλιάς είναι σε καλή συμφωνία με τις συγκεντρώσεις από τις υπόλοιπες περιοχές όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για την ίδια περίοδο κι έτσι μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικός για όλη την ευρύτερη περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου.

Παρατηρείται μια έντονη εποχιακή μεταβολή στις συγκεντρώσεις του όζοντος, με τις χαμηλότερες να παρουσιάζονται το χειμώνα (με τις μέσες μηνιαίες τιμές είναι 36 ± 7

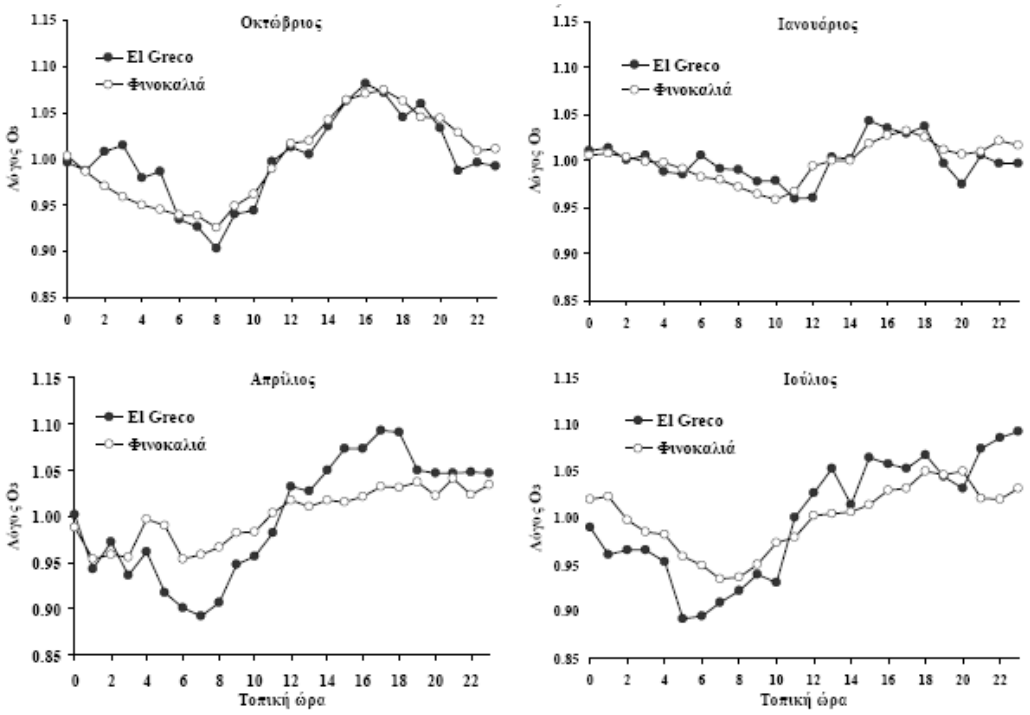
ppbv O_3), ενώ οι υψηλότερες τους καλοκαιρινούς μήνες (όπου οι μηνιαίες τιμές είναι 58 ± 10 ppbv O_3) (σχήμα 1.12). Παρατηρήθηκε επίσης η ύπαρξη μιας ασθενούς ημερήσιας μεταβολής με το ελάχιστο των τιμών να εμφανίζεται τις πρωινές ώρες, πιστοποιώντας αυτή την μεταβολή σε όλο το εύρος του Αιγαίου πελάγους (σχήμα 1.14) και μια έντονη μεταβολή στις συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος εξαρτώμενη από την προέλευση των αέριων μαζών. Οι υψηλές τιμές παρατηρήθηκαν σε αέριες μάζες που είχαν προέλευση βόρεια και βορειοδυτική, ενώ χαμηλές τιμές παρατηρήθηκαν σε αέριες μάζες με νότια και νοτιοδυτική προέλευση, δείχνοντας ότι το όζον είναι ένας καθαρά ανθρωπογενής ρύπος (σχήμα 1.15). Η περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου δέχεται σχεδόν όλο τον χρόνο αέριες μάζες από την δυτική και κεντρική Ευρώπη που μαζί με την έντονη ηλιοφάνεια μπορεί να δικαιολογήσει τις υψηλές τιμές του όζοντος.



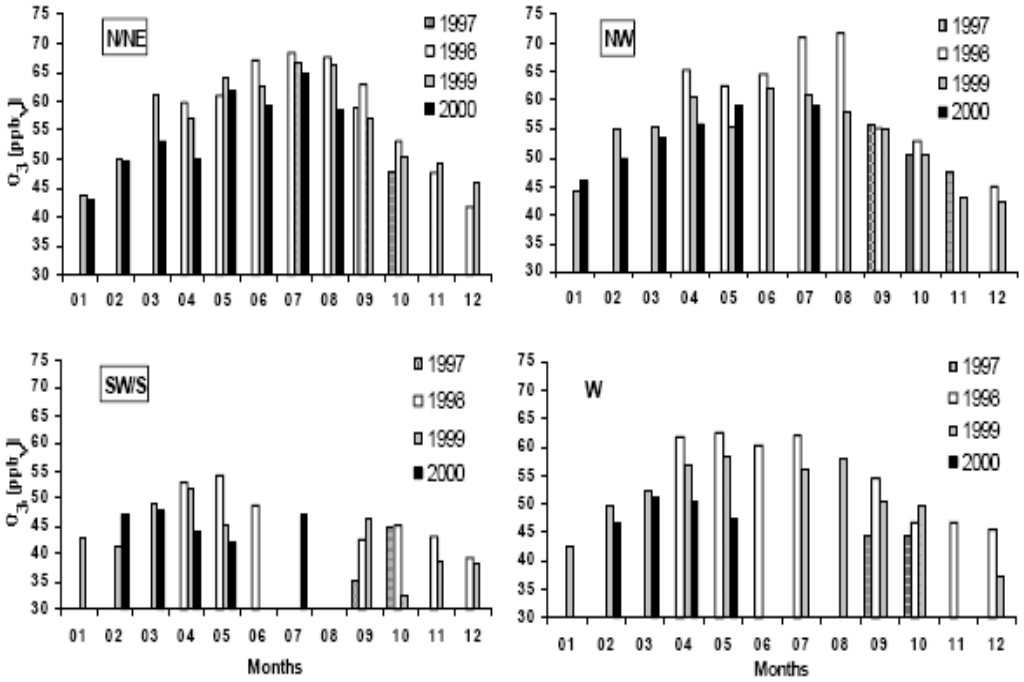
Σχήμα 1.12: Τιμές τροποσφαιρικού όζοντος στο σταθμό της Φινοκαλιάς για τα έτη 1999, 2002 και 2003. Το έτος 1999 εμφανίζει φωτοχημικό μέγιστο τους μήνες Απρίλιο και Ιούλιο, το έτος 2002 τους μήνες Μάιο και Ιούλιο και το έτος 2003 τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο
Πηγή: Gerasopoulos et al., 2005



Σχήμα 1.13: **Τιμές τροποσφαιρικού όζοντος (ημερήσιες μετρήσεις) στη περιοχή της Φινοκαλιάς την περίοδο 1997-2004. Πηγή: Gerasopoulos et al., 2005)**

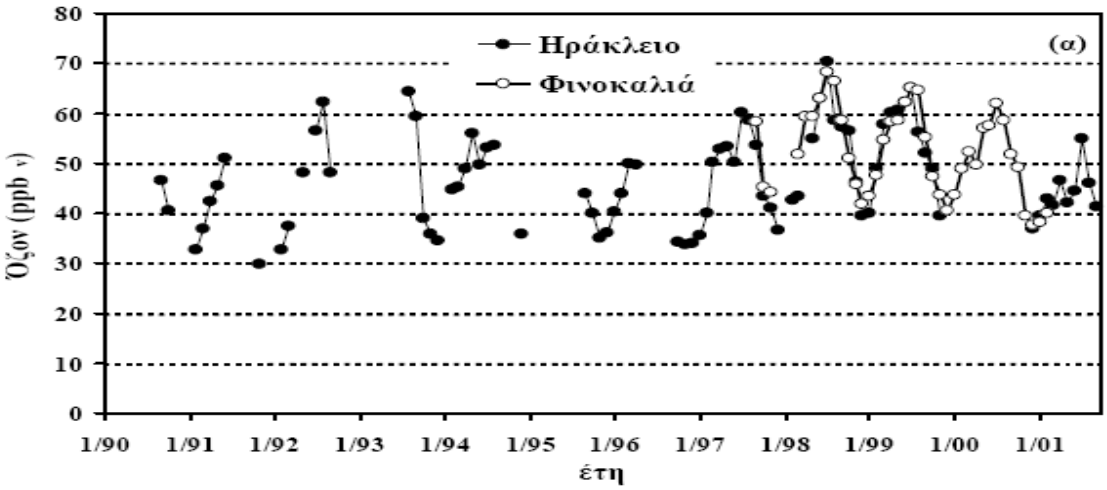


Σχήμα 1.14: Ημερήσιες σχετικές μεταβολές του όζοντος (συγκεντρώσεις κανονικοποιημένες ως προς τη μέση εικοσιτετράωρη συγκέντρωση) στο πλοίο El Greco για τους μήνες Οκτώβριο του 1999 και Ιανουάριο, Απρίλιο και Ιούλιο του 2000, με τις αντίστοιχες από το σταθμό της Φινοκαλιάς για σύγκριση. Πηγή: Kouvarakis et al., 2002c



Σχήμα 1.15: Επίδραση της προέλευσης των αέριων μαζών στη συγκέντρωση του τροποσφαιρικό όζοντος ανά μήνα για τα έτη 1997 έως 2000., Πηγή: Kouvarakis et al., 2002c

Παράλληλα με τον σταθμό της Φινοκαλιάς, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες και σε άλλα μέρη του νησιού. Έτσι χρησιμοποιήθηκε η περιοχή της πόλης του Ηρακλείου για ένα δεύτερο σημείο συλλογής υγρής εναπόθεσης, καθώς και μέτρησης του τροποσφαιρικού όζοντος. Τα δεδομένα από τη Φινοκαλιά δίνουν κάποια πληροφορία, όπως θα φανεί και παρακάτω, αλλά τα χρόνια μελέτης είναι λίγα για να βγουν αξιόπιστα συμπεράσματα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν και τα δεδομένα από το σταθμό του Ηρακλείου. Τα δεδομένα από την πόλη του Ηρακλείου χρειαζόταν μια επεξεργασία ώστε να είναι κάτω από τις ίδιες συνθήκες με αυτά της Φινοκαλιάς για να μπορέσουν να συγκριθούν. Επειδή ο σταθμός του Ηρακλείου είναι μέσα στο κέντρο της πόλης τα επίπεδα του NO ήταν αρκετά μεγάλα ώστε να καταστρέφουν το όζον, έτσι χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα κατά τα οποία τα NOx ήταν κάτω από 3-4ppbv. Αυτό είναι το επίπεδο των NOx στο σταθμό της Φινοκαλιάς και αυτή είναι η τιμή του όζοντος που έρχεται στην πόλη του Ηρακλείου, προτού αρχίσει να καταστρέφεται από τα οξείδια του αζώτου. Στο σχήμα 1.16 δίνονται όλα τα δεδομένα που αποκτήθηκαν από το σταθμό της Φινοκαλιάς καθώς και από την περιοχή του Ηρακλείου. Παρατηρείται πολύ καλή συμφωνία μεταξύ των τιμών του Ηρακλείου και της Φινοκαλιάς με ένα συντελεστή συσχέτισης R^2=0.82 και λόγο σχεδόν ένα προς ένα ¨Φινοκαλιά/Ηράκλειο¨=1,02.



Σχήμα 1.16: Μέσες μηνιαίες τιμές του συγκεντρώσεων του τροποσφαιρικού όζοντος στη πόλη του Ηρακλείου και στο σταθμό της Φινοκαλιάς για τη περίοδο 1990-2001, γραμμική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων από τη πόλη του Ηρακλείου και το σταθμό της Φινοκαλιάς, Πηγή: Kouvarakis et al., 2000

Από τα δεδομένα του Ηρακλείου για τα τελευταία δέκα χρόνια παρατηρείται μια αύξηση των τιμών του όζοντος. Βασιζόμενοι στις μετρήσεις του Ηρακλείου διαφαίνεται μια διαχρονική αύξηση των ελαχίστων τιμών του O_3 κατά 0.7ppbv ανά έτος, για τα τελευταία δέκα χρόνια. Αντίθετα στην Φινοκαλιά φαίνεται μια μείωση στους χειμερινούς μήνες (περίπου 2 ppbv O_3 ανά έτος). Σίγουρα επιπλέον μετρήσεις χρειάζονται, ώστε να επιβεβαιωθεί ή όχι η επιφαινόμενη πτωτική τάση.

1.5 ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ, ΟΖΟΝ ΚΑΙ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Για την κατανόηση των παραπάνω φαινομένων, είναι απαραίτητη η μελέτη των χημικών και φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα. Οι αντιδράσεις που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα είναι πολλές, κυρίως λόγω του μεγάλου αριθμού ουσιών που βρίσκονται σε αυτήν. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν διερευνηθεί και τεκμηριωθεί οι πολύπλοκες φωτοχημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν μεταξύ των οργανικών και ανόργανων αερίων ρύπων και πτητικών ενώσεων, με την παραγωγή δευτερογενών ρύπων που απειλούν λόγω τοξικότητας την υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον. Οι φωτοχημικές αντιδράσεις είναι αποτέλεσμα της απορρόφησης ενέργειας (που συνδέεται με την ηλιακή ακτινοβολία) από ορισμένες ουσίες με αποτέλεσμα τη μεταβολή της ενεργειακής τους κατάστασης. Αυτό προκαλεί ηλεκτρονική υπερδιέγερση που με τη σειρά του οδηγεί στη δημιουργία δραστικών ουσιών, όπως ελεύθερες ρίζες και ιόντα, ικανές για αλυσωτές αντιδράσεις και δημιουργία δευτερογενών ρύπων. Οι βασικές φωτοχημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι αποτέλεσμα της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας (UV), δραστικών πτητικών υδρογονανθράκων (όπως οι αλδεύδες), μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και οξειδίων του αζώτου (NOx). Οι αντιδράσεις που ενεργοποιούνται από το μίγμα αυτό οδηγεί στην παραγωγή των κυριότερων δραστικών ρύπων, όπως το όζον (O_3), το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2), το νιτρικό υπεροξυλοακετύλιο [$CH_3C(O)OONO_2$, peroxyacetyl nitrate, PAN] και τα υπεροξείδια του αζώτου μέσω μηχανισμών ελευθέρων ριζών.

Η οξείδωση των ενώσεων στην ατμόσφαιρα, γίνεται κυρίως από τρία οξειδωτικά μέσα: τις ρίζες υδροξυλίου (OH) κατά την διάρκεια της ημέρας, τις νιτρικές ρίζες (NO_3) κατά την διάρκεια της νύχτας και το όζον (O_3) καθ' όλη την διάρκεια του 24ωρου. Οι ουσίες αυτές, παρ' όλη την πολύ μικρή τους συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα, είναι υπεύθυνες (μαζί με την φωτοδιάσπαση) για το μεγαλύτερο μέρος της χημικής καταστροφής των ενώσεων στην ατμόσφαιρα. Από τις ρίζες αυτές, οι φωτοχημικά παραγόμενες ρίζες υδροξυλίου, παρ' όλη την μικρή τους συγκέντρωση (περίπου το 1 προς 10^{13} του όγκου της ατμόσφαιρας στην επιφάνεια της Γης), η σημασία τους στην τροποσφαιρική χημεία είναι μεγάλη, αφού η οξείδωση σχεδόν των αέριων ενώσεων στην ατμόσφαιρα γίνεται κυρίως μέσω αυτών των ριζών. Δευτερεύοντες οξειδωτικοί παράγοντες είναι το όζον και οι νιτρικές ρίζες, οι οποίες είναι σημαντικές κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες. Η οξείδωση οργανικών πτητικών ενώσεων όπως οι υδρογονάνθρακες επιδρά στο ισοζύγιο του όζοντος, αλλά και στην παραγωγή δευτερογενών σωματιδίων. Η χημική αποικοδόμηση των ενώσεων αυτών εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των οξειδίων του αζώτου, τα οποία είναι κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης.

Ακτινοβολία με μήκος κύματος μικρότερο από 315nm, δίνει διεγερμένα άτομα οξυγόνου (O^1D) που στη συνέχεια αντιδρούν με τους υδρατμούς δίνοντας υδροξυλικές ρίζες (HO·).

$O_3 + hv \rightarrow O(^1D) + O_2$ (λ<315nm) J 1.1

$O(^1D) + H_2O \rightarrow 2HO\cdot$ (κύριος τρόπος παραγωγής ριζών OH) R 1.2

Ο χρόνος ζωής των περισσοτέρων αερίων καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις των ριζών HO και από την αντίστοιχη σταθερά αντίδρασης. Έτσι οι χρόνοι ζωής τους κυμαίνονται από μερικές ώρες (για αέρια που αντιδρούν γρήγορα όπως το ισοπρένιο ή τα NOx), σε μήνες (1 με 2) για το CO και σε χρόνια (περίπου 10) για το CH_4. Συνήθως αέρια που δεν αντιδρούν με τις ρίζες OH (όπως το N_2O), έχουν πολύ μεγάλο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να φτάνουν μέχρι και τη στρατόσφαιρα, όπου και καταστρέφονται από άλλους μηχανισμούς. Οι αντιδράσεις J1.1 και R1.2 είναι ο κύριος τρόπος παραγωγής των ριζών υδροξυλίου αλλά όχι ο μοναδικός. Παραγωγή μπορεί να γίνει και μέσω της φωτόλυσης του HNO_2 (αντίδραση R1.3) και της φωτόλυσης της HCHO (αντιδράσεις J1.4 έως R1.7). Όμως η διαδικασία αυτή δίνει περιορισμένες ποσότητες ριζών OH σε σχέση με το μηχανισμό παραγωγής τους από το όζον (αντιδράσεις J1.1 και R1.2).

Φωτόλυση HONO:

$HONO + hv \rightarrow HO\cdot + NO$ R 1.3

Φωτόλυση HCHO:

$HCHO + hv \rightarrow H\cdot + HCO\cdot$ (λ<330nm) J 1.4

$H\cdot + O_2 + M \rightarrow HO_2\cdot + M$ (όπου $M=O_2, N_2$) R 1.5

$HCO^{\cdot} + O_2 \rightarrow CO + HO_2^{\cdot}$ R 1.6

$HO_2^{\cdot} + NO \rightarrow HO^{\cdot} + NO_2$ R 1.7

Η παραγωγή του O_3 στην τροπόσφαιρα γίνεται φωτοχημικά και κυρίως μέσω της μετατροπής του NO_2 σε NO, μέσω των παρακάτω αντιδράσεων [*Crutzen, 1973*]:

$NO_2 + hv \rightarrow NO + O(^3P)$ J 1.8

$O(^3P) + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$ R 1.9

Η αντίδραση J 1.8 αποτελεί την κύρια πηγή $O(^3P)$ στην τροπόσφαιρα χωρίς κατανάλωση όζοντος, και μαζί με την αντίδραση R1.9 αποτελούν την κύρια πηγή του. Όμως το NO αντιδρά άμεσα με το όζον δίνοντας ξανά NO_2 και O_2:

$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$ R 1.10

Τα αποτελέσματα των αντιδράσεων J1.8, R1.9 και R1.10 είναι ένας μηδενικός κύκλος, όπου δεν καταλήγει ούτε σε παραγωγή ούτε σε κατανάλωση του όζοντος. Για να γίνει ο μηχανισμός παραγωγικός για το όζον, θα πρέπει η μετατροπή του NO σε NO_2 να γίνεται μέσω άλλων χημικών αντιδράσεων κατά τις οποίες το όζον δε θα καταστρέφεται. Ένας τέτοιος μηχανισμός είναι η αντίδραση του NO με ρίζες RO_2 (R1.11):

$NO + RO_2^{\cdot} \rightarrow NO_2 + RO^{\cdot}$ ($RO_2^{\cdot}$ είναι συνήθως το $HO_2^{\cdot}$) R 1.11

Παρουσία αλκυλοπερόξυ ριζών, το μονοξείδιο του αζώτου μετατρέπεται σε διοξείδιο (R1.11) χωρίς την καταστροφή του όζοντος. Η δημιουργία των $RO_2^{\cdot}$ γίνεται από τους υδρογονάνθρακες (κυρίως πτητικούς, όπως CH_4 κ.α. καθώς και από το CO) μέσω των ριζών OH σύμφωνα με τις αντιδράσεις R1.12 και R1.13:

$RH + {}^{\cdot}OH \rightarrow R^{\cdot} + H_2O$ R 1.12

$R^{\cdot} + O_2 + M \rightarrow RO_2^{\cdot} + M$ R 1.13

Με την δημιουργία των ριζών OH γίνεται το πρώτο βήμα για πολλές οξειδωτικές πορείες στην τροπόσφαιρα. Η πορεία των αντιδράσεων βέβαια είναι διαφορετική αν το περιβάλλον είναι πλούσιο ή φτωχό σε NOx. Οι εκπομπές NOx γίνονται με μορφή NO το οποίο στην συνέχεια μετατρέπεται σε NO_2. Ωστόσο για να έχουμε παραγωγή όζοντος πρέπει να έχουμε παραγωγή NO_2 και καταστροφή του NO από άλλη αντίδραση εκτός της R1.10. π.χ.

$RO_2^{\cdot} + NO \rightarrow NO_2 + RO^{\cdot}$ R 1.11

$NO_2 \rightarrow NO + O$ R 1.14

$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$ R 1.15

$RO_2^{\cdot} + O_2 + hv \rightarrow RO^{\cdot} + O_3$ J 1.16

Εκτός από την αντίδραση R1.7, οι ρίζες HO_2 μπορούν να μετατραπούν σε ρίζες OH και παρουσία όζοντος, συμμετέχοντας στην καταστροφή του [*Seinfeld and Pandis, 1998*] σύμφωνα με τις αντιδράσεις: :

$HO_2 + O_3 \rightarrow OH + 2O_2$ R 1.17

$OH + O_3 \rightarrow HO_2 + O_2$ R 1.18

Εναλλακτικά, απουσία NOx, το HO_2 μπορεί να αντιδράσει με επιπλέον HO_2 (δίνοντας υπεροξείδιο του υδρογόνου) ή με οργανικές περόξυ ρίζες (δίνοντας οργανικά υδροπεροξείδια). Η φωτόλυση του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) αποτελεί μια επιπλέον πηγή OH στην τροπόσφαιρα:

$HO_2 + HO_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$ R 1.19

$RO_2 + HO_2 \rightarrow ROOH + O_2$ R 1.20

Το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) και το μέθυλο-υδροπεροξείδιο μπορούν να δράσουν ως αποθήκες ριζών δραστικού υδρογόνου ($HOx = OH + HO_2$), ενώ η φωτόλυσή τους παράγει και πάλι ρίζες. Η αντίδραση τους με ρίζες OH οδηγεί στην παραγωγή περόξυ ριζών και αποβολή νερού:

$H_2O_2 + hv \rightarrow 2OH$ J 1.21

$H_2O_2 + OH \rightarrow HO_2 + H_2O$ R 1.22

$ROOH + hv \rightarrow RO + OH$ J 1.23

$ROOH + OH \rightarrow RO_2 + H_2O$ R 1.24

ΚΕΦ. 2 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΤΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

2.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ….

Στις αρχές της δεκαετίας του '50 έκανε δειλά την εμφάνισή του, με μορφή φιλοσοφικού στοχασμού, το ενεργειακό πρόβλημα. Παρά το γεγονός ότι το 1950 τα εκτιμώμενα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα είχαν επάρκεια 20 χρόνων, επικρατούσε κάποια νηφαλιότητα σε σχέση με την ενεργειακή τροφοδότηση. Με την εμφάνιση όμως της ενεργειακής κρίσης το 1973 άρχισε και η συνειδητοποίηση του ενεργειακού προβλήματος. Από τότε, έχει αναπτυχθεί μια πλούσια φιλολογία αναφορικά με τα αίτια δημιουργίας, τις επιπτώσεις και τις πιθανές λύσεις του. Το ενεργειακό πρόβλημα, ανεξάρτητα από τη χρονική και την τοπική ιδιαιτερότητα που εμφανίζει, προσδιορίζεται κυρίως από τις εξής συνιστώσες:

- Την ανοδική τάση των τιμών της ενέργειας, η οποία δημιουργεί αύξηση του κόστους στο σύνολο των προϊόντων και των υπηρεσιών. Αξίζει να σημειωθεί ότι από την ενεργειακή κρίση μέχρι σήμερα οι τιμές του αργού πετρελαίου έχουν τετραπλασιασθεί, γεγονός που πιστοποιεί τη μονιμότητα του ενεργειακού προβλήματος ως προς την άνοδο των τιμών.
- Την αβεβαιότητα επάρκειας και σταθερότητας της ενεργειακής τροφοδοσίας. Το φαινόμενο της αβεβαιότητας συντηρείται από τοπικές και περιφερειακές συρράξεις, οι οποίες στις περισσότερες των περιπτώσεων δημιουργούνται από παρέμβαση τρίτων προκειμένου να αυξήσουν την επιρροή τους στο διεθνές κύκλωμα του πετρελαίου.
- Την εξάντληση των ενεργειακών πόρων, έστω και αν αυτή τοποθετείται σε μακρινούς χρονικούς ορίζοντες.
- Τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτινων αποδεκτών. Συγκεκριμένα η ενέργεια επιδρά δυσμενώς στο περιβάλλον σε κάθε φάση της ενεργειακής ροής, δηλαδή από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι την τελική χρήση τους. Με συνέπεια να συμβάλλει τα μέγιστα στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου (από τις εκπομπές των αερίων καύσης) και ταυτόχρονα να μειώνει τη διαθεσιμότητα του υδάτινου δυναμικού (από την ποιοτική υποβάθμιση των αποδεκτών). Έτσι το ενεργειακό σύστημα είναι κυρίως υπεύθυνο για την κλιματική αλλαγή και για την παγκόσμια κρίση του νερού.
- Το κύκλωμα διαχείρισης της ενεργειακής ροής χαρακτηρίζεται από μεγάλες απώλειες, που ανέρχονται στο 85% της πρωτογενούς ενέργειας [*ΚΑΠΕ*]. Διαπιστώνεται ως εκ τούτου ότι σημαντική συνιστώσα του ενεργειακού συστήματος είναι η μη ορθολογική διαχείρισή του ή, διαφορετικά, η χαμηλή αποδοτικότητά του.

<u>Η Λύση του προβλήματος</u>

Σήμερα το 80% της ενέργειας προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, το 14% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (παράρτημα 1), και το 6% από πυρηνικούς σταθμούς [*ΚΑΠΕ*]. Είναι φανερό ότι για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος είναι απαραίτητο να ελαχιστοποιηθεί η χρήση ορυκτών καυσίμων.

Οποιαδήποτε όμως λύση θα πρέπει να εξασφαλίζει τις αξίες, τις παραδόσεις, την ευημερία και τις ελευθερίες του κοινωνικού συνόλου. Προς την κατεύθυνση αυτή, έχει γίνει ευρύτερα αποδεκτή η ανάγκη υλοποίησης τριών στρατηγικών με διαδοχικές (και μερικώς καλυπτόμενες) χρονικές περιόδους. Συγκεκριμένα:

- Η στρατηγική ορθολογικής διαχείρισης γνωστής και ως στρατηγική εξοικονόμησης ενέργειας.
- Η στρατηγική υποκατάστασης των συμβατικών ενεργειακών πηγών με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).
- Η στρατηγική έλευσης στο ενεργειακό σύστημα των βιοκαυσίμων ως ενεργειακού φορέα.

<u>Η Ελληνική προοπτική</u>

Αναπόφευκτα και στη χώρα μας ακολουθούνται οι πολιτικές της Ε.Ε. με καθυστέρηση και χωρίς προσαρμογή στα δεδομένα της χώρας. Έτσι, μέχρι τώρα έχουν υλοποιηθεί προγράμματα: εξοικονόμησης ενέργειας, εισαγωγής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

(ΑΠΕ), παραγωγής βιοκαυσίμων κ.ά., τα οποία δεν είχαν το απαιτούμενο μέγεθος παρέμβασης, αλλά ταυτόχρονα δεν συνοδεύονταν από ευκρινείς και ποσοτικοποιημένους στόχους, με συνέπεια τα αποτελέσματα να επιφέρουν ασήμαντες μεταβολές στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Είναι κοινότοπη αναφορά το γεγονός ότι η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό δυναμικό ΑΠΕ (ηλιακό, αιολικό, κ.α.), το οποίο άμεσα είναι απαραίτητο να αξιοποιηθεί σε συνδυασμό με πολλαπλές δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Η σταδιακή αλλαγή του ενεργειακού συστήματος από την εξοικονόμηση, τις ΑΠΕ, δεν είναι μόνο αποτελεσματική αλλά και αναγκαία για τη συνολική αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος. Έτσι, τα φαινομενικά ετερόκλητα και ασύνδετα μεταξύ τους προβλήματα όπως η ρύπανση του περιβάλλοντος, η ανεπάρκεια του νερού, οι πληθωριστικές πιέσεις, οι χαμηλοί ρυθμοί ανάπτυξης η σπατάλη φυσικών πόρων κ.ά., θα υποχωρούν ανάλογα με το βαθμό αλλαγής του ενεργειακού συστήματος.

2.2 ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΤΑΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

Σύμφωνα με τη πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την κλιματική αλλαγή, έχει συμφωνηθεί από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Υπουργών το 1998, ότι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου της Ελλάδας για το διάστημα 2008-12 επιτρέπεται να αυξηθούν κατά 25% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 [*ΥΠΑΝ, 2007*]. Ο συνολικός στόχος για την Ευρωπαϊκή Ένωση είναι μείωση κατά 8% για την αντίστοιχη περίοδο.

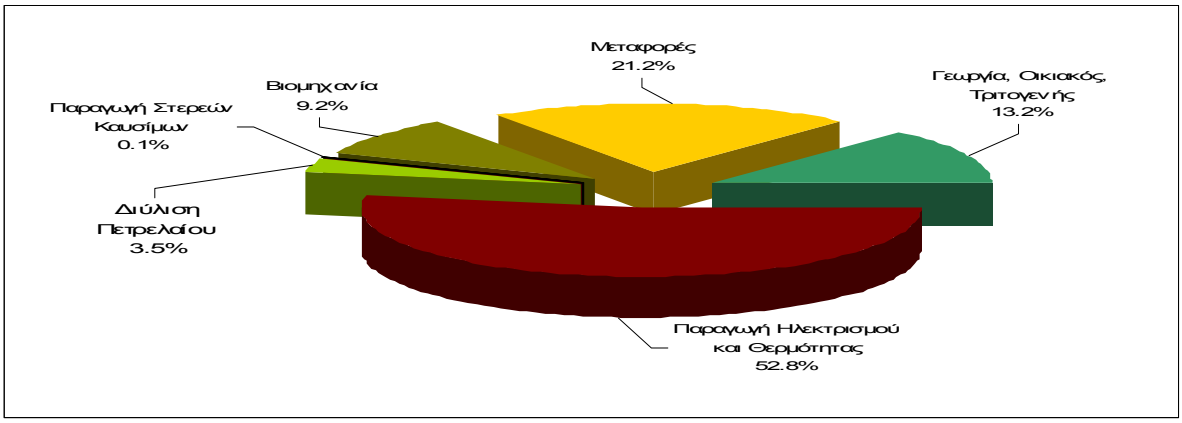
Οι εκπομπές ανά μονάδα ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας είναι από τις υψηλότερες στην Ε.Ε. Ο λόγος είναι η κυρίαρχη θέση του λιγνίτη και του πετρελαίου στο ενεργειακό μείγμα της χώρας. Οι μισές περίπου εκπομπές CO_2 στην Ελλάδα, προέρχονται από τον τομέα παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας όπου το 83% οφείλεται στη καύση λιγνίτη [*ΥΠΑΝ, 2007*]. Έτσι λοιπόν το κύριο σημείο της πολιτικής της χώρας για τη μείωση των εκπομπών είναι η διαφοροποίηση του σημερινού ενεργειακού μείγματος με την εισαγωγή καυσίμων με χαμηλότερες εκπομπές (φυσικό αέριο) και τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας και της εξοικονόμησης ενέργειας. Ειδικά για τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, προβλέπονται η βελτίωση της απόδοσης των υπαρχόντων λιγνιτικών σταθμών, και η διείσδυση του φυσικού αερίου και των ΑΠΕ. Στον τομέα της κατανάλωσης ενέργειας προβλέπονται παρεμβάσεις στον τομέα των κτιρίων (κανονισμοί, χρήση παθητικών και ενεργητικών συστημάτων, πιστοποίηση συσκευών και εισαγωγή φυσικού αερίου), στον τομέα της βιομηχανίας (χρήση φυσικού αερίου και συμπαραγωγής) και στις μεταφορές κυρίως με βελτίωση των υποδομών για τις δημόσιες μεταφορές και με την εισαγωγή των βιοκαυσίμων.

Το έτος 2004 οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην Ελλάδα αποτέλεσαν το 79.3% του συνόλου των εκπομπών, ενώ το CH_4 αντιστοιχεί στο 6.4% και τα NOx στο 9.9%. Τα υπόλοιπα αέρια (F-gases) συνεισέφεραν το υπόλοιπο 4.4% [*ΥΠΑΝ, 2007*].

Οι δραστηριότητες του ενεργειακού τομέα είναι η κυριότερη πηγή των αερίων του θερμοκηπίου (ΑΘ) και αντιστοιχούν στο 82% των εκπομπών του 2004. Οι εκπομπές ΑΘ του ενεργειακού τομέα περιλαμβάνουν 94.4% CO_2 από την καύση ορυκτών καυσίμων και 1.9% CH_4 από την παραγωγή, την αποθήκευση, την διανομή και την καύση ορυκτών καυσίμων. Τέλος το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) αποτελεί το 3.7% των εκπομπών ΑΘ του ενεργειακού τομέα [*ΥΠΑΝ, 2007*].

Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η συνεισφορά στις εκπομπές CO_2 διαφόρων δραστηριοτήτων, που συνδέονται με την καύση ορυκτών καυσίμων. Έτσι το 52.8% προέρχεται από την ηλεκτροπαραγωγή, το 21.2% από τις μεταφορές, το 9.2% από τη βιομηχανία, το 13.2% από τα κτίρια και τη γεωργία και το 3.5% από τα διυλιστήρια [*ΥΠΑΝ, 2007*]. Οι περισσότερες εκπομπές από την ηλεκτροπαραγωγή προέρχονται από την καύση του λιγνίτη. Ο τομέας μεταφορών είναι επίσης μια μεγάλη συνεχώς αυξανόμενη πηγή CO_2. Η καύση βενζίνης, πετρελαίου και LPG στις οδικές μεταφορές είναι οι βασικές αιτίες εκπομπών CO_2, ενώ μικρότερες ποσότητες οφείλονται στη χρήση πετρελαίου και μαζούτ για τις ακτοπλοϊκές συγκοινωνίες, στη χρήση πετρελαίου στις σιδηροδρομικές συγκοινωνίες και τέλος στην χρήση κηροζίνης για τις εγχώριες αεροπορικές συγκοινωνίες. Οι εκπομπές στη βιομηχανία προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων για να καλυφθεί η ζήτηση θερμότητας και ατμού. Οι εκπομπές από

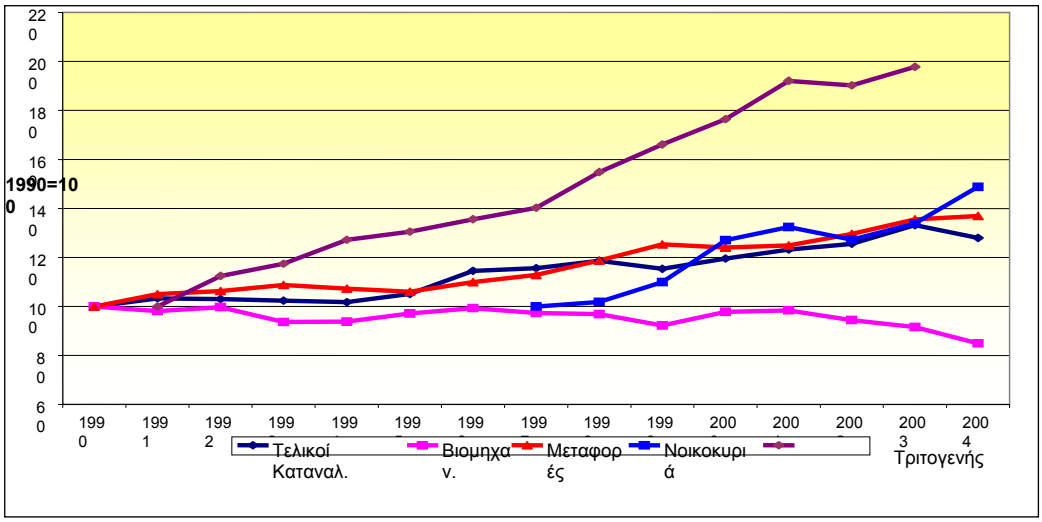
βιομηχανικές διεργασίες αφορούν σε μη ενεργειακές βιομηχανικές χρήσεις και ιδιαίτερα δραστηριότητες που συμπεριλαμβάνουν χημικές διεργασίες. Οι εκπομπές CO_2 από βιομηχανικές διεργασίες οφείλονται κυρίως στην παραγωγή τσιμέντου και ασβέστη.



Σχήμα 2.1: Συνεισφορά στις εκπομπές CO_2 δραστηριοτήτων που συνδέονται με τη χρήση (καύση) ορυκτών καυσίμων για το 2004, Πηγή: ENERDATA (http://www.enerdata.fr/enerdatauk/)

Ο Αγροτικός Τομέας αποτελεί την κύρια πηγή των εκπομπών N_2O στην Ελλάδα (62% περίπου των συνολικών εκπομπών N_2O το 2004). Το N_2O παράγεται επίσης από την αντίδραση του αζώτου με το οξυγόνο κατά την καύση ορυκτών καυσίμων (30% των εκπομπών N_2O το 2004) [*ΥΠΑΝ, 2007*].

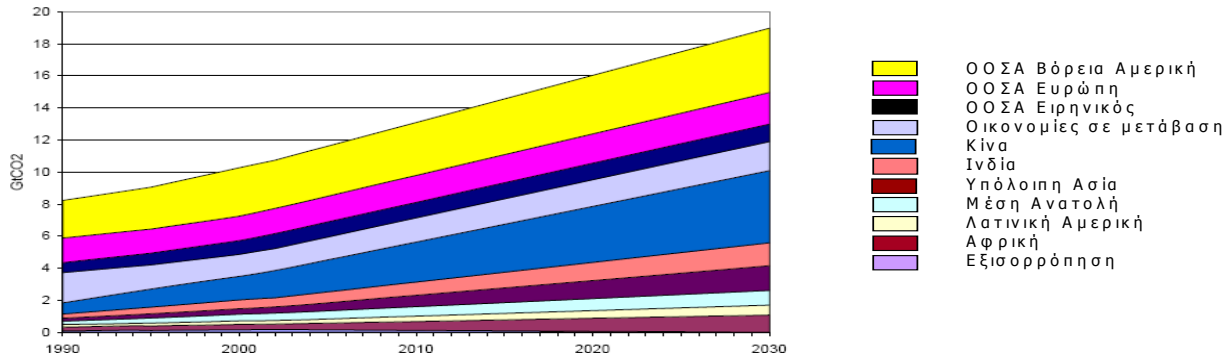
Το έτος 2004 τα επίπεδα εκπομπών των 6 αερίων ήταν κατά 25% μεγαλύτερα από εκείνα της χρονιάς βάσης (1990 για CO_2, CH_4, N_2O – 1995 για τα υπόλοιπα αέρια). Ειδικότερα οι εκπομπές CO_2 από την ενεργειακή βιομηχανία αυξήθηκαν κατά 33% μεταξύ του 1990 και του 2004 ενώ οι εκπομπές από τις μεταφορές αυξήθηκαν κατά 41% [*ΥΠΑΝ, 2007*]. Σύμφωνα με τις εκθέσεις που έχει υποβάλλει το ΥΠΕΧΩΔΕ στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Περιβάλλοντος, προκειμένου να συγκρατηθούν οι εκπομπές αερίων ρύπων στα επίπεδα του + 25% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, οι εκπομπές CO_2 equivalent από την ενέργεια και τις βιομηχανικές διεργασίες αρκεί να συγκρατηθούν μέχρι το επίπεδο του + 35 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 όπου όμως προβλέπεται ότι η ΔΕΗ θα πρέπει να συμμετέχει σε carbon funds (Σενάριο με Πρόσθετα Μέτρα).



Σχήμα 2.2: **Σχετικές εκπομπές CO_2 αν με αναφορά το 1990 όπου οι εκπομπές λαμβάνονται ίσες με 100 ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας, *Πηγή*: ENERDATA**

Σύμφωνα με την πλειοψηφία της επιστημονικής κοινότητας, η αλλαγή στις κλιματικές συνθήκες οφείλεται στις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων που εκπέμπονται κατά την καύση των υδρογονανθράκων. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, όπως η προκαταρκτική έκθεση του IPCC [*Intergovernmental Panel on Climate Change]* και η έκθεση Stern, αν δεν

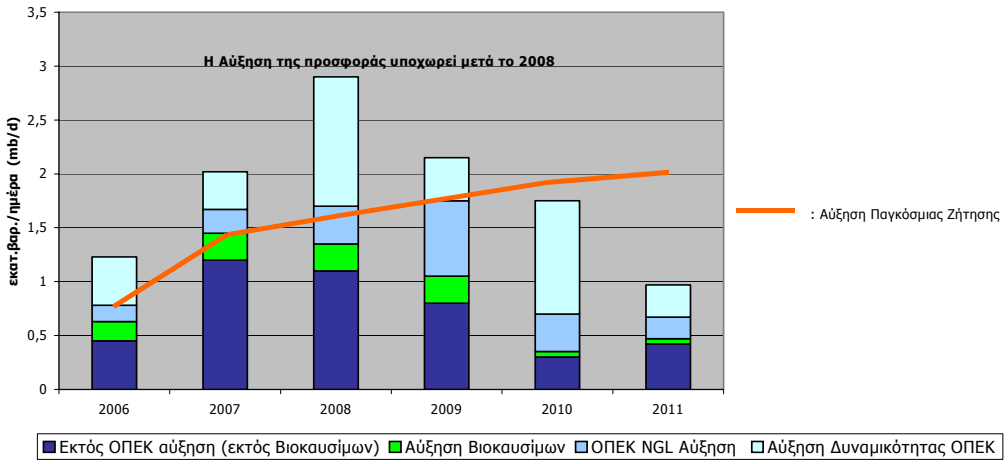
ληφθούν μέτρα ελαχιστοποίησης των ανθρωπογενών εκπομπών CO_2 στην ατμόσφαιρα θα υπάρξουν δυσμενείς επιπτώσεις στην παγκόσμια οικονομία. Σύμφωνα με τις ίδιες μελέτες, το κόστος των μέτρων πρόληψης είναι χαμηλότερο από το μισό του οικονομικού βάρους που θα επιφέρουν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.
Δεδομένου ότι το 60% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προέρχονται από δραστηριότητες που σχετίζονται με την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας, είναι φανερό ότι η εξέλιξη του ενεργειακού τομέα θα επηρεάσει πολύ σοβαρά το ζήτημα του περιβάλλοντος. Εξάλλου, οι πρόσφατες γεωπολιτικές εξελίξεις που συνοδεύτηκαν από αυξήσεις των τιμών των καυσίμων, έφεραν το θέμα της ασφάλειας εφοδιασμού ενεργειακών προϊόντων σε προσιτές τιμές, σε σημαντική θέση της διεθνούς πολιτικής ατζέντας.



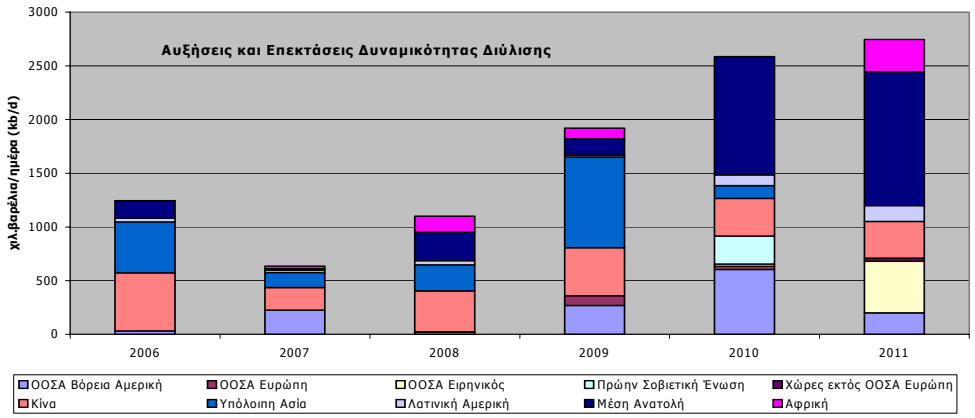
Σχήμα 2.3.: Αναμενόμενη εξέλιξη εκπομπών CO_2 από τον τομέα ηλεκτροπαραγωγής (Gt CO_2/yr), Πηγή: WRI 2006

Όσον αφορά στο πετρέλαιο, έχει γίνει αποδεκτό ότι τα πετρελαϊκά αποθέματα μπορούν να καλύψουν την ζήτηση για μέχρι το τέλος του παρόντος αιώνα, εφόσον πραγματοποιηθούν έγκαιρα επενδύσεις σε νέα παραγωγική ικανότητα που θα ενταχθεί στην παραγωγή στις αρχές της επόμενης δεκαετίας. Τα παραπάνω πάντως τίποτε δεν προδικάζουν για την εξέλιξη της τιμής του πετρελαίου δεδομένου ότι αυτή επηρεάζεται από πολλούς άλλους παράγοντες εκτός της προσφοράς και ζήτησης. Αξιοσημείωτα στοιχεία του παγκόσμιου ισοζυγίου πετρελαίου για την ερχόμενη πενταετία είναι η εκτίμηση ότι η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου θα ξεπερνά οριακά τη ζήτηση καθώς και η προβλεπόμενη σταθερή αύξηση της παραγωγικής δυνατότητας του OPEC. Σημαντικά αυξητική επίσης στην ίδια περίοδο προβλέπεται ότι θα είναι η συνολική ικανότητα διύλισης κυρίως λόγω νέων έργων στη Μέση Ανατολή και την Ασία [*Purvin & Gertz Inc, 2007*]. Παρόλη την αύξηση της ικανότητας διύλισης και την επίσης αναμενόμενη ανάπτυξη των βιοκαυσίμων, εκτιμάται ότι θα συνεχίσει να εμφανίζεται στην αγορά μικρή έλλειψη στο ντίζελ και στο αεροπορικό καύσιμο.

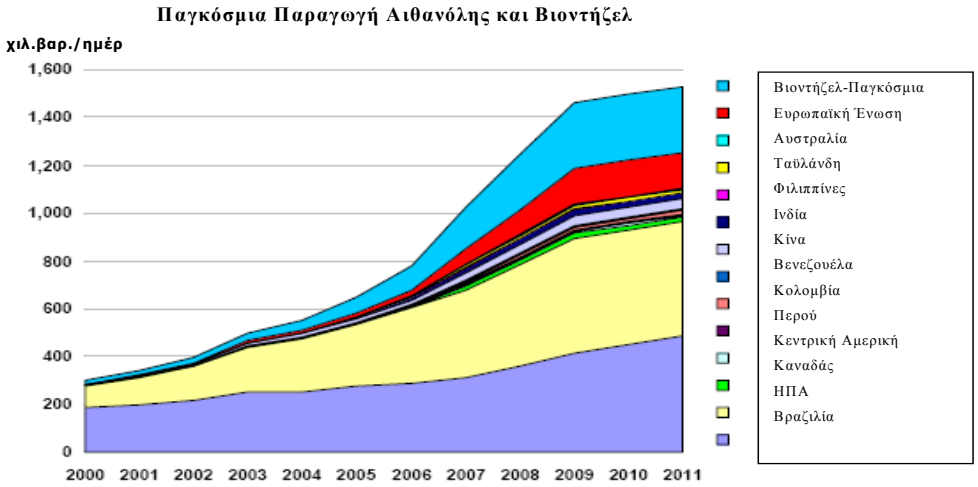
Η προώθηση της χρήσης των βιοκαυσίμων συμπεριλαμβανομένης της αιθανόλης και του βιοντήζελ, συνεχίζει να βρίσκεται ψηλά στην πολιτική ατζέντα, αν και η διείσδυσή τους στην αγορά εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό όχι μόνον από τις τιμές του πετρελαίου, της ζάχαρης και του αραβοσίτου, αλλά και από την συγκεκριμένη πολιτική επιδοτήσεων που ακολουθούν οι χώρες. Αν και όλα αυτά κάνουν τις αβεβαιότητες ακόμη μεγαλύτερες από αυτές που διακρίνουν τα συμβατικά καύσιμα, η αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής βιοκαυσίμων αναμένεται να είναι ραγδαία. Οι ΗΠΑ παραμένουν από τις χώρες κλειδιά για την ανάπτυξη των βιοκαυσίμων ξεπερνώντας και τη Βραζιλία που ήταν ο μεγαλύτερος παραγωγός αιθανόλης. Διυλιστήρια για την παραγωγή αιθανόλης και σε μικρότερο βαθμό βιοντήζελ υπάρχουν σε λειτουργία ή υπό κατασκευή σε διάφορες χώρες. Οι πρόσφατες τάσεις στη βιομηχανία βιοκαυσίμων πιθανότατα να συνεχιστούν δεδομένων των σημαντικών οικονομικών κινήτρων που δίνουν οι κυβερνήσεις.



Σχήμα 2.4: Εξέλιξη της αύξησης προσφοράς πετρελαίου και βιοκαυσίμων, 2006-2011, η αύξηση της προσφοράς υποχωρεί μετά το 2008, Πηγή: IEA, Medium Term Oil Market Report, (Feb2007)



Σχήμα 2.5: Αναμενόμενη αύξηση της δυναμικότητας διύλισης 2006-2011, Πηγή: IEA, 2007



Σχήμα 2.6: Παγκόσμια παραγωγή Βιοκαυσίμων, 2000-2011,
Πηγή: IEA, Medium Term Oil Market Report, 2007

2.3 ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Οι μεταφορές είναι αναπόσπαστο κομμάτι στις περισσότερες δραστηριότητες της κοινωνίας μας. Ως εκ τούτου, αποτελούν αντικείμενο πολιτικής σε όλα τα επίπεδα, από το παγκόσμιο (δηλ. τα Ηνωμένα Έθνη), έως το επίπεδο των δημοτικών συμβουλίων. Βασικής σημασίας είναι η επίλυση του διλήμματος μεταξύ των πολιτικών που είναι προσανατολισμένες προς την ανάπτυξη και έχουν την τάση να δημιουργούν περισσότερες μεταφορές και των περιβαλλοντικών πολιτικών που απαιτούν τη μείωση των εκπομπών. Όσο οι τεχνολογικές βελτιώσεις που μειώνουν τις εκπομπές υπερκαλύπτονται από τον αυξανόμενο όγκο των μεταφορών, η μείωση αυτή είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Οι μεταφορές ευθύνονται για το 21 % του συνόλου των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που συμβάλλουν στη θέρμανση της υδρογείου στην ΕΕ-15 (εξαιρουμένων των διεθνών αεροπορικών μεταφορών και των θαλάσσιων μεταφορών) και το ποσοστό αυτό αυξάνει [*οδηγία 2003/30/ΕC*].

Ο τομέας των μεταφορών αντιστοιχεί σχεδόν στο ένα 1/3 της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στις χώρες μέλη του Ευρωπαικού Οργανισμού Περιβάλλοντος και σε περισσότερο από το 1/5 των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [*ΕΟΠ*]. Επίσης, οι μεταφορές είναι υπεύθυνες για ένα μεγάλο μέρος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αλλά και της ηχορύπανσης στα αστικά κέντρα και, επιπλέον, έχουν σοβαρό αντίκτυπο στο τοπίο, καθώς διαιρούν τις φυσικές περιοχές σε μικρά τμήματα με σημαντικές συνέπειες για την πανίδα και τη χλωρίδα. Την ίδια στιγμή, οι μεταφορές αποτελούν απαραίτητο στοιχείο των σύγχρονων κοινωνιών: διασφαλίζουν την πρόσβαση στην εργασία, στα αγαθά και τις υπηρεσίες, στην εκπαίδευση, τη ψυχαγωγία και τις τουριστικές δραστηριότητες. Τα σημερινά νοικοκυριά, όπου οι εργαζόμενοι είναι δύο, είναι ακόμη περισσότερο εξαρτημένα από τον τομέα των μεταφορών, καθώς είναι όλο και πιο συνηθισμένο τουλάχιστον ένας να πρέπει να διανύει σημαντική απόσταση. Τούτο εν μέρει είναι αποτέλεσμα της αυξανόμενης εξειδίκευσης της εργασίας. Επιπλέον, οι δραστηριότητες όπως τα ψώνια, εξαρτώνται όλο και περισσότερο από τα μέσα μεταφοράς, λόγω της τάσης για συγκέντρωση των καταστημάτων σε λιγότερες περιοχές, μακριά από τις οικιστικές περιοχές, οι οποίες συχνά δεν φιλοξενούν καθόλου εγκαταστάσεις καταστημάτων.

Ως εκ τούτου, η κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις μεταφορές αυξάνονται. Το φαινόμενο αυτό επιβαρύνεται ακόμη περισσότερο από μια μετατόπιση από περιβαλλοντικά αποδοτικότερα μέσα, όπως το τρένο ή το λεωφορείο, προς το αυτοκίνητο και το αεροπλάνο. Ιδιαίτερη ανησυχία προκαλεί ο τομέας της αεροπορίας, που είναι ο ταχύτερα αναπτυσσόμενος τομέας των μεταφορών. Η ανάπτυξη αυτή οφείλεται εν μέρει στην αύξηση του πλούτου και στις χαμηλές τιμές (στον τομέα της αεροπορίας δεν καταβάλλεται ειδικός φόρος καυσίμων), που συμβάλλουν στην έντονη ανάπτυξη των τουριστικών μετακινήσεων. Σήμερα, εάν συμπεριληφθούν στις στατιστικές και οι διεθνείς αεροπορικές μεταφορές, στον τομέα της αεροπορίας αντιστοιχεί πάνω από το 10 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [*ΕΟΠ*].

Στις οδικές μεταφορές αντιστοιχεί το 93 % του συνόλου των εκπομπών που προέρχονται από τον κλάδο των μεταφορών[*ΕΟΠ*]. Από όλα τα οχήματα, τα αυτοκίνητα (τα οχήματα δρόμου) αποτελούν τη δεύτερη, μετά την βιομηχανία, σημαντικότερη πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Εκτός από τις εκπομπές που προκύπτουν από την καύση της βενζίνης θα πρέπει να συνυπολογιστούν και οι εκπομπές που προκύπτουν για την παραγωγή της καύσιμης ύλης - εφόσον δεν πρόκειται για βιοκαύσιμα. Κατά την καύση επίσης των υγρών καυσίμων στους κινητήρες των αυτοκινήτων, παράγονται οι πρωτογενείς ρυπαντές, αφού εκπέμπονται απευθείας με τα καυσαέρια του αυτοκινήτου. Μετά την εκπομπή τους, όμως, στην ατμόσφαιρα και υπό την επίδραση, κατά κύριο λόγο, της υπεριώδους (UV) ακτινοβολίας του ηλιακού φωτός, υφίστανται μία σειρά από πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις, σχηματίζοντας δευτερογενείς ρυπαντές (βλέπε παρ. 1.5). Το σύνολο των ρυπαντών (πρωτογενείς και δευτερογενείς) δημιουργούν επιπτώσεις, τις οποίες μπορούμε να κατατάξουμε σε τέσσερις κατηγορίες:

Α. Επιπτώσεις μικρής κλίμακας (χρονικές και γεωγραφικές),
Β. Επιπτώσεις μεγάλης κλίμακας,
Γ. Άμεσες επιπτώσεις, και
Δ. Έμμεσες επιπτώσεις.

Ο τομέας των μεταφορών είναι υπεύθυνος για το 40% των εκπομπών NOx, για το 56%CO, 31%VOC και 26%CO_2, ενώ αντιστοιχεί περίπου το 30% της ενέργειας που καταναλώνεται στην Ευρώπη [*users.att.sch.gr/kontaxis/ergasia/katharaauto.doc* –]. Αντίθετα με την ηλεκτροπαραγωγή όπου οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως απομακρυσμένες από τις πόλεις, οι ρύποι από τις μεταφορές παράγονται στο σημείο χρήσης των οχημάτων, επιβαρύνοντας συνεπώς τον αέρα των πόλεων όπου και η μεγαλύτερη συγκέντρωση οχημάτων.
Παρ' όλα αυτά το ένα τρίτο των κρατών-μελών κατόρθωσαν να περιορίσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κυρίως λόγω της βελτίωσης της τεχνολογίας. Εκτιμάται, ωστόσο, ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις μετακινήσεις που πραγματοποιούνται οδικώς θα αυξηθούν κατά 10,3% ανάμεσα στο 2005 και το 2015. Σε όλα αυτά τα νούμερα δεν έχουν υπολογιστεί οι εκπομπές από τις εναέριες και θαλάσσιες μετακινήσεις που όπως φαίνεται συμβάλλουν στις συνολικές εκπομπές. Εκτός όμως από τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου οι οδικές μετακινήσεις, ιδιαίτερα όταν συνοδεύονται από κυκλοφοριακή συμφόρηση, όπως συμβαίνει πολύ συχνά, ρυπαίνουν και τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας με ανυπολόγιστες συνέπειες για την υγεία των πολιτών. Εκτιμάται ότι οι οδικές μετακινήσεις ευθύνονται για τον πρόωρο θάνατο 370.000 ανθρώπων το χρόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς προκαλούν μόλυνση της ατμόσφαιρας (http://www.ecocity.gr/main.php?cat=67&art=242). Αυτοί οι θάνατοι οφείλονται κυρίως στα μικροσωματίδια και το όζον που εκπέμπονται εξαιτίας της αυτοκίνησης. Μεταξύ του 1990 και του 2003, οι επιβατικές μεταφορές στις χώρες του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος αυξήθηκαν κατά 20 % [*ΕΟΠ*]. Όμως η περιβαλλοντική επιβάρυνση εξαιτίας των μαζικών μεταφορών εξαρτάται πολύ από την τεχνολογία αλλά και τη χρήση της εναλλακτικών καυσίμων.

Συνεπώς, προκειμένου να εκπληρωθούν οι στόχοι αειφορίας και ειδικότερα η μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που έχει συμφωνηθεί στα πλαίσια του Πρωτοκόλλου του Κυότο, έχει ουσιώδη σημασία η εξεύρεση τρόπων μείωσης των εκπομπών από μεταφορές. Αυτό δεν αποτελεί τη μοναδική πρόκληση. Σχεδόν το σύνολο της ενέργειας που χρησιμοποιείται στον τομέα μεταφορών στην Ε.Ε. προέρχεται από το πετρέλαιο. Τα γνωστά πετρελαϊκά αποθέματα είναι περιορισμένα σε ποσότητα και συγκεντρώνονται μόνο σε λίγες περιφέρειες του κόσμου. Υπάρχουν νέα αποθέματα των οποίων όμως στις περισσότερες φορές η εκμετάλλευση θα γίνεται δυσχερέστερη. Η διασφάλιση ενεργειακού εφοδιασμού για το μέλλον αποτελεί συνεπώς όχι απλώς θέμα μείωσης της εξάρτησης από εισαγωγές αλλά απαιτεί ευρεία σειρά πολιτικών πρωτοβουλιών, περιλαμβανόμενης της διαφοροποίησης πηγών και τεχνολογιών.

Ήδη στην Ε.Ε. έχουν αναληφθεί σειρά ενεργειών. Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων αναπτύσσουν νέα μοντέλα τα οποία είναι καθαρότερα και με μεγαλύτερη απόδοση καυσίμου ενώ επίσης εργάζονται με αντικείμενο νέες ιδέες. Επίσης έχουν καταβληθεί προσπάθειες για τη βελτίωση των δημόσιων μεταφορών και την ενθάρρυνση της χρησιμοποίησης περιβαλλοντικώς φιλικών τρόπων μεταφοράς στις περιπτώσεις που αυτό είναι δυνατό. Ένας από τους λόγους για τον οποίο τα προβλήματα της ποιότητας της ατμόσφαιρας εμμένουν, παρόλο που τα οχήματα λειτουργούν καθαρότερα, είναι ότι οι εκπομπές κατά τις πραγματικές συνθήκες οδήγησης τείνουν να είναι υψηλότερες από τις εκπομπές υπό συνθήκες δοκιμών. Προκειμένου να επιτευχθούν μειώσεις στις ποσότητες ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά, απαιτείται η καταβολή περαιτέρω προσπαθειών. Παρά όμως την ανάπτυξη του τομέα των μεταφορών, οι σχετικές εκπομπές επιβλαβών ουσιών, όπως το CO, οι άκαυστοι HC, τα σωματίδια και τα NOx εμφανίζουν μείωση, καθώς εφαρμόζονται αυστηρότερα πρότυπα για τα αυτοκίνητα και τα φορτηγά. Παρόλα αυτά, στις συγκεντρώσεις σωματιδίων και O_3 δεν έχει σημειωθεί κάποια βελτίωση από το 1997. Τα λεπτά σωματίδια και το τροποσφαιρικό όζον αναγνωρίζονται πλέον ευρέως ως οι κύριες απειλές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για την ανθρώπινη υγεία και ο τομέας των μεταφορών αποτελεί βασικό παράγοντα που συντελεί σε αυτή την κατεύθυνση.

2.3.1 Ο τομέας των Μεταφορών στην Ελλάδα

Ο Τομέας Μεταφορών αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μερίδιο της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα που ανήλθε σε 8 Mtoe το 2005. Η κατανάλωση ενέργειας στις

μεταφορές αυξήθηκε κατά 28% από τα επίπεδα του 1990 το μερίδιο όμως των μεταφορών στην τελική κατανάλωση μειώθηκε κατά 1.9% λόγω της αύξησης του μεριδίου του οικιακού και του τριτογενούς τομέα. Το 2004 ο δείκτης εξοικονόμησης ενέργειας [*ODEX, 2004, ΥΠΑΝ, 2007*], παρουσιάζει μείωση κατά 27% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Στις οδικές μεταφορές παρουσιάσθηκε βελτίωση κατά 19% η οποία οφείλεται κυρίως στη διείσδυση πολλών νέων ΙΧ αυτοκινήτων. Οι αεροπορικές, θαλάσιες και σιδηροδρομικές μεταφορές βελτίωσαν τον δείκτη εξοικονόμησης κατά 52%, 19% και 22% αντίστοιχα λόγω της χρήσης εκσυγχρονισμένων μέσων [*ΥΠΑΝ, 2007*].
Οι λύσεις στα προβλήματα αυτά, μπορούν να προκύψουν από:

- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των οχημάτων (κινητήρες, βοηθητικά συστήματα, αεροδυναμική σχεδίαση, πρόσφυση των ελαστικών στο οδόστρωμα),
- Θεσμικά μέτρα, κανόνες κυκλοφορίας, έλεγχοι του επιπέδου συντήρησης των οχημάτων κλπ.
- Αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με εναλλακτικά καύσιμα ή με ηλεκτρική ενέργεια.

2.3.2 Λύση στον τομέα των μεταφορών

Η ανάγκη για τη χρήση εναλλακτικών και ανανεώσιμων καυσίμων έναντι του πετρελαίου και των προϊόντων του έχει αρχίσει να παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στον ανεπτυγμένο κόσμο, τόσο για περιβαλλοντικούς όσο και για οικονομικούς και διαχειριστικούς λόγους. Έτσι δημιουργήθηκε κλίμα αναζήτησης εναλλακτικών καυσίμων, έχοντας ως κύρια χαρακτηριστικά να είναι περιβαλλοντικά φιλικά και άμεσα εκμεταλλεύσιμα, με προοπτική να αντικαταστήσουν, έστω και εν μέρει την βενζίνη και το πετρέλαιο. Απάντηση σε αυτήν την αναζήτηση, είχε δοθεί ήδη από το 1913 από τον ίδιο τον Rudolf Diesel, ο οποίος χρησιμοποιούσε φυτικά έλαια ως καύσιμα για τις μηχανές του [*Diesel, 1913*]. Στις μέρες μας, η παγκόσμια κοινωνία έχοντας υποστεί κορεσμό από τα ορυκτά καύσιμα και τη ρύπανση που προκαλούν, ζητά την εναλλακτική λύση από τα βιοκαύσιμα. Εναλλακτικά καύσιμα όπως το βιοντήζελ και η βιοαιθανόλη, που έχουν παραχθεί από βιομάζα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ελαφρά τροποποιημένους κινητήρες εσωτερικής καύσης μειώνοντας την εκπομπή ρύπων διατηρώντας όμως την αυτονομία. Αντίστοιχα αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν με χρήση υδρογόνου το οποίο θα έχει παραχθεί από ΑΠΕ μέσω ηλεκτρόλυσης ή αναμόρφωσης βιοκαύσιμων.
Οι λόγοι που λαμβάνονται τα μέτρα αυτά είναι κυρίως περιβαλλοντικοί και γεωπολιτικοί και δευτερευόντως οικονομικοί και κοινωνικοί:

- Οι περιβαλλοντικοί λόγοι αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών από τον κλάδο των μεταφορών και στη συμβολή επίτευξης των εθνικών στόχων (υποχρεώσεων) του Πρωτοκόλλου του Κυότο και στην αναμενόμενη επιβολή περιορισμών στις εκπομπές ρύπων με τα καυσαέρια των κινητήρων των αυτοκινήτων.
- Με τους γεωπολιτικούς λόγους επιδιώκεται η εξασφάλιση ασφάλειας εφοδιασμού καυσίμων και η μείωση των εισαγωγών και της εξάρτησης της Ευρώπης και των Κρατών Μελών της από τις πετρελαιοπαραγωγές χώρες.
- Οι οικονομικοί λόγοι σχετίζονται με τη δημιουργία νέων πεδίων επιχειρηματικής και εμπορικής δραστηριότητας σε έναν τομέα με μεγάλο κύκλο εργασιών, τον τομέα των καυσίμων, και την ανάπτυξή τους σε χώρες και περιοχές που μέχρι σήμερα δεν σχετίζονται με την εξόρυξη πετρελαίου.
- Τέλος, οι κοινωνικοί λόγοι αποβλέπουν στη δυνατότητα χάραξης νέας αγροτικής πολιτικής και εξασφάλισης νέων αγροτικών δραστηριοτήτων σε εθνικό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο, δημιουργώντας θέσεις εργασίας και αξιοποιώντας αγροτικές εκτάσεις με περισσότερο αποδοτικό τρόπο.

Όλοι οι λόγοι αυτοί ήταν γνωστοί από χρόνια. Δύο παράγοντες, όμως, ώθησαν στη λήψη μέτρων για την αύξηση της παραγωγής και της χρήσης των βιοκαυσίμων:

- η συνειδητοποίηση της σοβαρότητας των περιβαλλοντικών προβλημάτων και της διαφαινόμενης κλιματικής αλλαγής, και
- η μεγάλη αύξηση των τιμών του πετρελαίου που κάνει τις εναλλακτικές λύσεις βιώσιμες οικονομικά και το κόστος των νέων καυσίμων ανταγωνιστικό στα παράγωγα του πετρελαίου.

2.4 ΣΧΕΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Κατευθυντήριο έγγραφο είναι η κοινή πολιτική μεταφορών της Ε.Ε. (2001, αναθεωρημένο το 2006). Εκεί τίθενται οι προτεραιότητες για δράση σε ζητήματα μεταφορών, ενσωματώνοντας και τις περιβαλλοντικές πτυχές του ζητήματος. Επιπλέον, οι περιβαλλοντικές πολιτικές και η νομοθεσία ασχολούνται με την παρακολούθηση, τη μείωση των εκπομπών και τη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας (π.χ. οδηγία για τον περιβαλλοντικό θόρυβο, οδηγία για τα εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών, οδηγία για καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, ανώτατα όρια εκπομπής για οχήματα και ποιότητα καυσίμων). Η ανάγκη για τη χρήση εναλλακτικών και ανανεώσιμων καυσίμων έναντι του πετρελαίου και των προϊόντων του έχει αρχίσει να παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στον ανεπτυγμένο κόσμο, τόσο για περιβαλλοντικούς όσο και για οικονομικούς και διαχειριστικούς λόγους.

Ωστόσο, κατά την εκτίμηση του συνολικού περιβαλλοντικού οφέλους, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο αντίκτυπος στην ανάπτυξη της ανανεώσιμης ενέργειας και στην ένταση της χρήσης των γεωργικών γαιών. Καύσιμα που παράγονται από καλλιέργειες και άλλα οργανικά υλικά —τα βιοκαύσιμα— παρέχουν πολλά πλεονεκτήματα για τον κλάδο των μεταφορών. Τα καύσιμα αυτά μπορούν να συμβάλουν στη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα στις εκπομπές των μέσων μεταφοράς για την εκπλήρωση των δεσμεύσεων που ανέλαβε η Ε.Ε. στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου του Κυότο. Τα βιοκαύσιμα μειώνουν την εξάρτηση από το πετρέλαιο (σήμερα 98 %) στον κλάδο των μεταφορών και με αυτό τον τρόπο μπορούν επίσης να συμβάλουν στη διαφοροποίηση και βελτίωση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού, καθώς και να παράσχουν εναλλακτικές πηγές εισοδήματος στις αγροτικές περιοχές της Ε.Ε. Στα πλαίσια πολιτικής για την προώθηση των καθαρότερων καυσίμων και οχημάτων στις οδικές μεταφορές, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ήδη τον στόχο της υποκατάστασης του 20% των συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές με εναλλακτικά καύσιμα μέχρι το 2020. Για τον σκοπό αυτό η Ε.Ε έχει ήδη προβεί σε έκδοση Οδηγιών, αποφάσεων και προτάσεις οδηγιών για την προώθηση της αγοράς των εναλλακτικών καυσίμων στα κράτη-μέλη:

ΝΟΜΟΣ ΥΠ'ΑΡΙΘ.**3423**ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ της 13 Δεκεμβρίου 2005 σχετικά με την Εισαγωγή στην Ελληνική Αγορά των Βιοκαυσίμων και των Άλλων Ανανεώσιμων Καυσίμων.

ΟΔΗΓΙΑ**2003/30/ΕΚ**ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 8ης Μαΐου 2003 σχετικά με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές.

ΟΔΗΓΙΑ**2003/96/ΕΚ**ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 27ης Οκτωβρίου 2003 σχετικά με την αναδιάρθρωση του κοινοτικού πλαισίου φορολογίας των ενεργειακών προϊόντων και της ηλεκτρικής ενέργειας.

ΟΔΗΓΙΑ**2001/77/ΕΚ**ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 27ης Σεπτεμβρίου 2001 για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

ΟΔΗΓΙΑ **2006/848/ΕΚ** ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 10 Ιανουαρίου 2007 για την Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Στρατηγική.

Σχετικά με τις συσκευασίες προιόντων και την διαχείριση αποβλήτων έχουν εκδοθεί:
Ν. 2939/2001 (**ΦΕΚ Α 179/6.8.01**) «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις».

ΚΥΑ 50910/2727/2003 (**ΦΕΚ Β 1909/22.12.2003**) «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης».

Οι οδηγίες αυτές παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο παράρτημα 2.

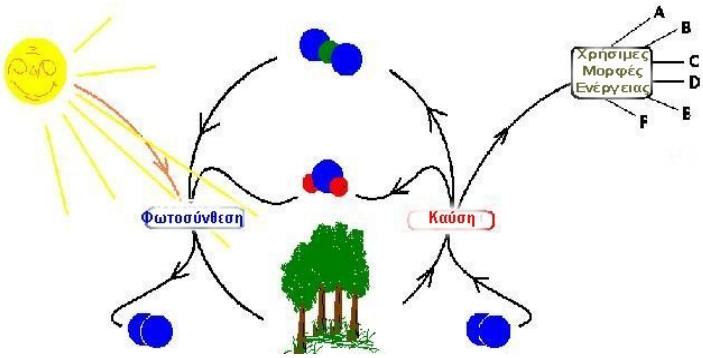
2.5 ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΑΙ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

2.5.1 Βιομάζα

Μια από τις ήπιες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον είναι και η **βιομάζα**, το κύριο χαρακτηριστικό της οποίας είναι ότι πρόκειται για ένα καθαρό φυσικό προϊόν που παράγεται με τη γνωστή διαδικασία της ***φωτοσύνθεσης***.

Βιομάζα είναι το σύνολο υλικών φυτικής ή ζωικής προελεύσεως που περιέχουν μέσα τους ενέργεια, η οποία μπορεί να αποσπαστεί και να χρησιμοποιηθεί ποικιλοτρόπως. Για την ακρίβεια περιλαμβάνονται φυτικές ή ζωικές ύλες, όπως δένδρα, κλαδιά, φύλλα, άχυρα, κουκούτσια, ξύλα, πριονίδια, χόρτα, υπολείμματα αγροτικής ή βιομηχανικής διαχείρισης αυτών αλλά και αστικά λύματα (σκουπίδια) και ζωικά απόβλητα, όπως κοπριά, λίπη και άχρηστα αλιεύματα.

Η βιομάζα είναι αποτέλεσμα της **φωτοσυνθετικής δραστηριότητας** των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης. Τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε οργανική ύλη. Οι βασικές πρώτες ύλες είναι το νερό, το CO_2 και η ηλιακή ακτινοβολία που αφθονούν στη φύση.



Κατά την πορεία της φωτοσύνθεσης σχηματίζονται **οργανικές ενώσεις, δηλαδή η βιομάζα**. Για να φτάσουμε πάντως στο στάδιο αυτό, πρέπει να συνυπάρξουν και άλλοι παράγοντες, όπως τα ανόργανα στοιχεία, που απορροφούν οι ρίζες από το έδαφος καθώς και οι κατάλληλες θερμοκρασιακές συνθήκες για κάθε είδος φυτού. Από τη στιγμή που η βιομάζα αυτή έχει σχηματιστεί, μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε πλέον σαν πηγή ενέργειας.

Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας: οι **υπολειμματικές μορφές** (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και η βιομάζα που παράγεται από **ενεργειακές καλλιέργειες**. Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι καλλιέργειες μονοετών ή πολυετών φυτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ξυλώδους βιομάζας (για καύση) και βιοκαυσίμων (αιθανόλη και βιοέλαια). Οι ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε *Ετήσιες* (σακχαρούχο ή γλυκό σόργο, ινώδες σόργο, κενάφ, ελαιοκράμβη) και *Πολυετείς* (Γεωργικές*:* Αγριαγκινάρα, καλάμι, μίσχανθος ή *Δασικές:* Ευκάλυπτος, ψευδακακία). Στην Ελλάδα, η σημαντικότερη ετήσια ενεργειακή καλλιέργεια αποτελεί το γλυκό σόργο το οποίο μπορεί άνετα να αποδώσει μέχρι και ένα τόνο βιοαιθανόλη το στρέμμα. Στην κατηγορία της βιομάζας περιλαμβάνονται το Βιοαέριο και τα βιοκαύσιμα.

Μέθοδοι ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας

Οι μέθοδοι της ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας είναι διάφορες. Διακρίνονται σε θερμοχημικές (ξηρές) ή σε βιοχημικές (υγρές):

Οι θερμοχημικές διεργασίες περιλαμβάνουν αντιδράσεις, που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, για διαφορετικές συνθήκες οξείδωσης. Στις διεργασίες αυτές περιλαμβάνονται η απευθείας καύση, η αεριοποίηση, η πυρόλυση (θέρμανση απουσία αέρα) και η υδρογονοδιάσπαση.

Οι βιοχημικές διεργασίες, που ονομάζονται έτσι, επειδή είναι αποτέλεσμα μικροβιακής δράσης, χρησιμοποιούνται για προϊόντα και υπολείμματα μεγάλης υγρασίας, π.χ. αστικά λύματα. Οι βιοχημικές διεργασίες είναι η Αερόβια ζύμωση και η Αναερόβια ζύμωση.

Περισσότερες πληροφορίες για την παραγωγή ηλεκτρισμού της βιομάζας εμφανίζονται στο παράρτημα 3.

Μειονεκτήματα – Πλεονεκτήματα βιομάζας

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της χρήσης τής Βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς είναι τα ακόλουθα:

1. Αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και άρα ανεξάντλητη.
2. Η καύση της βιομάζας δεν συνεισφέρει στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» και συνεπώς στην παγκόσμια θέρμανση - επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας. Η παραγωγή και η χρήση της δεν ρυπαίνει το περιβάλλον με τοξικές ουσίες, αφού τα προϊόντα καύσης της είναι βασικά νερό και διοξείδιο τού άνθρακα.
3. Αποφυγή της όξινης βροχής, που οφείλεται στην καύση ορυκτών καυσίμων.
4. Μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από την εισαγωγή καυσίμων από τρίτες χώρες. Οι πηγές προέλευσής της είναι παντού στον πλανήτη και εν αφθονία. Εξοικονόμηση συναλλάγματος.
5. Εξασφάλιση εργασίας και συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών στις γεωργικές περιοχές αφού αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (π.χ. ελαιοκράμβη, σόργο, καλάμι, κενάφ κλπ.), τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλίανθος κ.ά.), συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.
6. Το κόστος των απαραιτήτων εγκαταστάσεων αποσβένεται σε σύντομο χρόνο.
7. Επιλύει το πρόβλημα των σκουπιδιών των μεγαλουπόλεων μετατρέποντας το από πρόβλημα σε κερδοφόρα επένδυση παραγωγής βιοαερίου.

Τα μειονεκτήματα από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας είναι τα εξής:

1. Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
2. Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
3. Η συλλογή, μεταφορά, και αποθήκευση της βιομάζας αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης.
4. Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλότερο κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.

Εξαιτίας των παραπάνω μειονεκτημάτων πολλές φορές το κόστος της βιομάζας παραμένει, συγκριτικά με το πετρέλαιο, υψηλό. Το πρόβλημα αυτό πάντως μειώνεται βαθμιαία, λόγω της ανόδου των τιμών του πετρελαίου και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούνται από την καύση του. Απ' ότι φαίνεται η Βιομάζα, σε συνδυασμό με τις άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θα λύσει μελλοντικά το ενεργειακό πρόβλημα τού πλανήτη, αφού ούτως ή άλλως τα συμβατικά καύσιμα θα εξαντληθούν μέσα στον αιώνα πού διανύουμε.

Βιοαέριο

Το **βιοαέριο**, παράγεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων, αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων και λυμάτων, καθώς και από αστικά οργανικά απορρίμματα. Αποτελείται από 65% μεθάνιο και 35% διοξείδιο του άνθρακα και μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά (λόγω της μεγάλης περιεκτικότητάς του σε μεθάνιο), μέσω της τροφοδοσίας του σε μηχανές εσωτερικής καύσης, σε καυστήρες αερίου ή σε αεροστροβίλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.

Το βιοαέριο, με την κατάλληλη επεξεργασία και αναβάθμιση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο μεταφορών, με ιδιαίτερα ανταγωνιστική τιμή. Στη Σουηδία ήδη αρκετά οχήματα κινούνται με βιοαέριο και λειτουργούν σταθμοί διανομής βιοαερίου.
Η ανάπτυξη και εγκατάσταση τεχνολογιών βιοαερίου, αποτελεί μία εναλλακτική λύση με σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς προσφέρει περιβαλλοντικά φιλική ενέργεια και ταυτόχρονα επιλύει το συνεχώς διογκούμενο πρόβλημα της διάθεσης των απορριμμάτων.

2.5.2 Βιοκαύσιμα

Βιοκαύσιμα (αγγλ. biofuels) ονομάζονται τα καύσιμα εκείνα στερεά, υγρά ή αέρια τα οποία προέρχονται από τη βιομάζα, το βιοδιασπόμενο δηλαδή κλάσμα προϊόντων ή αποβλήτων διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων (κυρίως από ενεργειακές καλλιέργειες αλλά και άλλα οργανικά υλικά). Παρέχοντας πολλά πλεονεκτήματα για τον κλάδο των μεταφορών, τα καύσιμα αυτά μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα των μέσων μεταφοράς. Τα βιοκαύσιμα μειώνουν την εξάρτηση από το πετρέλαιο στον κλάδο των μεταφορών συμβάλλοντας έτσι στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Επίσης παρέχουν εναλλακτικές πηγές εισοδήματος στους αγρότες της Ε.Ε.

Κατηγορίες Βιοκαυσίμων

Σήμερα, ο όρος **βιοκαύσιμα** συνηθίζεται για υγρά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα των **μεταφορών**. Τα πιο συνηθισμένα στο εμπόριο είναι η **βιοαιθανόλη** η οποία παράγεται από σακχαρούχα και αμυλούχα φυτά (σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, τεύτλα, κ.ά.) και χρησιμοποιείται είτε ως έχει σε βενζινοκινητήρες που έχουν υποστεί μετατροπή είτε σε μίγμα με βενζίνη σε κανονικούς βενζινοκινητήρες και το **βιοντήζελ**, το οποίο παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους (ηλίανθος, ελαιοκράμβη, κ.λ.π.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του ή σε μίγμα με πετρέλαιο κίνησης σε πετρελαιοκινητήρες. Βιοντήζελ μπορεί επίσης να παραχθεί με κατάλληλη επεξεργασία από χρησιμοποιημένα φυτικά λίπη και έλαια (τηγανόλαδα).

Γιατί προωθούνται τα βιοκαύσιμα στην Ε.Ε.;

Τα βιοκαύσιμα αποτελούν άμεσο υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων στις μεταφορές και είναι δυνατόν να ενταχθούν σε συστήματα προμήθειας καυσίμου. Τα βιοκαύσιμα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικό καύσιμο για τις μεταφορές, όπως και άλλες εναλλακτικές λύσεις συμβάλλοντας έτσι στην προετοιμασία της οδού για πιο προηγμένες εξελίξεις όπως το υδρογόνο.

Η κάθε χώρα βαθμιαία θα έχει όλο και μεγαλύτερα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη από τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Τα οφέλη από την εισαγωγή των βιοκαυσίμων στην εγχώρια αγορά των πετρελαιοειδών είναι περιβαλλοντικά αλλά και οικονομικά. Μετά την έγκριση του Εθνικού Σχεδίου Κατανομής Εκπομπών Αερίων του διοξειδίου του άνθρακα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η μόλυνση του περιβάλλοντος από το βιομηχανικό κλάδο έχει και σημαντικό οικονομικό κόστος. Κόστος που πλήττει την ανταγωνιστικότητα των ελληνικών επιχειρήσεων και επιβαρύνει την οικονομία.

Επιπλέον θα έχει και σημαντικά συναλλαγματικά οφέλη, καθώς μεγάλο μέρος από τη διάθεση των βιοκαυσίμων θα προέρχεται από ενεργειακές καλλιέργειες στην ελληνική περιφέρεια. Μελέτη του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου ανεβάζει το συναλλαγματικό όφελος από την εισαγωγή των βιοκαυσίμων στην αγορά πετρελαιοειδών περίπου στα 164 εκατομμύρια ευρώ στην περίοδο 2005-2010. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το κόστος βιοκαυσίμων βάσει τωρινών δεδομένων (πίνακας 9.6), μελλοντικών δεδομένων (πίνακας 9.7) και σύγκριση του κόστους βιοκαυσίμων με το συμβατικό πετρέλαιο (πίνακας 9.8) αναφέρονται στο παράρτημα 7. Αν και μέχρι σήμερα, τα περισσότερα από τα βιοκαύσιμα παραμένουν δαπανηρότερα σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, η χρησιμοποίησή τους αυξάνει σε διάφορες χώρες του κόσμου. Με την ενθάρρυνση μέτρων πολιτικής, η συνολική παραγωγή βιοκαυσίμων εκτιμάται ότι υπερβαίνει πλέον τα 35 δισεκατομμύρια L.

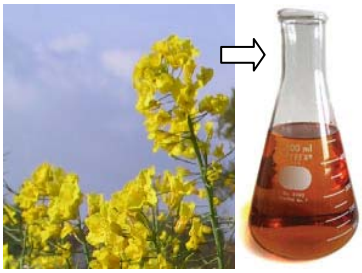
Η Ε.Ε. υποστηρίζει τα βιοκαύσιμα στο πλαίσιο των στόχων μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, της ενίσχυσης της αφαίρεσης άνθρακα από καύσιμα για μεταφορές,

της διαφοροποίησης των πηγών εφοδιασμού καυσίμων και της ανάπτυξης μακροπρόθεσμα υποκατάστατων για το ορυκτό πετρέλαιο. Η ανάπτυξη της παραγωγής βιοκαυσίμων αναμένεται ότι θα προσφέρει νέες ευκαιρίες διαφοροποίησης του εισοδήματος και απασχόλησης σε αγροτικές περιοχές.

Η παραγωγή βιοκαυσίμων από κατάλληλες πρώτες ύλες θα ήταν δυνατόν επίσης να αποφέρει οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη σε διάφορες αναπτυσσόμενες χώρες, να δημιουργήσει επιπλέον απασχόληση, να μειώσει τους λογαριασμούς εισαγόμενης ενέργειας και να δημιουργήσει δυνητικές αγορές εξαγωγής. Ειδικότερα, η παραγωγή βιοαιθανόλης θα ήταν δυνατόν να προσφέρει εφικτή εναλλακτική λύση για ορισμένες ζαχαροπαραγωγές χώρες που πλήττονται από τη μεταρρύθμιση του καθεστώτος ζάχαρης στην Ε.Ε.

Η λύση αυτή ευνοεί ιδιαίτερα την ισόρροπη προσέγγιση στις εμπορικές διαπραγματεύσεις που αφορούν τα βιοκαύσιμα, τη χρησιμοποίηση των μέσων των διαθέσιμων στη γεωργία, τη γεωργική ανάπτυξη και την πολιτική συνοχής καθώς και την ανάπτυξη συνεκτικής δέσμης μέτρων παροχής βοήθειας για αναπτυσσόμενες χώρες. Ενώ οι υφιστάμενες τεχνολογίες δεν προσφέρουν επί του παρόντος ανταγωνιστικές σε σχέση με το κόστος λύσεις για την Ε.Ε., τα οφέλη της ενθάρρυνσης της ανάπτυξης βιοκαυσίμων αναμένεται ότι θα εκταθούν πέραν του κόστους. Στο πλαίσιο αυτό, η ανάπτυξη δεύτερης γενεάς βιοκαυσίμων, στην οποία η έρευνα και ανάπτυξη παίζει σημαντικό ρόλο, θα ήταν δυνατόν να συμβάλει περαιτέρω όσον αφορά τη σχέση κόστους και αποτελεσματικότητάς τους. Ενόψει του πολύπλοκου, διαπλεκόμενου και δυναμικού χαρακτήρα των θεμάτων, η προσέγγιση που υιοθετείται αποτελεί προσέγγιση στρατηγική, η επιρροή της οποίας θα παρακολουθηθεί προσεκτικά. Καθώς η αγορά βιοκαυσίμων εξελίσσεται, θα συζητηθούν οι ενδεδειγμένες τροποποιήσεις οι οποίες θα ενσωματωθούν στη στρατηγική.

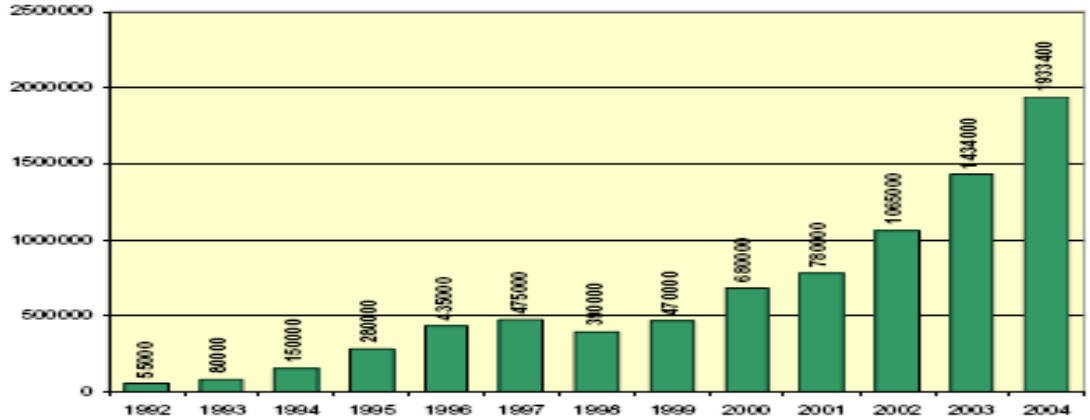
<u>Ανάλυση διείσδυσης των βιοκαυσίμων σε παγκόσμιο επίπεδο</u>



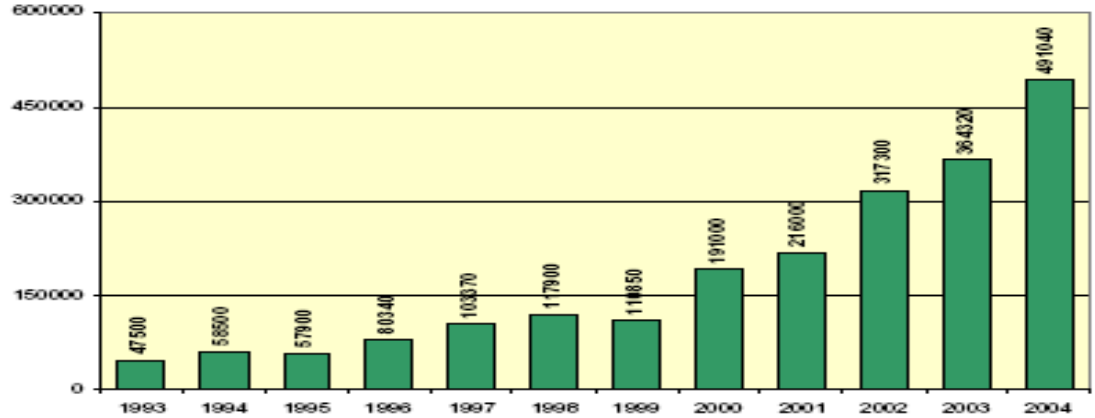
Τα βιοκαύσιμα είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά καύσιμα γιατί έχουν λιγότερες εκπομπές και χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Συμβάλλουν στη μείωση των εισαγωγών και στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας. Σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο παρατηρείται ιδιαίτερα την τελευταία επταετία μια έντονη ανάπτυξη της παραγωγής υγρών βιοκαυσίμων για αξιοποίηση τους στις μεταφορές. Για το βιοντήζελ και τη βιοαιθανόλη, συγκεκριμένα, οι επενδύσεις αναπτύσσονται ταχύτατα σε ολόκληρο τον κόσμο. Η Ε.Ε. προωθεί την παραγωγή βιοκαυσίμων στα μέλη της και σε αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ παράλληλα προάγει την έρευνα και την ανάπτυξη των βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς. Η αγορά των βιοκαυσίμων διευρύνεται συνεχώς τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο για διάφορους λόγους. Πρώτα απ' όλα η χρήση των βιοκαυσίμων ενισχύεται θεσμοθετικά όπως προαναφέρθηκε για την ελάττωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και τις χώρες που το παράγουν, όσο και για την προστασία του περιβάλλοντος, αφού η χρήση βιοκαυσίμων έχει αποδειχθεί ότι μειώνει σημαντικά τους ρύπους. Η παγκόσμια παραγωγή βιοκαυσίμων εμφανίζει συνεχή αυξητική τάση, που εξαρτάται βέβαια από την πολιτική βούληση κάθε χώρας, τόσο στο να συμμορφωθεί με το Πρωτόκολλο του Κυότο, μειώνοντας τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, όσο και στο να ελαφρύνει φορολογικά τα βιοκαύσιμα. Παράλληλα η παραγωγή και χρήση των βιοκαυσίμων στηρίζει σημαντικά την οικονομία και συγκεκριμένα την αγροτική οικονομία, τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις, καθώς και βιομηχανίες όπως η χαρτοβιομηχανία και η βιομηχανία ζάχαρης που μπορούν να συμπεριλάβουν στις διεργασίες τους μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμων από ενδιάμεσα προϊόντα ή παραπροϊόντα τους. Παράλληλα η χρήση των βιοκαυσίμων και κυρίως της βιοαιθανόλης ως πρόσθετο βενζίνης, που βελτιώνει τις ιδιότητές της, ενισχύει περαιτέρω την αγορά. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι ένα από τα μεγαλύτερα κίνητρα για την παραγωγή και διάθεση των βιοκαυσίμων είναι η αποφορολόγηση των βιοκαυσίμων σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συμβατά ορυκτά καύσιμα. Οι ποσοτικοί στόχοι είναι δύο: μείωση κατά 8%, των εκπομπών CO_2, σε σύγκριση με το 1990, έως το τέλος του 2012 (πρωτόκολλο το Κυότο) και αντικατάσταση

του 5,75% (αντιστοιχεί σε 150.000tn) των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές από βιοκαύσιμα έως το 2010 και 10% έως το 2020 (τουλάχιστον 30-35εκ.tn), σύμφωνα με την Οδηγία 2003/30/ΕΚ.

Το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς των βιοκαυσίμων καλύπτεται από το βιοντήζελ και τη βιοαιθανόλη. Σε ό,τι αφορά την παραγωγή βιοαιθανόλης, οι κύριοι παραγωγοί είναι η Βραζιλία και οι Η.Π.Α (με περίπου 45% της παγκόσμιας παραγωγής έκαστος, το 2005), ενώ σε ό,τι αφορά το βιοντήζελ, κύριος παραγωγός αναδεικνύεται η Ευρωπαϊκή Ένωση (με περίπου το 90 % της παγκόσμιας παραγωγής, το 2005) [*ΕΒΒ, 2006*]. Στον πίνακα 2.1 φαίνεται η παραγωγή βιοκαυσίμων στις χώρες της Ε.Ε. Αυτό οφείλεται κυρίως στη Γερμανία που εισχώρησε δυναμικά στο χώρο τόσο της παραγωγής όσο και της χρήσης του βιοντήζελ, στην οποία ανήκει πάνω από το μισό της συνολικής ευρωπαϊκής αγοράς βιοντήζελ ενώ η Γαλλία, η Σουηδία και η Ισπανία είναι οι κυρίως χώρες που παράγουν βιοαιθανόλη, αλλά καλύπτουν μόνο ένα μικρό μέρος της παγκόσμιας αγοράς Η παραγωγή βιοντήζελ έχει αυξηθεί εκθετικά τα τελευταία χρόνια [*ΕΒΒ, 2006*]. Συγκεκριμένα στη δεκαετία από το 1993-2003, η παραγωγή βιοντήζελ αυξήθηκε κατά 10 φορές [*EUROBSERV'ER, 2004*]. Η ανάπτυξη αυτή της παραγωγής αναμένεται να συνεχισθεί με ανάλογους ρυθμούς με αυτούς των προηγούμενων ετών (διπλασιασμός έως τετραπλασιασμός). Ανάλογο φαινόμενο εμφανίζει και η παραγωγή βιοαιθανόλης. Στην ίδια δεκαετία από το 1993-2003, η παραγωγή βιοαιθανόλης αυξήθηκε κατά 5 φορές [*EUROBSERV'ER, 2004*]. Ωστόσο ο ρυθμός ανάπτυξης της αγοράς βιοαιθανόλης στην Ευρώπη εκτιμάται να ξεπερνά το 70% ετησίως. Οι αυξητικές τάρεις παραγωγής στην Ε.Ε. από το 1992 τόσο του βιοντήζελ όσο και της βιοαιθανόλης φαίνονται στα σχήματα 2.7 και 2.8 ενώ η αυξητική τάση παραγωγής βιοκαυσίμων στις χώρες τις Ε.Ε. από το 2002-2008 εμφανίζονται στον πίνακα 2.1:



Σχήμα 2.7: Παραγωγή βιοντήζελ στην Ε.Ε. από το 1992,
Πηγή: Biofuels Barometer - June 2004, EUROBSERV'ER



Σχήμα 2.8: Παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ε.Ε. από το 1992,
Πηγή: Biofuels Barometer - June 2004, EUROBSERV'ER

Παραγωγή βιοκαυσίμων στις χώρες τις Ε.Ε.σε μετρικούς τόνους		
	BIODIESEL	BIOETHANOL
2002	949	198
2003	1.434	310
2004	1.933	491
2005	3.184	500
2006	4.890	1.200
2007	5.713	1.400
2008	7.755	2.200

Πίνακας 2.1 : Παραγωγή βιοκαυσίμων για τις μεταφορές, υπολογισμένη σε μετρικούς tn (αντιστοιχία με 1.000t πετρελαίου), Πηγή: (EBB, 2009)

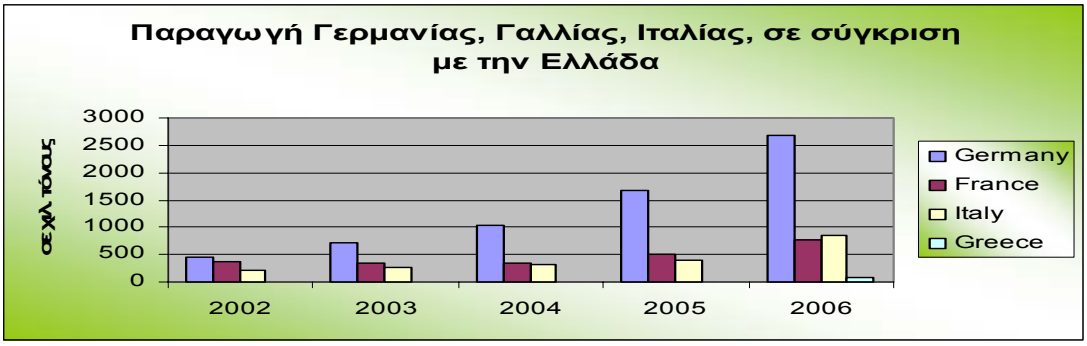
Η κατάσταση των βιοκαυσίμων στην Ελλάδα

Η Ελλάδα έχει καθυστερήσει σημαντικά στο ζήτημα της έρευνας και επιλογής των κατάλληλων τύπων ενεργειακών φυτών που θα μπορούσαν να ευδοκιμήσουν με μεγάλες αποδόσεις στην ελληνική γη, παρά τις σχετικές προσπάθειες του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) και πανεπιστημίων στο παρελθόν και τις πιο πρόσφατες ιδιωτικών εταιρειών. Το πρόβλημα προσανατολισμού των ελλήνων αγροτών σε σχέση με την ενσωμάτωση ενεργειακών καλλιεργειών θα εξακολουθήσει να είναι σημαντικό μέχρι να ολοκληρωθούν σχετικές μελέτες και διαχυθούν τα αποτελέσματά τους. Αλλά και όταν τα παραπάνω ευοδωθούν, θα απαιτηθεί αρκετός χρόνος για να διεισδύσουν και ενσωματωθούν σε μεγάλη κλίμακα στον ελληνικό αγροτικό τομέα οι καταλληλότεροι τύποι ενεργειακών φυτών με υψηλές αποδόσεις. Διάχυτη πάντως είναι η αντίληψη ότι μόνο η επιχειρηματική συμμετοχή των αγροτών στην μεταποίηση της γεωργικής πρώτης ύλης και στην εμπορία των υγρών βιοκαυσίμων θα εξασφαλίσει σε αυτούς σεβαστό επιπρόσθετο εισόδημα. Και η συνδρομή της Πολιτείας προς τον αγροτικό τομέα θα είναι ουσιαστική στο βαθμό που συνεισφέρει σε αυτή την επιχειρηματική συμμετοχή. Οι προκλήσεις που παρουσιάζονται για την Ελλάδα από την παγκόσμια αυτή ανάπτυξη υγρών βιοκαυσίμων είναι ιδιαίτερα σημαντικές και απαιτείται η διαμόρφωση μιας εθνικής στρατηγικής προκειμένου να αξιοποιηθούν θετικά, στο μεγαλύτερο βαθμό και το συντομότερο δυνατόν, για τη χώρα και τους παραγωγικούς τομείς της (γεωργία, μεταποίηση, εμπόριο). Το 2005 η Ελλάδα απείχε δραματικά από το να πετύχει τον ενδεικτικό στόχο του 2% (αντιστοιχεί σε 45.000tn) για τη συμμετοχή των υγρών βιοκαυσίμων στις μεταφορές [*EBB,2006*].

Η χρήση των βιοκαυσίμων στην Ελλάδα είναι σε φάση εκκίνησης σε σχέση με άλλες ευρωπαικές χώρες όπως Γερμανία, Ιταλία, Γαλλία (σχήμα 2.9) και κινούμενη προς την επίτευξη του στόχου της Ε.Ε., αυξάνει την παραγωγή του βιοντήζελ, σχεδιάζοντας νέες μονάδες παραγωγής. Παρά το γεγονός ότι στην παρούσα φάση εκκίνησης η προσοχή μας έχει στραφεί προς το βιοντήζελ, θα πρέπει σύντομα να εξεταστεί και η προοπτική της βιο-αιθανόλης με όρους κόστους-οφέλους. Εξάλλου, το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων της χώρας μας σκοπεύει να προωθήσει τις ενεργειακές καλλιέργειες αφού θεωρεί ότι αποτελούν μια εναλλακτική προσέγγιση στη γεωργία και θα συμβάλλουν στην αγροτική ανάπτυξη.

Στην Ελλάδα έχουν δημιουργηθεί και λειτουργούν μονάδες επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων για παραγωγή βιοντήζελ. Η πρώτη ύλη είναι είτε ηλίανθος, ελαιοκράμβη, σπορέλαια χρησιμοποιημένα λάδια (τηγανόλαδα). Το παραγόμενο βιοντήζελ σε αυτή τη φάση πωλείται στα διυλιστήρια της χώρας τα οποία το αναμιγνύουν σε ποσοστό 2% με το ορυκτό ντήζελ κίνησης και το διοχετεύουν στην αγορά. Από κει μέσω των πρατηρίων βενζίνης πωλείται στα πετρελαιοκίνητα οχήματα, λεωφορεία, ταξί τρακτέρ κλπ., χωρίς να χρειάζεται καμία μετατροπή στον κινητήρα. Οι επενδύσεις στον συγκεκριμένο τομέα τυγχάνουν μεγάλης επιχορήγησης από το Ελληνικό κράτος και έτσι έχουν τραβήξει το ενδιαφέρον επενδυτών. Παράλληλα γίνονται σεμινάρια και καμπάνιες προς τους αγρότες κυρίως της ηπειρωτικής Ελλάδας ώστε να προχωρήσουν σε ενεργειακές καλλιέργειες αποκλειστικά για την παραγωγή βιοκαυσίμων και οι

ενδιαφερόμενες εταιρίες ήδη έχουν κάνει τα πρώτα συμβόλαια με κάποιους από αυτούς για την αγορά της πρώτης ύλης.



Σχήμα 2.9: Πολύ μικρή η παραγωγή της Ελλάδας σε βιοκαύσιμα σε σχέση με άλλες Ευρωπαικές χώρες (Γερμανία, Ιταλία, Γαλλία),
Πηγή: www.econ.uoi.gr/epixirimatikotita/parousiaseis/.../biodiesel.ppt

Η παραγωγή βιοκαυσίμων (βιοντήζελ) στην Ελλάδα ξεκίνησε μόλις το 2005, χρονιά κατά την οποία παρήχθησαν μόνο 420 τόνοι βιοντήζελ. Το 2006 η παραγωγή έφτασε τους 61.000 τόνους, το 2007 καλύφθηκε πλήρως η κατανομή των 114.000 τόνων (πίνακας 2.2) [*ΥΠΑΝ, 2008*] ενώ το 2008 ξεπέρασε τους 123.000 τόνους [*ΥΠΑΝ, 2009*]. Παρά την καθυστέρηση στη διείσδυση των βιοκαυσίμων στην Ελληνική αγορά σε σχέση με την Ευρώπη, σήμερα έχουν αναπτυχθεί σημαντικές υποδομές παραγωγής βιοντήζελ στη χώρα. Οι εταιρίες που έλαβαν δικαιώματα πώλησης ποσοτήτων βιοντήζελ το 2008 στην Ελλάδα είναι αυτές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3 [*ΥΠΑΝ, 2009*]. Στον πίνακα αυτό περιέχονται και πληροφορίες σχετικές με τη δηλωθείσα δυναμικότητα της παραγωγής των εταιριών αυτών και το ύψος της αποφορολόγησης που έλαβαν. Εκτός των μονάδων που αναφέρονται, αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία ακόμα μία μονάδα παραγωγής στην Αττική δυναμικότητας 100.000m^3, η οποία βρίσκεται στο τελικό στάδιο κατασκευής.
Στη διαδικασία κατανομής των ποσοτήτων του παραγόμενου βιοντήζελ για τις ανάγκες της εγχώριας αγοράς του έτους 2008, οι δυναμικότητες που δηλώθηκαν έχουν αυξηθεί σημαντικά, σε σχέση με αυτές του 2007. Ωστόσο, το 2008 καταργήθηκε η πολιτική της αποφορολόγησης των βιοκαυσίμων, ενώ εξετάζεται ένα νέο σύστημα κατανομής βιοκαυσίμων, στο οποίο η ποσότητα βιοντήζελ που θα μπορεί να διαθέσει κάθε παραγωγός θα καθορίζεται βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων.

Παραγωγή βιοντήζελ (σε tn) στην Ελλάδα	
2005	**420**
2006	**61.000**
2007	**114.000**
2008	**123.000**

Πίνακας 2.2: Αυξητική τάση της παραγωγής biodiesel για τα έτη 2005-2008, υπολογισμένη σε tn, Πηγή: ΥΠΑΝ, 2008

α/α	Εταιρία	Δηλωθείσα Δυναμικότητα (m^3/έτος)	Αποφορολογημένες ποσότητες (m^3)
1.	Πέπας (Πάτρα)	112,500	33,525
2.	Agroinvest (Φθιώτιδα)	280,000	25,467
3.	ΕΛΒΙ (Κιλκίς)	90,000	17,191
4.	ΕΛΙΝ Βιοκαύσιμα (Βόλος)	83,331	10,740
5.	Βιοντίζελ (Αθήνα)	Εμπορία	5,699
6.	VertOil (Θεσσαλονίκη)	11,880	5,259
7.	Staff Colour Energy (Λάρισα)	13,000	4,752
8.	ΒΙΟΝΤΗΖΕΛ ΕΠΕ (Λαγκαδάς)	23,958	4,026
9.	Εκκοκκ.-Κλωστήρια Β. Ελλάδος (Κομοτηνή)	7,543	3,250
10.	DP Lubrificant SRL (Ιταλία)	Ιταλός Παραγωγός	2,682
11.	Βιοενέργεια Παπαντωνίου (Ν. Μουδανιά)	10,197	2,395
12.	ΜΟΤΟΡ ΟΙΛ (ΕΛΛΑΣ) ΔΙΥΛ. ΚΟΡΙΝΘΟΥ	Εμπορία	2,320
13.	ΦΥΤΟΕΝΕΡΓΕΙΑ Α.Ε. (Σέρρες)	24,004	2,272
14.	GF ENERGY (Αθήνα)	112,500	2,251
15.	CAFFARO CHIMICA SRL (Ιταλία)	17,044	582
16.	MILL OIL Hellas (Θεσσαλονίκη)	11,250	406
17.	ΜΑΝΟΣ (Αθήνα)	37,500	183
	Σύνολο	**834,707**	**123,000**

Πίνακας 2.3: Η ελληνική παραγωγή και εμπορία βιοντήζελ που έλαβαν δικαιώματα πώλησης το 2008, και πληροφορίες σχετικές με τη δηλωθείσα δυναμικότητα της παραγωγής των εταιριών αυτών και το ύψος της αποφορολόγησης που έλαβαν, Πηγή: ΥΠΑΝ, 2009

Η κατάσταση των βιοκαυσίμων στην Κρήτη

Στους δύο βιολογικούς σταθμούς Ηρακλείου και Χανίων γίνεται παραγωγή βιοαερίου το οποίο καλύπτει μέρος των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών των εγκαταστάσεων.

Όσον αφορά τα βιοκαύσιμα: Έχουν ήδη γίνει μελέτες για τις δυνατότητες παραγωγής βιοαιθανόλης από το χαρούπι που αφθονεί στο νησί.

Η Περιφέρεια Κρήτης και το Ενεργειακό της Κέντρο υλοποιώντας τρία διαδοχικά ανταγωνιστικά Ευρωπαικά προγράμματα δραστηριοποιείται ενεργά τα τελευταία χρόνια στην ανάδειξη και προώθηση των Βιοκαυσίμων και ειδικότερα του Βιοντήζελ στην Κρήτη. Στα πλαίσια αυτά, έχουν υλοποιηθεί δράσεις προσδιορισμού του δυναμικού των ποσοτήτων χρησιμοποιημένων μαγειρικών ελαίων για την παραγωγή βιοντήζελ, χρήση βιοντήζελ στα μέσα μαζικής μεταφοράς της Κρήτης, ενημερωτικές παρεμβάσεις κλπ.

Ένα μέτρο βιώσιμων μεταφορών το οποίο – έως τώρα – εφαρμόζεται σε κεντρικό επίπεδο είναι η ανάμιξη βιοκαυσίμου (βιοντήζελ) με πετρέλαιο κίνησης στα διυλιστήρια και στη συνέχεια η διάθεση του μίγματος στην Ελληνική αγορά. Γι αυτό το λόγο στην Ελλάδα δραστηριοποιούνται ήδη τουλάχιστον δώδεκα βιομηχανίες παραγωγής και διάθεσης βιοντήζελ και αναμένεται η ίδρυση άλλων έξι [*REAC, 2009*]. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούν οι βιομηχανίες αυτές είναι τα χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια και σπορέλαια (από ηλίανθο, ελαιοκράμβη, κλπ.).

Ειδικότερα, υλοποιήθηκε καινοτικό πρόγραμμα χρήσης του βιοντήζελ σε υπεραστικά λεωφορεία του ΚΤΕΛ Ανατολυτικής Κρήτης με εφαρμογή και χρήση υψηλών μιγμάτων βιοντήζελ με πετρέλαιο κίνησης, τεχνικό έλεγχο των οχημάτων και επιστημονική παρακολούθηση – καταγραφή [*REAC, 2006*].

Η Κρήτη – ως ένα από τα δημοφιλέστερα τουριστικά νησιά της Ευρώπης – παράγει σημαντικές ποσότητες χρησιμοποιημένων μαγειρικών ελαίων και λιπών, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο. Άρα αυτόματα δημιουργείται μια καινοτομική επιχειρηματική αναπτυξιακή

ευκαιρία που αφορά τη συλλογή των χρησιμοποιημένων μαγειρικών ελαίων και λιπών (σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 50910/2727-ΦΕΚ 1909/22-12-2003 αλλά και με τους κανονισμούς λειτουργίας των Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης απαγορεύεται ρητά η απόρριψη των χρησιμοποιημένων μαγειρικών ελαίων και λιπών στα αποχετευτικά δίκτυα), αφού η ανεξέλεγκτη απόρριψη των χρησιμοποιημένων μαγειρικών ελαίων και λιπών προκαλεί μεγάλα προβλήματα στα δίκτυα αποχέτευσης και στη λειτουργία του βιολογικού καθαρισμού και αυξάνει ο κίνδυνος της άμεσης αλλά και έμμεσης μέσω των ζωοτροφών, διοχέτευσης τους στην διατροφική αλυσίδα. Ήδη στην Κρήτη δραστηριοποιούνται εταιρείες συλλογής χρησιμοποιημένων μαγειρικών ελαίων οι οποίες συνάπτουν συμφωνίες με τα καταστήματα εστίασης. Μέρος αυτών των ελαίων προωθείται στην ενδοχώρα ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντήζελ [*REAC, 2009*].

Το Ενεργειακό Κέντρο Περιφέρειας Κρήτης μέσω του προγράμματος "BIOSIRE" (Επίτευξη των Βιώσιμων Μεταφορών – Βιοντήζελ και Ηλεκτρικά Οχήματα – στις Τουριστικές Περιοχές) έχει ως βασικό στόχο την προώθηση του βιοντήζελ στα μέσα μαζικής μεταφοράς (ΚΤΕΛ, ΤΑΞΙ, Τουριστικά Λεωφορεία, κλπ.) και την ενίσχυση της συλλογής χρησιμοποιημένων μαγειρικών ελαίων και τη διοχέτευση τους στις βιομηχανίες βιοντήζελ. Ειδικά για τη χρήση βιοντήζελ στα μέσα μαζικής μεταφοράς, το Ενεργειακό Κέντρο Περιφέρειας Κρήτης στοχεύει στην προετοιμασία όλων των σχετικών φορέων της αγοράς (πρατήρια υγρών καυσίμων, στόλοι οχημάτων, Κ.Τ.Ε.Ο κλπ.) για την έγκαιρη και επιτυχημένη εφαρμογή της αναμενόμενης (ήδη συζητείται στα αρμόδια Υπουργεία Ανάπτυξης και Μεταφορών & Επικοινωνιών) χρήσης μεγάλων μιγμάτων ή αυτούσιου βιοντήζελ σε στόλους οχημάτων.

Σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση αυτού του προγράμματος θα παίξουν οι Δήμοι της Κρήτης μέσω της ενημέρωσης των επαγγελματιών του κλάδου εστίασης (εστιατόρια, ψητοπωλεία, σουβλατζίδικα κλπ.) σε συνεργασία με το Ενεργειακό Κέντρο Περιφέρειας Κρήτης, π.χ. μέσω διανομής ειδικού ενημερωτικού εντύπου στους λογαριασμούς των Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης Αποχέτευσης ώστε τα χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια να συλλέγονται χωριστά – σύμφωνα με το νόμο – και να χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοντήζελ.

2.6 ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ 1^{ης} ΚΑΙ 2^{ης} ΓΕΝΙΑΣ

Τα βιοκαύσιμα για τις μεταφορές προωθούνται ως χρήσιμο μέσο «για τον οικολογικό προσανατολισμό» του κλάδου των μεταφορών. Ωστόσο, κατά την εκτίμηση του συνολικού περιβαλλοντικού οφέλους, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο ατίκτυπος στην ανάπτυξη της ανανεώσιμης ενέργειας και στην ένταση της χρήσης των γεωργικών γαιών. Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς ή τυπικά βιοκαύσιμα είναι αυτά που παράγονται σήμερα με συμβατικές μεθόδους. Τα κυριότερα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς συνοψίζονται στον Πίνακα 2.4. Ωστόσο τα πιο διαδεδομένα είναι τα υγρά βιοκαύσιμα βιοντήζελ και βιοαιθανόλη που χρησιμοποιούνται σε μίγμα με τα αντίστοιχα ορυκτά καύσιμα κίνησης ντίζελ και βενζίνη. Η Ε.Ε. στην οδηγία 2003/30/ΕC κατηγοριοποεί δέκα προιόντα ως βιοκαύσιμα, με δύο από τα πρώτης γενιάς να είναι και τα πιο διαδεδομένα:

- ***Βιοντήζελ***

  Το Βιοντήζελ πρώτης γενιάς είναι η εμπορική ονομασία των μεθυλεστέρων των λιπαρών οξέων (FAME), που παράγονται κυρίως από ελαιούχους σπόρους (ηλίανθος, ελαιοκράμβη, σόγια, φοίνικας, βαμβάκι, ελιές, κ.α.) καθώς και από ζωικά λίπη ή επαναχρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια. Το Βιοντήζελ υποκαθιστά το ορυκτό ντήζελ αυτούσιο ή σε μίγματα.
- Η **βιοαλκοόλη** (κυρίως βιοαιθανόλη αλλά και βιομεθανόλη) που παράγεται με αλκοολική ζύμωση από σακχαρούχα φυτά (σακχαροκάλαμο, σακχαρότευτλα) και αμυλούχα φυτά (καλαμπόκι, αραβόσιτος, σιτάρι, κ.α.) [*Pahl,2005*]. Η κύρια μέθοδος παραγωγής της είναι η ζύμωση των αμυλούχων – σακχαρούχων συστατικών για την παραγωγή αιθανόλης κι ο διαχωρισμός της από τα λοιπά συστατικά με απόσταξη. Η βιοαιθανόλη είτε αναμιγνύεται αυτούσια με την βενζίνη είτε μετατρέπεται πρώτα σε αντικροτικό πρόσθετο (ETBE).

Ουσιαστικά, το βιοντήζελ είναι σε θέση να υποκαταστήσει το πετρέλαιο και η βιοαλκοόλη τη βενζίνη.

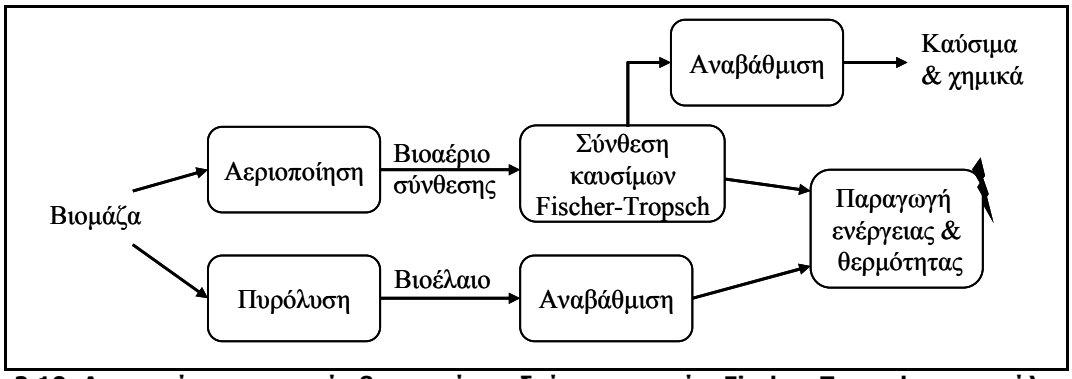
Πίνακας 2.4 Τυπικά βιοκαύσιμα ή βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς		
Τύπος Βιοκαυσίμου	**Ονομασία**	**Διεργασία**
Φυτικό έλαιο	Φυτικό έλαιο	Πίεση, εκχύλιση, διύλιση
Βιοντήζελ	Βιοντήζελ από σπόρους	Μετεστεροποίηση ελαίων
	Βιοντήζελ από απόβλητα ή χρησιμοποιημένα έλαια	Διύλιση, μετεστεροποίηση
Βιοαιθανόλη	Αιθανόλη από ζαχαρώδη φυτά	Ζύμωση, απόσταξη
	Αιθανόλη από αμυλώδη φυτά	Υδρόλυση, ζύμωση, απόσταξη
Βίο-ETBE	ETBE	Ζύμωση, σύνθεση
Βιοαέριο	Συνθετικό φυσικό αέριο από βιοαέριο	Χώνεψη, απομάκρυνση CO_2-H_2O
Βιουδρογόνο	Υδρογόνο από βιοαέριο	Χώνεψη, wgs, απομάκρυνση CO_2-H_2O

Πίνακας 2.4: Τύποι, ονομασίες και διεργασίες τυπικών βιοκαυσίμων,
Πηγή: *vergina.eng.auth.gr/IHT/Proc8th/Biofuels.doc*

Βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς χαρακτηρίζονται οι αλκοόλες από λιγνικυτταρινούχες ενώσεις ή βιοκαύσιμα που παράγονται από εξαερωμένη βιομάζα (Biomass to Liquid). Προς το παρόν βρίσκονται σε ερευνητικό ή πιλοτικό επιδεικτικό στάδιο. Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς είναι τα βιοκαύσιμα που παράγονται με πρωτοποριακές διεργασίες και από περισσότερους τύπους βιομάζας από ότι τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς. Τα κυριότερα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς συνοψίζονται στον Πίνακα 2.5. Στα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς ανήκουν τα συνθετικά βιοκαύσιμα που παράγονται από θερμοχημικές και καταλυτικές διεργασίες όπως πυρόλυση, εξαερίωση, και Fischer-Tropsch. Επίσης στην κατηγορία αυτή ανήκει και η βιοαιθανόλη που παράγεται από λιγνοκυτταρινικό υλικό, το οποίο δύσκολα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σήμερα. Το υδρογόνο από αέριο σύνθεσης καθώς και το βιοαέριο αποτελούν τα κύρια αέρια βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς. Για την βιοαιθανόλη δεύτερης γενιάς μπορεί να παραχθεί από κυτταρίνη περισσότερες πληροφορίες αναφέρονται στο παράρτημα 4, όπως και αναφέρονται με περισσότερες λεπτομέρειες οι διεργασίες Fischer-Tropsch και πυρόλυση βιομάζας (σχήμα 2.10), στις οποίες δραστηριοποιείται το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Καυσίμων και Υδρογονανθράκων (ΕΠΚΥ) του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ).

Πίνακας 2.5 Πρωτοποριακά βιοκαύσιμα ή βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς		
Τύπος Βιοκαυσίμου	**Ονομασία**	**Διεργασία**
Συνθετικά βιοκαύσιμα	Fischer-Tropsch Βιοντήζελ	Εξαέρωση, wgs, σύνθεση, HDC
	Αλκοόλη από αέριο σύνθεσης	Εξαέρωση, σύνθεση
	HTU ντίζελ	HTU, HDO, διύλιση
	Ντίζελ πυρόλυσης	Πυρόλυση, HDO, διύλιση
Βιομεθανόλη	Μεθανόλη	Εξαέρωση, wgs, σύνθεση
Βιοαιθανόλη	Αιθανόλη από κυτταρίνη	Υδρόλυση, Ζύμωση, απόσταξη
Βιο-MTBE	MTBE	Σύνθεση
Βιοδιμέθυλαιθέρας	DME	Εξαέρωση, wgs, σύνθεση
Βιουδρογόνο	Υδρογόνο από αέριο σύνθεσης	Εξαέρωση, wgs, απομάκρυνση CO_2
Βιοαέριο	Φυσικό αέριο από αέριο σύνθεσης	Εξαέρωση, wgs, σύνθεση, απομάκρυνση CO_2-H_2O
	Συνθετικό φυσικό αέριο	Εξαέρωση

Πίνακας 2.5: Τύποι, ονομασίες και διεργασίες των βιοκαυσίμων 2^{ης} γενιάς,
Πηγή: *vergina.eng.auth.gr/IHT/Proc8th/Biofuels.doc*



Σχήμα 2.10. Διεργασίες παραγωγής βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς, Fischer-Tropsch και πυρόλυση βιομάζας, Πηγή: *vergina.eng.auth.gr/IHT/Proc8th/Biofuels.doc*

Η γρήγορη και σχετικά εύκολη βιολογική τους σύνθεση, σε αντίθεση με τη μακροχρόνια και κάτω υπό ειδικές συνθήκες δημιουργία του αργού πετρελαίου, τα κατατάσσει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και θεωρούνται φιλικά προς το περιβάλλον. Συγκρινόμενα με τα ορυκτά καύσιμα, παρουσιάζουν περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα στη χρήση τους, ενώ εξετάζοντας όλο τον κύκλο ζωής τους μπορεί να εμφανίσουν και σημαντικά μειονεκτήματα. Η ανάλυση κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων μελετάει τις επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον τόσο κατά το στάδιο της παραγωγής, όσο και κατά τη χρήση τους. Βέβαια είναι σαφές ότι οι οικονομίες κλίμακας με δημιουργία μεγάλων σύγχρονων εγκαταστάσεων παραγωγής βιοκαυσίμων, θα θέσουν τα βιοκαύσιμα ελκυστικότερα μελλοντικά από ότι στις τωρινές συνθήκες έναντι των συμβατικών, οπότε είναι αναγκαία και η ανάλυση των προαναφερθέντων βιοκαυσίμων με οικονομοτεχνικά κριτήρια. Τα τελευταία χρόνια, ο συνδυασμός περιβαλλοντικών, οικονομικών, εθνικών και γεωπολιτικών παραμέτρων σε παγκόσμιο επίπεδο, οδήγησε στη θέσπιση διαφόρων μέτρων και κινήτρων για την αύξηση της χρήσης τους. Η εξέταση και η αποτίμηση, όμως, τόσο των πλεονεκτημάτων, όσο κυρίως των μειονεκτημάτων από τη ραγδαία αύξηση της χρήσης των υγρών βιοκαυσίμων, θα συμβάλλει στη διατήρηση του ανανεώσιμου χαρακτήρα τους και στην αποτροπή δημιουργίας σοβαρών περιβαλλοντικών/κλιματικών προβλημάτων με μη αναστρέψιμες οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες.

2.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Μεταξύ των εναλλακτικών καυσίμων που εξετάζονται για τις μετακινήσεις και τις μεταφορές είναι και τα βιοκαύσιμα. Μια πληρέστερη εικόνα των επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη χρήση των βιοκαυσίμων μπορούμε να πάρουμε εξετάζοντας όλο τον κύκλο ζωής τους. Με τον τρόπο αυτό εντοπίζονται οι γενικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και κατά συνέπεια και τα μειονεκτήματα από τη χρήση των βιοκαυσίμων:

- Η παραγωγή των βιοκαυσίμων, κατά την επεξεργασία της πρώτης ύλης, χρειάζεται ενέργεια που λαμβάνεται από ορυκτά καύσιμα. Επίσης, στην παραγωγή/καλλιέργεια της πρώτης ύλης, στη συγκομιδή και τη μεταφορά της, καθώς και στη μεταφορά και διανομή των βιοκαυσίμων, χρησιμοποιούνται, τουλάχιστον προς το παρόν, μηχανήματα και οχήματα που κινούνται με ορυκτά καύσιμα και κατά συνέπεια εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Για ορισμένους, αυτό ανατρέπει την άποψη ότι τα βιοκαύσιμα είναι ουδέτερα σε εκπομπές άνθρακα.
- Η ευρεία και εντατική καλλιέργεια ενεργειακών φυτών οδηγεί σε μονοκαλλιέργεια, υποβάθμιση των χρήσεων γης και σημαντικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα (απομάκρυνση πουλιών και εντόμων), στην παροχή νερού (λόγω αυξημένων απαιτήσεων στην άρδευση των ενεργειακών καλλιεργειών) και στην ποιότητα του εδάφους.

- Η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, που βασίζονται σε ενώσεις του αζώτου, του θείου και της αμμωνίας αυξάνει την οξύτητα του εδάφους και των νερών, δημιουργώντας παράλληλα σε αυτό συνθήκες ευτροφισμού.
- Οι κινητήρες που καίνε βιοντήζελ εκπέμπουν περισσότερα οξείδια του αζώτου (NO_x) σε σύγκριση με την καύση πετρελαίου κίνησης.
- Η παραγωγή των βιοκαυσίμων μπορεί να είναι περισσότερο δαπανηρή από άλλους τρόπους μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2).
- Σε μια παγκοσμιοποιημένη αγορά πρώτων υλών και καυσίμων, που ήδη υπάρχει, και σε ένα παγκοσμιοποιημένο σύστημα μεταφοράς και υπολογισμού εκπομπών και δικαιωμάτων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, που τείνει να διαμορφωθεί, είναι πολύ πιθανό τα οφέλη από τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των βιοκαυσίμων να τα καρπωθούν οι αναπτυγμένες χώρες, μειώνοντας τις εκπομπές του κλάδου των μεταφορών, ενώ τα μειονεκτήματα από την καλλιέργεια των φυτών και την παραγωγή της πρώτης ύλης, να βλάψουν τις χώρες του Τρίτου Κόσμου που θα διαθέσουν μεγάλες εκτάσεις για ενεργειακές καλλιέργειες. Έτσι, μπορεί οι αναπτυγμένες χώρες να φαίνεται ότι επιτυγχάνουν τους στόχους τους ως προς το Πρωτόκολλο του Κυότο και ταυτόχρονα αναπτυσσόμενες χώρες να παρουσιάζονται με αυξημένες εκπομπές, λόγω αυξημένης χρήσης λιπασμάτων, διάβρωσης του εδάφους και επεξεργασίας της πρώτης ύλης για την παραγωγή «καθαρών» βιοκαυσίμων.
- Τέλος, η αυξανόμενη ζήτηση καυσίμων μπορεί να οδηγήσει φτωχές, αναπτυσσόμενες τροπικές και υποτροπικές χώρες, όπου ευνοείται η καλλιέργεια πολύ αποδοτικών (μέχρι και δέκα φορές περισσότερο από τις αντίστοιχες καλλιέργειες σε εύκρατες περιοχές) ενεργειακών φυτών, στον περιορισμό των εκτάσεων που παράγουν τρόφιμα για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Ωστόσο, μια τέτοια πρακτική θα έχει ολέθριες συνέπειες στους κατοίκους των περιοχών αυτών, αφού η παραγωγή βιοκαυσίμων ελάχιστα ή και καθόλου δεν θα βελτιώσει τα έσοδα και το βιοτικό τους επίπεδο, ενώ ταυτόχρονα θα στερηθούν τα λίγα αλλά απαραίτητα για την επιβίωσή τους τρόφιμα.
- Σημαντικό παράγοντα αποτελεί και το ενεργειακό περιεχόμενο των βιοκαυσίμων, καθώς είναι χαμηλότερο από τα συμβατικά καύσιμα, ενώ η υψηλότερη περιεκτικότητα των βιοκαυσίμων σε υγρασία, καθιστά πιο δύσκολη την επεξεργασία τους.

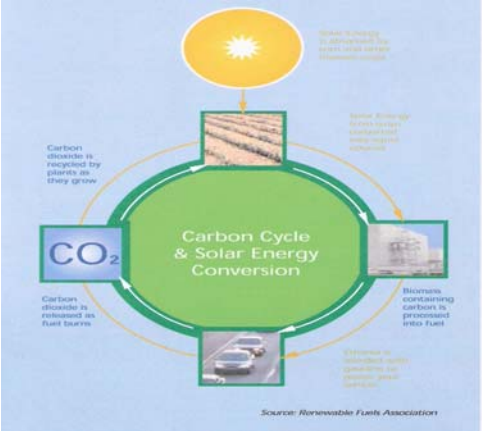
Οι βασικοί παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για τα πλεονεκτήματα των βιοκαυσίμων αποτελούν οι εκπομπές ρύπων και αναλυτικότερα:

- Το ισοζύγιο εκπομπών CO_2, που για τα βιοκαύσιμα είναι μηδενικό,
- Η ανάλυση εκπομπών οξειδίων του αζώτου NOx,
- Η ανάλυση πιθανών εκπομπών αρωματικών ενώσεων και
- Η ανάλυση πιθανών εκπομπών SO_2.

Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης βιοντήζελ σαν καύσιμο μεταφορών είναι ότι μπορεί να παρουσιάσει μείωση στις εκπομπές ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τη χρήση συμβατικού πετρελαίου. Η χρήση 100% βιοντήζελ (πράγμα σπάνιο) μπορεί να μειώσει τις καθαρές εκπομπές CO_2 κατά 40-50%, αντίστοιχα η χρήση μίγματος 5% μειώνει το CO_2 κατά 2 – 2.5% *[*http://bioenergynews.blogspot.com*].*

Η χρήση τους, δηλαδή η καύση τους στους κινητήρες, γίνεται σε έναν κλειστό κύκλο άνθρακα (Σχήμα 2.11), αφού η εκπεμπόμενη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) είναι η ίδια που απορροφήθηκε κατά την ανάπτυξη των φυτών από τα οποία παράγονται τα βιοκαύσιμα.

Χαρακτηριστικά, στη βιβλιογραφία αναφέρεται [*Jungmeier et al., 2005*], όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 9.9 του παραρτήματος 9, ότι χρήση της ευρωπαικής βιοαιθανόλης μειώνει τις εκπομπές CO_{2eq} κατά 13-83%, συγκριτικά με τη χρήση βενζίνης, ενώ χρήση του ευρωπαικά παραγόμενου βιοντήζελ μειώνει τις εκπομπές CO_{2eq} κατά 36-83%, συγκριτικά με τη χρήση συμβατικού πετρελαίου.

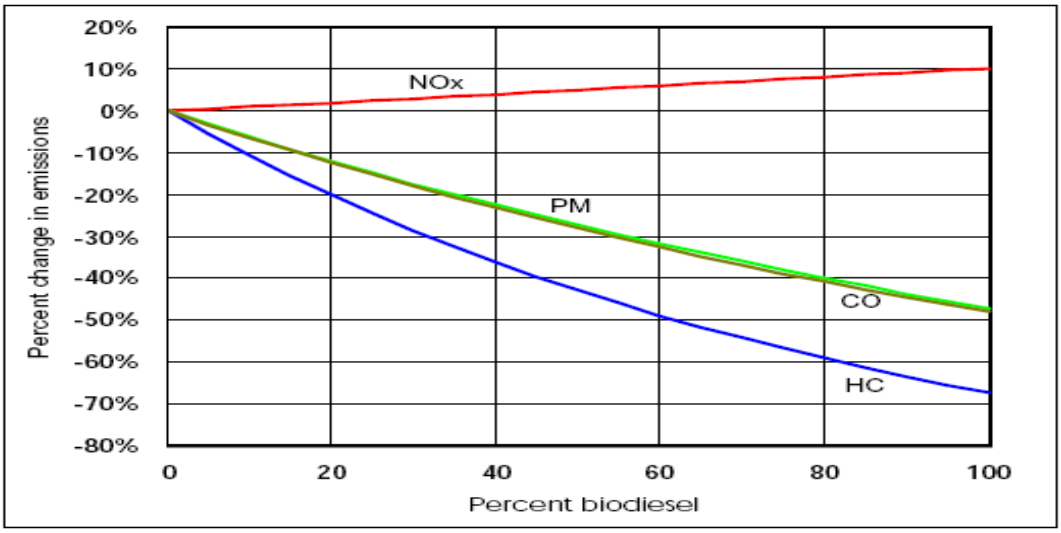


Σχήμα 2.11: Ο κλειστός κύκλος άνθρακα των βιοκαυσίμων (Πηγή «From niche to nation: Ethanol Industry Outlook 2006», Renewable Fuels Association – RFA, USA)

Επιπλέον, λόγω της πολύ χαμηλής ή μηδενικής περιεκτικότητάς τους σε θείο οι εκπομπές SO_2 είναι μηδενικές ή πολύ χαμηλές σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Επίσης, δεν περιέχουν αρωματικούς υδρογονάνθρακες, έχουν χαμηλές εκπομπές NO_x, ειδικά η βιοαιθανόλη, CO, άκαυστων υδρογονανθράκων και αιθάλης (αιωρούμενα σωματίδια) (Πίνακας 2.6).

	Percent change in emissions
NOx	+ 2.0 %
PM	- 10.1 %
HC	- 21.1 %
CO	-11.0 %

Πίνακας 2.6: Ποσοστό μείωσης των εκπομπών NOx, PM, HC, CO με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε βιοντήζελ, (Πηγή «Biofuels for Transport – An International Perspective», International Energy Agency, April 2004)



Σχήμα 2.12: Ποσοστό μείωσης των εκπομπών με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε βιοντήζελ, (Πηγή «Biofuels for Transport – An International Perspective», International Energy Agency, April 2004)

Άλλα πλεονεκτήματα των βιοκαυσίμων:

- Έχουν καλύτερο ενεργειακό ισοζύγια σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, δημιουργώντας καλύτερο ισοζύγιο αερίων του θερμοκηπίου.
- Είναι βιολογικά αποικοδομήσιμα.
- Συμβάλλουν στη διατήρηση των φυσικών πόρων.

Σημαντικό ρόλο στην ανάλυση κύκλου ζωής παίζει το γεγονός ότι το βιοντήζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πετρελαιομηχανές, έχοντας πολύ καλές λιπαντικές ικανότητες (αυξάνοντας τη ζωή των κινητήρων), χωρίς να απαιτείται ουσιαστικά καμία μετατροπή τους [*Pahl,2005*], ενώ η βιοαλκοόλη απαιτεί ελάχιστες αλλαγές, κυρίως νέες φλάντζες και τσιμούχες. Το γεγονός αυτό προσδίδει συγκριτικό πλεονέκτημα στα βιοκαύσιμα, σχετικά με το φυσικό αέριο, όπου απαιτεί σημαντικές επενδύσεις στη μετατροπή των κινητήρων εσωτερικής καύσης.

Επίσης, χρήζει ιδιαίτερης σημασίας αναφοράς το γεγονός ότι τα βιοκαύσιμα έχουν την δυνατότητα να ανακατεύονται και να δημιουργούν μίγματα με τα συμβατικά καύσιμα σε οποιοδήποτε ποσοστό, έχοντας αντίστοιχο συμβολισμό, για παράδειγμα το αρκετά διαδεδομένο καύσιμο που περιέχει 20% βιοντήζελ και 80% πετρέλαιο, κατ' όγκο, συμβολίζεται B20 [*Pahl,2005*].

Σήμερα το βιοντήζελ χρησιμοποιείται σε πετρελαιοκινητήρες, μόνο του ή σε μίγμα με πετρέλαιο κίνησης. Τα μίγματα μέχρι 20% βιοντήζελ με πετρέλαιο κίνησης (B20) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν σε όλες τις μηχανές ντίζελ και είναι συμβατά με τον υπάρχοντα εξοπλισμό αποθήκευσης και διανομής. Αυτά τα χαμηλά μίγματα (5-20%) γενικά δεν απαιτούν τροποποιήσεις των μηχανών. Με τέτοιου είδους μείγματα αντιμετωπίζεται και το πρόβλημα πήξης των βιοκαυσίμων σε χαμηλές θερμοκρασίες (εκτός από τη λύση της προσθήκης κατάλληλων χημικών), καθώς π.χ. το βιοντήζελ έχει σημείο πήξης μόλις στους 272K [*Bozbas, 2005*]. Από την άλλη πλευρά, πρέπει να αξιολογηθεί το γεγονός ότι η τοποθέτηση μείγματος (π.χ. βιοντήζελ, πετρέλαιο) σε δεξαμενές που προϋπήρχε μόνο πετρέλαιο, έχει ως αποτέλεσμα το βιοκαύσιμο να αποικοδομεί πιθανά κατακάθια που προϋπήρχαν στη δεξαμενή, εξαιτίας της παρουσίας σκέτου συμβατικού πετρελαίου, με αποτέλεσμα τα σχετικά φίλτρα να απαιτούν συχνό καθάρισμα. Τα υψηλότερα μίγματα, ακόμη και το καθαρό βιοντήζελ (βιοντήζελ 100%, ή B100), μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μηχανές που κατασκευάστηκαν την τελευταία δεκαετία, με ελάχιστη ή καμία τροποποίηση.

Ανάλυση κύκλου ζωής απαιτείται και στα υγρά απόβλητα που παράγουν τα βιοκαύσιμα συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα. Στην περίπτωση που το βιοντήζελ αντικαθιστά το πετρέλαιο η μείωση των υγρών αποβλήτων ειναι της τάξης του 79% [*Sheehan et. al, 1998*].

Η ανάλυση του κύκλου ζωής λαμβάνει υπόψη ότι τα βιοκαύσιμα δεν είναι τοξικά, αλλά αντίθετα είναι βιοαποικοδομήσιμα [*Korbitz, 1993*], ενώ είναι ασφαλέστερα κατά τη μεταφορά και την αποθήκευση τους, καθώς η θερμοκρασία ανάφλεξης τους είναι υψηλότερη από των ορυκτών καυσίμων [*Bozbas, 2005*].

2.8 ΒΙΟΝΤΗΖΕΛ

Όταν ο Δρ Rudolf Diesel παρουσίασε την καινοτόμο μηχανή του στην παγκόσμια έκθεση του 1900 στο Παρίσι η οποία λειτούργησε με φυτικό έλαιο (φιστικιών). Η δήλωσή του στο χρόνο ήταν "η μηχανή diesel μπορεί να κινηθεί με τα φυτικά έλαια και θα βοηθούσε αρκετά στην ανάπτυξη της γεωργίας των χωρών που την χρησιμοποιούν." Αυτή η δήλωση είναι τόσο αληθινή σήμερα όπως ήταν στην έναρξη του τελευταίου αιώνα. Αλλά και όταν κατά την περίοδο του 2ου παγκοσμίου πολέμου «ο άξονας» αντιμετώπιζε έλλειψη υγρών καυσίμων (κυρίως πετρελαίου) για την πραγματοποίηση των μεγαλεπήβολων στόχων της, στράφηκε σε επιστημονικές έρευνες για την αντικατάσταση του πετρελαίου από φυτικά έλαια.

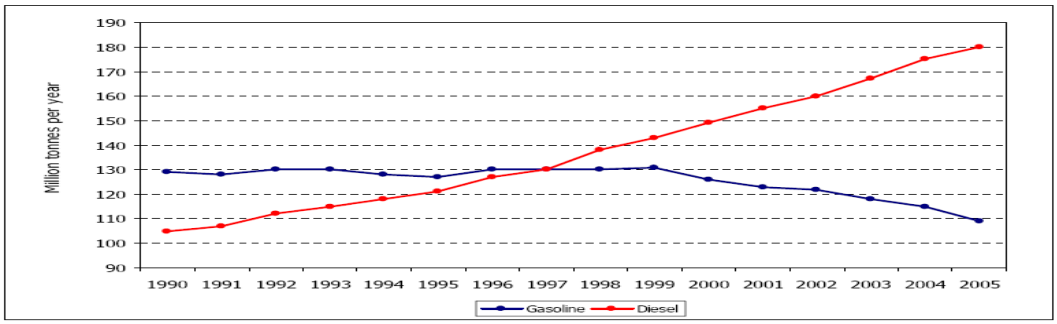
Το βιοντήζελ, ένα υποσχόμενο, βιολογικό καύσιμο, ο μεθυλεστέρας ο οποίος παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους (ηλίανθος, ελαιοκράμβη, κ.α.) που περιέχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε λάδι. Το λάδι μετατρέπεται σε ένα σύγχρονο καύσιμο τύπου ντήζελ, με ιδιότητες σχεδόν σαν του ντήζελ προερχόμενου από ορυκτό πετρέλαιο με ανασκευή των μοριακών του αλυσίδων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του ή σε μίγμα για πετρελαιοκινητήρες (παρ.2.7). Το βιοντήζελ υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις των μηχανών εσωτερικής καύσης τύπου ντήζελ, γιατί έχει το πλεονέκτημα του καλύτερου ιξώδους (μεγαλύτερη λιπαντική ικανότητα), καθόλου θείο, και μολύνει λιγότερο την ατμόσφαιρα. Ο κύριος τρόπος παραγωγής του βιοντήζελ είναι η μετεστεροποίηση των φυτικών ελαίων (παράρτημα 5).

Η ανάγκη για τη χρήση εναλλακτικών και ανανεώσιμων καυσίμων έναντι του πετρελαίου και των προϊόντων του έχει αρχίσει να παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στον ανεπτυγμένο κόσμο, τόσο για περιβαλλοντικούς όσο και για οικονομικούς και διαχειριστικούς λόγους. Η Ευρωπαϊκή Ένωση και ασφαλώς η Ελλάδα εξαρτώνται σημαντικά από μεγάλες εισαγωγές ορυκτών καυσίμων. Έτσι, σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας, υπάρχει ανάγκη προώθησης όλων των εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών και όχι μόνο. Ένα υποσχόμενο βιοκαύσιμο, παραπλήσιο και άριστο υποκατάστατο του συμβατικού ντίζελ, το οποίο προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (βιομάζα) όπως είναι τα φυτικά έλαια και τα ζωικά λίπη. Θεωρείται ως το πλέον διαδεδομένο βιοκαύσιμο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο αυτούσιο όσο και σε διάφορες αναλογίες σε μίγματα με το συμβατικό ντίζελ.

Ανάλυση της παγκόσμιας αγοράς βιοντήζελ

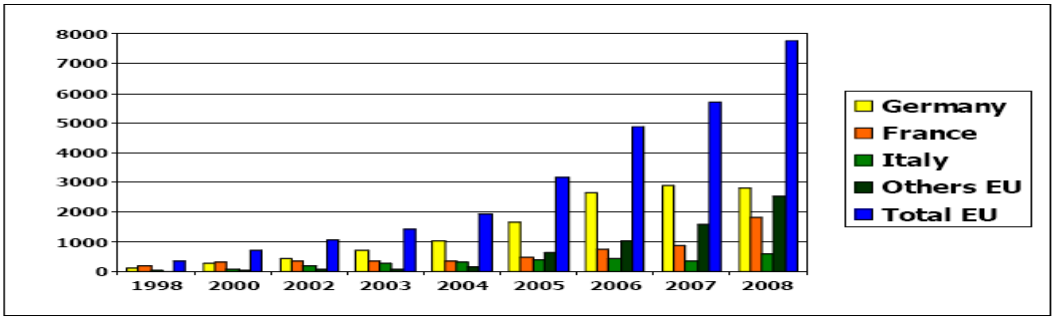
Η παγκόσμια παραγωγή βιοντήζελ έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι μακράν ο κύριος παραγωγός βιοντήζελ σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτή η αύξηση θα συμβάλει σημαντικά στην ενίσχυση της οικονομίας, στη μείωση του ελλείμματος diesel και στην υλοποίηση των φιλόδοξων στόχων της Ε.Ε. για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου καθώς και στην προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Με την υπάρχουσα δυνατότητα παραγωγής βιοντήζελ πιστεύεται ότι μπορεί να επιτευχθεί ο δεσμευτικός στόχος του 10% για την κατανάλωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα των μεταφορών, ο οποίος έχει καθιερωθεί από την οδηγία 2009/28 και μπορεί να αποτελέσει το κύριο βιολογικό καύσιμο για την εκπλήρωση αυτού του στόχου μέχρι το 2010.

Επιπλέον, η αγορά των νέων αυτοκινήτων diesel συνεχώς αυξάνεται (70% των νέων αυτοκινήτων στη Γαλλία, Ιταλία, Βέλγιο είναι αυτοκίνητα diesel) στις χώρες της Ε.Ε., με συνέπεια να αυξάνεται η ανάγκη για το εισαγόμενο diesel ενώ παράλληλα η απαίτηση βενζίνης μειώνεται (σχήμα 2.13) εξασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο το βιοντήζελ ένα σημαντικό βιοκαύσιμο για την στρατηγική ενεργειακής ασφάλειας της Ευρώπης [*Eurostat*].



Σχήμα 2.13: Η απαίτηση καυσίμων μηχανών στην ΕΕ - 27: Το diesel συνεχίζει την ισχυρή αύξησή του, η απαίτηση βενζίνης μειώνεται, Source: Eurostat

Σε διεθνές επίπεδο, η Ευρώπη παραμένει η μεγαλύτερη παγκόσμια παραγωγός και καταναλωτής βιοντήζελ. Η τάση παραγωγής βιοντήζελ στις χώρες της Ε.Ε. απεικονίζεται στο σχήμα 2.14



Σχήμα 2.14: Τάση στην παραγωγή βιοντήζελ της Ε.Ε., Πηγή: EBB

Αναλυτικότερα, η γενική παραγωγή της Ε.Ε. σε βιοντήζελ αυξήθηκε κατά 30-35% μεταξύ του 2002 και 2003 [*EBB, 2003*]. Για το έτος 2004, από 1.9 εκατομμύρια τόνους αυξήθηκε σε σχεδόν 3.2 εκατομμύριο τόνους το 2005, αντιπροσωπεύοντας μια πρωτοφανές 65% ετήσια αύξηση [*EBB, 2005*]. Η γενική παραγωγή βιοντήζελ στην Ε.Ε. αυξήθηκε σε σχεδόν 4.9 εκατομμύρια τόνους το 2006, αντιπροσωπεύοντας μια ετήσια αύξηση 54% συγκριτικά με το προηγούμενο έτος [*EBB, 2006*]. Το 2007, η Ε.Ε. παρήγαγε 68% του βιοντήζελ που κατασκευάστηκε παγκοσμίως. Τα επίσημα όμως στατιστικά στοιχεία της EBB παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερο ρυθμό ανάπτυξης για το έτος 2007 έναντι των προηγούμενων ετών. Η παραγωγή αυξήθηκε από 4.9 εκατομμύριο τόνους το 2006 σε 5.7 εκατομμύρια το 2007, αντιπροσωπεύοντας μια ετήσια αύξηση μόνο 16.8% έναντι 54% του 2006 και 65% του 2005 [*EBB, 2007*].
Με 7.7 εκατομμύρια τόνους, η παραγωγή του 2008 αυξήθηκε κατά μόνο 35.7% έναντι του επιπέδου του 2007 (επάνω από 5.7 εκατομμύριο τόνους) [*EBB, 2008*]. Το 2008, το βιοντήζελ αποτέλεσε το 78% των βιολογικών καυσίμων που καταναλώθηκαν στην Ε.Ε. (η παραγωγή βιοαιθανόλης της Ε.Ε. το 2008 ήταν 2.2 εκατομμύριο τόνοι). Το 2009, η ικανότητα παραγωγής έχει αυξηθεί κατά 31% έναντι του 2008 [*EBB, Ιούλιος 2009*].
Παράλληλα, η αμερικανική βιομηχανία έχει αυξηθεί εκθετικά τα τελευταία πέντε χρόνια. Η αμερικανική παραγωγή που τριπλασιάστηκε το 2005, τριπλασιάστηκε πάλι το 2006 και διπλασιάστηκε το 2007 για να φθάσει σε 450 εκατομμύριο γαλόνια (περίπου 1.5 εκατομμύριο τόνοι), μια αύξηση που οδηγείται κυρίως από αντίστοιχες επιδοτήσεις [*EBB, 2008*]. Συγχρόνως το 2007, οι ΗΠΑ εξήγαγαν περίπου 1 εκατομμύριο τόνους του βιοντήζελ προς την Ε.Ε. [*EBB,2008*]. Παρόλα ταύτα, η Ε.Ε. αποτελεί την κυρίαρχη θέση σε παγκόσμιο επίπεδο από την άποψη της παραγωγής βιοντήζελ, με κοντά σε 65% της παραγωγής παγκόσμιου βιοντήζελ. Στον πίνακα 2.7 εμφανίζονται οι 4 ευρωπαικές χώρες που συμβάλλουν σημαντικά στην παραγωγή του βιοντήζελ.

	Παραγωγή βιοντήζελ (σε μετρικούς tn) σε 4 χώρες της Ε.Ε.			
Χώρα	**Γερμανία**	**Γαλλία**	**Ιταλία**	**Ισπανία**
2003	715	357	273	
2004	1.035	348	320	13
2005	1.669	492	396	73
2006	2.662	743	447	99
2007	2.890	872	363	168
2008	2.819	1.815	595	207

Πίνακας 2.7: Παραγωγή βιοντήζελ σε 4 χώρες της Ε.Ε. (Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία), (αντιστοιχία σε 1.000tn πετρελαίου), Πηγή: EBB

Συμπερασματικά, η Ευρώπη έχει τη δυνατότητα να επιτύχει την αλλαγή κλίματος, την αγροτική ανάπτυξη και την ασφάλεια των στόχων ενεργειακού εφοδιασμού βασισμένων στην ανάπτυξη της ευρωπαϊκής βιομηχανίας βιοντήζελ μέχρι σήμερα. Η υπάρχουσα βιομηχανική παραγωγή βιοντήζελ της Ε.Ε. αυξάνεται με μεγάλους ρυθμούς αλλά υπάρχει η δυνατότητα για ακόμα μεγαλύτερους. Στατιστικές του 2007, δείχνουν ότι η βιωσιμότητα των ευρωπαϊκών αγορών διαβρώνεται από τον αθέμιτο συναγωνισμό των ΗΠΑ και την ακατάλληλη εφαρμογή των πολιτικών κρατών μελών [*EBB, 2008*]. Οι παραγωγοί βιοντήζελ της Ε.Ε. πιστεύουν ότι θα δοθούν τα κίνητρα για την ανάπτυξη του βιοντήζελ. Πιστεύεται ότι θα δημιουργηθούν κατάλληλες νομοθετικές και συνθήκες αγοράς ώστε να εκμεταλλευτούν πλήρως τις ευκαιρίες που συνδέονται με την ανάπτυξη των αγορών βιοντήζελ, ειδικότερα με την οριστική υιοθέτηση ενός 10% δεσμευτικού στόχου για τα βιολογικά καύσιμα.

Ποια είναι τα πλεονεκτήματα του βιοντήζελ

Ως προϊόν ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το βιοντήζελ είναι καθαρό, μη τοξικό και βιοαποικοδομήσιμο καύσιμο, δεν περιέχει αρωματικές ενώσεις και οι εκπομπές των ρυπαντών οξειδίων του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα, άκαυστων υδρογονανθράκων και αιθάλης που προέρχονται από την καύση του στις μηχανές ντίζελ είναι πολύ χαμηλές. Η παρουσία του θείου στα καύσιμα ευθύνεται για τα οξείδια του θείου (SOx) στα καυσαέρια τα οποία αποτελούν έναν από τους κυριότερους ρύπους του ντίζελ. Στο

βιοντήζελ η περιεκτικότητα σε θείο είναι πάρα πολύ μικρή, σχεδόν μηδενική. Επίσης, το βιοντήζελ περιέχει αρκετό οξυγόνο (περίπου 10% κ.β.) που καθιστά την καύση λιγότερο ατελή, με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO), σε άκαυστους υδρογονάνθρακες (H/C) και σε αιθάλη να είναι πολύ μικρότερη απ΄ότι στο συμβατικό ντίζελ. Επιπλέον, η καύση του βιοντήζελ δεν αυξάνει το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, αφού η ποσότητα του CO_2 που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης αφομοιώνεται στη συνέχεια από το φυτό κατά τη φωτοσύνθεση.

Εκτός από το γεγονός ότι πλεονεκτεί ως ανανεώσιμο καύσιμο το βιοντήζελ εμφανίζει παρόμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες με το συμβατικό ντίζελ, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έχει και καλύτερα χαρακτηριστικά από αυτό, όπως μεγαλύτερο σημείο ανάφλεξης οπότε είναι ασφαλέστερο στη χρήση, μικρότερη ποσότητα θείου αλλά μεγαλύτερη λιπαντική ικανότητα λόγω του οξυγόνου που περιέχει και μεγαλύτερο αριθμό κετανίου. Η μείωση του περιεχόμενου θείου που επιβάλλεται στα ορυκτά καύσιμα έχει αρνητική επίδραση στη λίπανση του κινητήρα γιατί μειώνονται οι λιπαντικές ενώσεις του θείου. Έτσι, τα διυλιστήρια κάνουν χρήση πανάκριβων και ταυτόχρονα μη βιοαποικοδομήσιμων πρόσθετων για την επαναφορά της λιπαντικότητας του καυσίμου. Η προσθήκη, όμως, του βιοντήζελ στο πετρελαϊκό ντίζελ, ακόμα και σε περιεκτικότητες μικρότερες από 1% κ.β., επαναφέρει τη λιπαντική ικανότητα του καυσίμου, οπότε με τη χρήση του βιοντήζελ παρατείνεται η ζωή του πετρελαιοκινητήρα και τα διυλιστήρια εξοικονομούν αρκετά χρήματα. Ο μεγαλύτερος αριθμός κετανίου που παρουσιάζει το βιοντήζελ έναντι του συμβατικού ντίζελ αντισταθμίζει το γεγονός ότι κατά την καύση του το βιοντήζελ απελευθερώνει ενέργεια μικρότερη από την ενέργεια που απελευθερώνει το συμβατικό ντίζελ. Έτσι η απόδοση ενός πετρελαιοκινητήρα που κινείται με καθαρό βιοντήζελ κυμαίνεται τουλάχιστον στα επίπεδα του συμβατικού ντίζελ. Επίσης, το βιοντήζελ είναι κατάλληλο για τους ήδη υπάρχοντες πετρελαιοκινητήρες, όπου δεν χρειάζεται να γίνει σχεδόν καμία μετατροπή ακόμα και αν χρησιμοποιηθεί αμιγές βιοντήζελ. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την παραγωγή, διεργασίες και το κόστος του βιοντήζελ αναφέρονται στο παράρτημα 5.

<u>Βιοντήζελ και περιβάλλον</u>

Κύριο πλεονέκτημα του βιοντήζελ είναι ότι θεωρητικά μπορεί να είναι CO_2-ουδέτερο, κατά την καύση του εκπέμπονται μικρότερες ποσότητες ρύπων, είναι βιοαποδομήσιμο, ενώ πρακτικά δεν παράγει οξείδια του θείου και αρωματικές (καρκινογόνες) ενώσεις. Το βιοντήζελ συμβάλλει στην αειφορία.

Εστιάζοντας στις **καθαρές εκπομπές CO_2** από τη χρήση του βιοντήζελ ως καύσιμο, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των εκπομπών κατά την παραγωγή (καλλιέργεια & βιομηχανία) και την καύση, τα αποτελέσματα ποικίλουν ανάλογα:

- με την πρώτη ύλη,
- τη μέθοδο παραγωγής
- και το είδος του παραγόμενου βιοντήζελ.

Γενικά, βάσει των υπαρχουσών μελετών θα μπορούσε να λεχθεί ότι το βιοντήζελ συντελεί σε μείωση 40% - 70% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με το πετρέλαιο κίνησης [*http://bioenergynews.blogspot.com].*

Επιπλέον, χρησιμοποίηση του βιοντήζελ σε μια συμβατική πετρελαιοκίνητη μηχανή μειώνει ουσιαστικά τις εκπομπές των άκαυστων υδρογονανθράκων, το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του θείου, τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, τους νιτρωμένους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, και τα σωματίδια. Αυτή η μείωση αυξάνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό του βιοντήζελ στο καύσιμο μίγμα. Στον πίνακα 2.8 εμφανίζονται δεδομένα εκπομπών βιοκαυσίμων από μελέτη που υλοποιήθηκε από την ελληνική εταιρεία BioEnergia παραγωγής βιοκαυσίμου (βιοντήζελ) που εδρεύει στην Χαλκιδική. Για παράδειγμα, χρήση B20 (μίγμα 20% βιοντήζελ + 80% πετρέλαιο κίνησης) οδηγεί σε μείωση κατά 12% του μονοξειδίου του άνθρακα και των σωματιδίων και κατά 20% των υδρογονανθράκων, σε σχέση με το πετρέλαιο κίνησης. Κατ' αντιστοιχία η καύση B100 (καθαρό βιοντήζελ) οδηγεί σε μείωση των συγκεκριμένων

ρύπων κατά 48% (CO, σωματίδια) και 67% (υδρογονάνθρακες) (Πίνακας 2.8)[*Πηγή: http://www.bioenergia.gr*]. Αντίθετα, με τη χρήση βιοντήζελ, οι εκπομπές των οξειδίων αζώτου αυξάνονται 2-10%, αυξανομένης της περιεκτικότητας του βιοντήζελ στα καύσιμα.

Εκπομπές % για B100 **και** B20 **σε σύγκριση με του συμβατικού ντίζελ**		
Εκπομπή	B100*	B20*
Μονοξείδιο του άνθρακα	-48%	-12%
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες	-67%	-20%
Σωματίδια	-47%	-12%
Οξείδια του αζώτου	+10%	+2%
Οξείδια του Θείου	-100%	-20%
Τοξικά αέρια	-60% έως -90%	-12% έως -20%

Πίνακας 2.8: Εκπομπές % για B100 και B20 συγκρινόμενα με το συμβατικό diesel, ***B100 **(100% Βιοντήζελ), B20 **(μίγμα αποτελούμενο από 20% Βιοντήζελ και 80% ντίζελ), Πηγή: http://www.bioenergia.gr**

Εκτός από τη μείωση της μη σημειακής ρύπανσης που οφείλεται στις εκπομπές αέριων ρύπων, το βιοντήζελ δεν προκαλεί σημαντική σημειακή ρύπανση, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση ατυχημάτων ή διαρροών πετρελαιοειδών. Συγκεκριμένα, το βιοντήζελ βιοαποδομείται κατά 80% σε 28 ημέρες [*http://bioenergynews.blogspot.com*]. Αν για παράδειγμα γίνει κάποιο ναυτικό ατύχημα σε τάνκερ που μεταφέρει βιοντήζελ, το διαρρέον έλαιο στη θάλασσα κάλλιστα θα μπορούσε να αποτελέσει τροφή των ψαριών και όχι τοξικό παράγοντα όπως το πετρέλαιο.

Ένα δεύτερο κρίσιμο θέμα από περιβαλλοντικής άποψης είναι **το ενεργειακό ισοζύγιο της αλυσίδας παραγωγής βιοντήζελ**, δηλαδή την ποσότητα ενέργειας (εισροές) που δαπανάται κατά την παραγωγική διαδικασία και προέρχεται από ορυκτά καύσιμα σε σχέση με την τελική ενέργεια που παρέχει το βιοντήζελ (εκροές). Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), με τη σημερινή πρακτική καταναλώνεται 1 μονάδα ορυκτού καυσίμου για να παραχθούν 3,3 μονάδες βιοντήζελ, δηλαδή 1L ντίζελ για παραγωγή βιοντήζελ που ισοδυναμεί με 3,3L ντίζελ. Στην περίπτωση της παραγωγής βιοντήζελ από ελαιοκράμβη, το ενεργειακό ισοζύγιο της παραγωγικής αλυσίδας είναι περίπου 2 εάν ληφθεί υπόψη μόνο το παραγόμενο βιοντήζελ, ενώ ανέρχεται σε 3, στην περίπτωση αξιοποίησης και των υποπροϊόντων.

Συμπέρασμα για το βιοντήζελ

Το **βιοντήζελ πρώτης γενιάς** από ελαιούχους σπόρους, είναι οριακά βιώσιμο τόσο από οικονομική όσο και από περιβαλλοντική άποψη. Από οικονομικής άποψης, δεν αναμένεται μεγάλη βελτίωση της παραγωγικής αλυσίδας (καλλιέργεια και βιομηχανία) δηλαδή εντυπωσιακή συμπίεση του κόστους παραγωγής, τουλάχιστον στις αναπτυγμένες χώρες. Βέβαια σε περίπτωση συνεχούς ανόδου της τιμής πετρελαίου το βιοντήζελ γίνεται ανταγωνιστικό.

Δεδομένου ότι το κόστος παραγωγής της καλλιέργειας αντιπροσωπεύει περίπου το 80% του τελικού κόστους παραγωγής του βιοντήζελ, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν αναμένεται ιδιαίτερη συμπίεση του κόστους παραγωγής των ελαιοδοτικών καλλιεργειών (κράμβη, ηλίανθος, σόγια) μέσω της αύξησης της παραγωγικότητας (κιλά παραγόμενου σπόρου ανά μονάδα επιφάνειας) ή ανάπτυξης νέων καλλιεργητικών τεχνικών και τεχνολογιών. Επίσης σε επίπεδο βιομηχανίας δεν υπάρχουν μεγάλα περιθώρια αύξησης της αποδοτικότητας της βιομηχανικής παραγωγής. Το κόστος παραγωγής μπορεί να συμπιεστεί μόνο σε επίπεδο χρήσης ζωικών λιπών και τηγανόλαδων, καθώς και με μικρή αύξηση του ποσοστού ελαίου που παραλαμβάνεται από τους σπόρους με χρήση νέων χημικών μεθόδων συγκριτικά με τις εφαρμοζόμενες μηχανικές μεθόδους.

Από **περιβαλλοντικής άποψης**, το βιοντήζελ πρώτης γενιάς έχει το χειρότερο ενεργειακό ισοζύγιο συγκρινόμενο με τα υπόλοιπα βιοκαύσιμα (βιοαιθανόλη, πελλέτες, βιοαέριο). Συγκεκριμένα, ο λόγος εκροές/εισροές δηλαδή η ποσότητα της τελικής

ενέργειας που παρέχει το βιοντήζελ (εκροές) προς την ενέργεια που δαπανάται κατά την παραγωγική διαδικασία και προέρχεται από ορυκτά καύσιμα (εισροές) διαμορφώνεται σε 2,5 για παραγωγή βιοντήζελ από ελαιοκράμβη, όταν ξεπερνά το 8 για παραγωγή αιθανόλης από ζαχαροκάλαμο και είναι πάνω από 22 για παραγωγή στερεού καυσίμου (πελλέτας) από καλλιέργειες όπως το ινώδες σόργο ή την αγριαγκινάρα**.** Όπως και στην περίπτωση της βιοαιθανόλης, έτσι και για το βιοντήζελ το μέλλον είναι σε μεθόδους παραγωγής του βιοντήζελ από κάθε είδος βιομάζα (συμπεριλαμβανομένης και αυτής από φύκη) δηλαδή βιοντήζελ δεύτερης γενιάς το οποίο σε βιομηχανική κλίμακα βρίσκεται προς το παρόν σε πιλοτικό στάδιο. Στην περίπτωση που επιτευχθεί η οικονομικότητα της παραγωγής βιοντήζελ από κυτταρινούχες πρώτες ύλες και γίνει φθηνή η βιομηχανική παραγωγή του, τότε θα μιλάμε για καύσιμο από μη διατροφικές πρώτες ύλες.

Έτσι η παραγωγή θα γίνεται σε ευρεία κλίμακα από απόβλητα όπως γεωργικά υπολείμματα (άχυρο, βαμβακοστελέχη, κλαδοδέματα κτλ), υπολείμματα υλοτομίας (πχ πριονίδια), οικιακά απορρίμματα και προϊόντα χαρτιού. Επίσης βιοντήζελ θα παράγεται από ταχυαυξή μη διατροφικά φυτά με πολύ μεγάλη στρεμματική παραγωγή βιομάζας όπως ινώδες σόργο, καλάμι, αγριαγκινάρα και κεχρί. Τέλος, μεγάλες προοπτικές διαφαίνονται και για την παραγωγή βιοντήζελ από άλγη, με όλες τις αισιόδοξες περιβαλλοντικές, διατροφικές και οικονομικές προεκτάσεις.

2.9 ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ

Το πρώτο καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε ως υποκατάστατο της βενζίνης σε κινούμενα οχήματα είναι η βιοαιθανόλη. Η ιστορία της βιοαιθανόλης ως καυσίμου κίνησης ξεκινά το 1908 όταν ο Χένρυ Φορντ κατασκεύασε το πρώτο αυτοκίνητο, το αλκοολοκίνητο μοντέλο Ford T, δηλώνοντας ότι τα καύσιμα του μέλλοντος θα προέρχονται από μήλα, ζιζάνια ή ροκανίδια.

Η βιοαιθανόλη παράγεται κυρίως από την αλκοολική ζύμωση της ζάχαρης. Μπορεί επίσης να συντεθεί βιομηχανικά από την χημική αντίδραση του αιθυλενίου με ατμό. Αναλυτικότερα για την παραγωγή, τις διεργασίες και το κόστος της βιοαιθανόλης δίνονται στο παράρτημα 6. Οι κύριες πηγές ζάχαρης που απαιτούνται για την παραγωγή αιθανόλης προέρχονται από ενεργειακές καλλιέργειες, δηλ από καλλιέργειες που αναπτύσσονται ειδικά για ενεργειακούς σκοπούς. Οι καλλιέργειες αυτές μπορεί να είναι το σόργο, τα τεύτλα, το καλαμπόκι, το σιτάρι, τα άχυρα, το ξύλο ιτιάς και άλλων δέντρων, το πριονίδι, ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και άλλες. Παράλληλα, βρίσκονται σε εξέλιξη έρευνες σχετικά με την αξιοποίηση των δημοτικών στερεών αποβλήτων για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

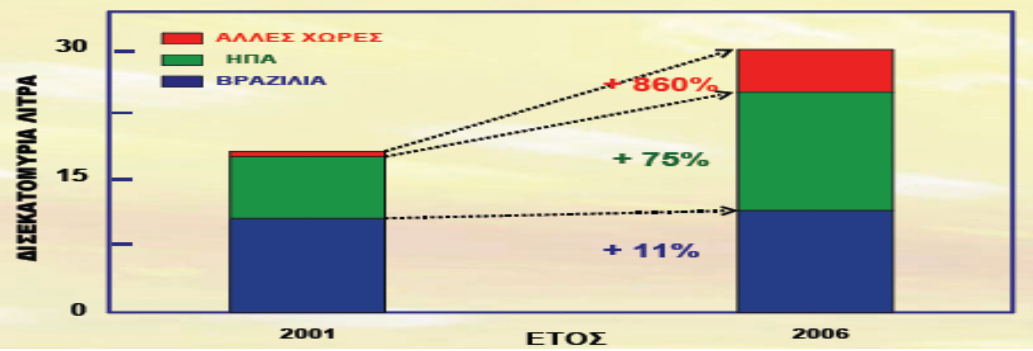
<u>Ανάλυση της παγκόσμιας αγοράς αιθανόλης</u>

Οι Βραζιλία και ΗΠΑ παράγουν το 75% περίπου της αιθανόλης του πλανήτη με την εν λόγω βιομηχανία να γνωρίζει ραγδαία ανάπτυξη. Ήδη ακούγονται προτάσεις για δημιουργία καρτέλ αιθανόλης από τις δύο χώρες αντίστοιχου με τον ΟΠΕΚ. Επίσης, σε χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία έχουν επίσης ξεκινήσει τεράστια προγράμματα ανάπτυξης της βιομηχανίας αιθανόλης. Πρόσφατα και η ρωσική κυβέρνηση ανακοίνωσε πρόγραμμα ανάπτυξης της βιομηχανίας αιθανόλης, επιδοτώντας την κατασκευή 30 νέων εργοστασίων συνολικής ετήσιας δυναμικότητας 2.000.000 τόνων.
[*http://bioenergynews.blogspot.com/2008/04/blog-post_03.html*].

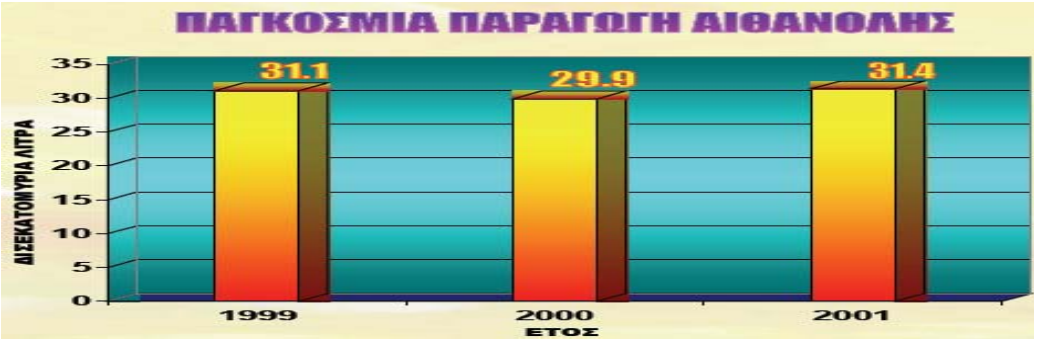
Πρωταθλητής σε αυτή την προσπάθεια αναδεικνύεται προς το παρόν η Βραζιλία, που με τις απέραντες φυτείες ζαχαροκάλαμου, τη μεγάλη βροχόπτωση και το φθηνό εργατικό δυναμικό παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα αιθανόλης παγκοσμίως και έχει αντικαταστήσει με αυτήν το 20% στην κατανάλωση καυσίμων για μεταφορές. Το ενεργειακό θαύμα της Βραζιλίας στα βιοκαύσιμα ξεκινά το 1973, όταν ο τότε δικτάτορας στρατηγός Γκάιζελ, λόγω της πετρελαϊκής κρίσης (εμπάργκο ΟΠΕΚ) και της εκτόξευσης των τιμών πετρελαίου παγκοσμίως, δημιούργησε το 30ετές πρόγραμμα υποκατάστασης

της βενζίνης από αιθανόλη. Τότε δόθηκαν γενναίες επιδοτήσεις και χρηματοδότησε την κατασκευή εργοστασίων παραγωγής αιθανόλης, εγκατέστησε αντλίες αιθανόλης σε όλα τα πρατήρια καυσίμων της χώρας και έδωσε φορολογικά κίνητρα για τα αλκοολοκίνητα οχήματα. Προφανώς τα αποτελέσματα είναι θεαματικά διότι πέρυσι η κυβέρνηση ανακοίνωσε ότι χάρη στην αιθανόλη και στην αύξηση της εγχώριας παραγωγής πετρελαίου, η Βραζιλία σταματά πλέον την εισαγωγή πετρελαίου και καθίσταται ενεργειακά αυτόνομη. Σήμερα, περισσότερα από τα μισά αυτοκίνητα που κυκλοφορούν στη χώρα είναι αλκοολοκίνητα, ενώ τα υπόλοιπα καταναλίσκουν μίγμα βενζίνης-αλκοόλης σε αναλογία 75%-25% αντίστοιχα. Λειτουργούν 315 εργοστάσια, εκ των οποίων τα 80 κατασκευάστηκαν το 2005. Η καλλιέργεια του ζαχαροκάλαμου αναμένεται να διπλασιαστεί την επόμενη δεκαετία [*http://bioenergynews.blogspot.com/2008/04/blog-post_03.html*].

Στις ΗΠΑ η παραγωγή αιθανόλης γνωρίζει εκρηκτική ανάπτυξη μετά το 2000. Την περίοδο 2000-2006 η παραγωγή αυξήθηκε κατά 300% και πλέον ενώ γενικότερα, η παραγωγή αιθανόλης, από 568 εκ. L το 1981 έφτασε τα 18,4 δις L το 2006, δηλαδή αυξήθηκε κατά 32 φορές περίπου. Το 2006 οι ΗΠΑ εξοικονόμησαν, λόγω της αιθανόλης, 11 δισεκατομμύρια δολάρια από εισαγωγές πετρελαίου. Σχετικά με τα εργοστάσια βιοαιθανόλης στις ΗΠΑ, το 2000 λειτουργούσαν 54 εργοστάσια και σήμερα 130 εργοστάσια ενώ κατασκευάζονται άλλα 84 [*http://bioenergynews.blogspot.com/2008/04/blog-post_03.html*]. Η Citigroup εκτιμά ότι η αμερικανική παραγωγή αιθανόλης θα αυξάνεται με μέσο ετήσιο ρυθμό 10,3% μέχρι το 2012. Πρέπει να σημειωθεί ότι η αμερικάνικη κυβέρνηση στηρίζει επί πολλά χρόνια τον κλάδο παραγωγής αιθανόλης, δίνοντας γενναίες επιδοτήσεις στις συγκεκριμένες βιομηχανίες που αγγίζουν τα 2 $ ανά L αιθανόλης (βάσει της δυναμικότητας των μονάδων παραγωγής αιθανόλης). Η παγκόσμια ζήτηση για αιθανόλη αναμένεται να διπλασιαστεί τα επόμενα δέκα χρόνια, με ότι αυτό συνεπάγεται για την παγκόσμια βιομηχανία βιοαιθανόλης από άποψη επενδύσεων. Η αύξηση ζήτησης βιοαιθανόλης για τα έτη 2001-2006 απεικονίζεται στο σχήμα 2.15 ενώ η παγκόσμια παραγωγή βιοαιθανόλης από το 1999-2001 φαίνεται στο σχήμα 2.16.



Σχήμα 2.15. : Η αύξηση ζήτησης βιοαιθανόλης για τα έτη 2001-2006, Πηγή:C., Berg. 2001. *World Ethanol Production 2001*



Σχήμα 2.16: Παγκόσμια παραγωγή αιθανόλης σε δις L, Πηγή: C., Berg. 2001. World Ethanol Ethanol Production 2001

Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της βιοαιθανόλης

Η αιθανόλη ή αιθυλική αλκοόλη (C_2H_5OH) είναι ένα άχρωμο διαυγές υγρό. Είναι βιοαποικοδομήσιμη, χαμηλής τοξικότητας και προκαλεί πολύ μικρή περιβαλλοντική μόλυνση αν χυθεί στο περιβάλλον. Κατά την τέλεια καύση της παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Η αιθανόλη είναι ένα καύσιμο υψηλού αριθμού οκτανίων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο αύξησης του αριθμού οκτανίου της βενζίνης. Με τη ανάμιξή της με τη βενζίνη επιτυγχάνουμε επίσης τον εμπλουτισμού του καυσίμου μίγματος σε οξυγόνο, με αποτέλεσμα μια πιο ολοκληρωμένη καύση, άρα και μειωμένες εκπομπές επικίνδυνων καυσαερίων.

Μίγματα καυσίμου αιθανόλης με βενζίνη πωλούνται ευρύτατα στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το πιο συνηθισμένο μίγμα είναι αυτό που αποτελείται από 10% αιθανόλη και 90% βενζίνη **(E10)**. Οι κινητήρες των συμβατικών οχημάτων δεν απαιτούν μετατροπή για να κινηθούν με E10**,** επιπλέον η χρήση E10 δεν έχει καμία επίπτωση στην εγγύηση του οχήματος. Μόνο ευέλικτα οχήματα μπορούν να κινηθούν με καύσιμο μίγμα 85% αιθανόλης και 15% βενζίνης **(E85).**

Σήμερα, όλα τα αυτοκίνητα μπορούν να χρησιμοποιήσουν E5 ή E10, δηλαδή μείγμα βενζίνης με 5 ή 10% αιθανόλη, **χωρίς καμία μετατροπή**. Η αιθανόλη έχει 113 οκτάνια και χρησιμοποιείται για την αύξηση του αριθμού οκτανίων της βενζίνης και για τη βελτίωση της ποιότητάς της δηλαδή ως βελτιωτικό καυσίμου (π.χ. ETBE, METBE). Συνήθως πωλείται στα πρατήρια ως μείγμα E10 (10% αιθανόλη + 90% βενζίνης). Η αυτοκινητοβιομηχανία πλέον διαθέτει στο εμπόριο μοντέλα (FFV, Flexible Fuel Vehicle) που χρησιμοποιούν μείγμα E85 (85% αιθανόλη + 15% βενζίνης) ή οποιοδήποτε άλλο μείγμα αιθανόλης-βενζίνης (π.χ. Ford Focus ή Saab BioPower). Το μίγμα E85 έχει αριθμό οκτανίου περίπου 105.Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την παραγωγή, διεργασίες και το κόστος της βιοαιθανόλης αναφέρονται στο παράρτημα 6.

Βιοαιθανόλη και περιβάλλον

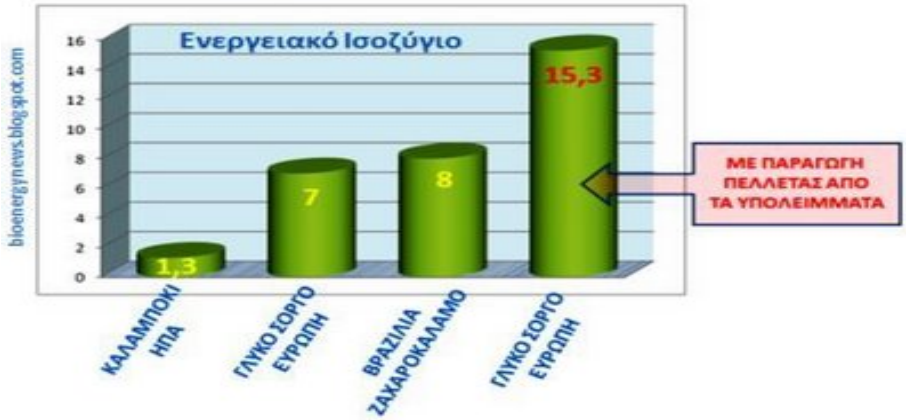
Κύρια πλεονεκτήματα της βιοαιθανόλης σε σχέση με τη βενζίνη είναι ότι θεωρητικά είναι CO_2-ουδέτερη, κατά την καύση της εκπέμπονται μικρότερες ποσότητες ρύπων, είναι βιοαποδομήσιμη και συμβάλλει στην αειφορία, ενώ πρακτικά δεν παράγονται οξείδια του θείου. Επιπρόσθετα, η αιθανόλη δεν περιέχει επικίνδυνους αρωματικούς HC όπως για παράδειγμα βενζένιο το οποίο είναι καρκινογόνο, ενώ πλεονεκτεί και στις εκπομπές μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα.

Ειδικότερα, η προσθήκη 5% αιθανόλης σε βενζίνη μειώνει κατά 7% τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες και κατά 50% τις εκπομπές CO_2. Έρευνες στη Γαλλία δείχνουν ότι ανάμιξη αιθανόλης κατά 5-7% με βενζίνη μειώνει τις εκπομπές CO_2 κατά 15-40% με αντίστοιχες μελέτες στις ΗΠΑ να δείχνουν μείωση κατά 11-30% [*http://bioenergynews.blogspot.com/2008/04/blog-post_03.html*]**.**

Επίσης η χρήση της βιοαιθανόλης ως καύσιμο οδηγεί σε μείωση της φωτοχημικά σχηματιζόμενης αιθαλομίχλης στην ατμόσφαιρα. Εκτός από τη μείωση της μη σημειακής ρύπανσης που οφείλεται στις εκπομπές αέριων ρύπων, η βιοαιθανόλη δεν προκαλεί σημαντική σημειακή ρύπανση, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση ατυχημάτων ή διαρροών πετρελαιοειδών, διότι έχει πολύ χαμηλή τοξικότητα σε σχέση με τα πετρελαιοειδή και είναι άμεσα βιοαποδομήσιμη στο νερό και το έδαφος.

Εστιάζοντας στις **καθαρές εκπομπές CO_2 από τη χρήση αιθανόλης ως καύσιμο**, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των εκπομπών κατά την παραγωγή (καλλιέργεια & βιομηχανία) και την καύση, τα αποτελέσματα ποικίλουν ανάλογα με την πρώτη ύλη και τη μέθοδο παραγωγής. Στο μοντέλο των ΗΠΑ, δηλαδή την παραγωγή αιθανόλης από καλαμπόκι, η μείωση CO_2 είναι μόνο 15-25% σε σχέση με τη βενζίνη. Αντιθέτως, η αιθανόλη που παράγεται ζαχαροκάλαμο με το βραζιλιάνικο μοντέλο, συντελεί σε μείωση μέχρι και 90% των εκπομπών CO_2 σε σχέση με τη βενζίνη. Τέλος η χρήση κυτταρινικής αιθανόλης μειώνει τις εκπομπές CO_2 κατά 70-90%, ενώ στην περίπτωση που κατά την παραγωγική διαδικασία γίνει και συμπαραγωγή θερμότητας – ηλεκτρισμού από τη βιομάζα, τότε οι εκπομπές CO_2 είναι μηδενικές (100% μείωση) [*http://bioenergynews.blogspot.com/2008/04/blog-post_03.html*].

Ένα άλλο σημαντικό θέμα είναι το **ενεργειακό ισοζύγιο της αλυσίδας παραγωγής** βιοαιθανόλης, δηλαδή την ποσότητα ενέργειας (εισροές) που δαπανάται κατά την παραγωγική διαδικασία και προέρχεται από ορυκτά καύσιμα σε σχέση με την τελική ενέργεια που παρέχει η αιθανόλη (εκροές) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2.17.



Σχήμα 2.17 : Ενεργειακό Ισοζύγιο της παραγωγής βιοαιθανόλης
(Πηγές National Geographic & LAMNET)

Και στο ενεργειακό ισοζύγιο, το αμερικάνικο μοντέλο έχει τις χειρότερες επιδόσεις, αφού καταναλώνεται 1 μονάδα ορυκτού καυσίμου για να παραχθούν μόνο 1.3 μονάδες αιθανόλης, δηλαδή 1L βενζίνης για παραγωγή αιθανόλης που ισοδυναμεί με 1.3L βενζίνης. Αντιθέτως, στο βραζιλιάνικο μοντέλο καταναλώνεται 1 μονάδα ορυκτού καυσίμου για να παραχθούν 8 μονάδες αιθανόλης από ζαχαροκάλαμο, με προοπτική για 9-13 μονάδες ισοδύναμου βενζίνης όταν γίνεται αξιοποίηση και των στερεών παραπροϊόντων της βιομηχανίας και χρησιμοποιηθούν αυτά για παραγωγή ενέργειας (πχ ηλεκτροπαραγωγή, πελλέτες κ.α). Στην κυτταρινική αιθανόλη το ενεργειακό ισοζύγιο κυμαίνεται από 2 ως 36 ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής.

Κλείνοντας, αξίζει να γίνει αναφορά και για το ενεργειακό ισοζύγιο της παραγωγής αιθανόλης από γλυκό σόργο. Η τυπική ενεργειακή αποδοτικότητα (ενεργειακές εκροές/ενεργειακές εισροές) είναι περίπου 7, ενώ για την περίπτωση που γίνεται παραγωγή αιθανόλης από τα σάκχαρα και συμπαραγωγή στερεών καυσίμων (πελλέτες) από τα υποπροϊόντα της καλλιέργειας (υπολείμματα) τότε η αποδοτικότητα είναι 15.

ΚΕΦ. 3 ΣΚΟΠΟΣ

Όπως προαναφέρθηκε, για τον προσδιορισμό και την πρόβλεψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συμβατικών καυσίμων αλλά και την κατανόηση της χρήσης των βιοκαυσίμων και συγκεκριμένα του βιοντήζελ, είναι αναγκαία η προσομοίωση της χημικής τους σύστασης στην ατμόσφαιρα.

Σκοπό της παρούσας εργασίας αποτελεί ο υπολογισμός των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη του Ηρακλείου Κρήτης, λόγω της κυκλοφορίας οχημάτων κάθε τύπου και της χρήσης συμβατικών καυσίμων από αυτά και πως τα επίπεδα αυτά μεταβάλλονται με τη χρήση βιοκαυσίμων.

Συγκεκριμένα, εκτιμήθηκε η επίδραση των εκπομπών CO, NOx και VOC στο ισοζύγιο του όζοντος O_3 για κάθε περίπτωση (χρήση συμβατικών καυσίμων, χρήση βιοκαυσίμων).

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα αερίων εκπομπών από τα οχήματα συμβατικών καυσίμων σε συνδυασμό με τα δεδομένα κυκλοφορίας των διαφόρων κατηγοριών οχημάτων από στοιχεία οδικών μεταφορών της Κρήτης (έτος 2006), του Υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα εκπομπών από χρήση βιοκαυσίμων σε οχήματα από μελέτη που υλοποιήθηκε από την ελληνική εταιρεία BioEnergia παραγωγής βιοκαυσίμου (βιοντήζελ) που εδρεύει στην Χαλκιδική.

Οι εκπομπές εισήχθησαν σε ένα λεπτομερές χημικό μοντέλο 0 διαστάσεων που χρησιμοποιεί χρήση το υπολογιστικό πακέτο FACSIMILE, το οποίο υπολογίζει κι επιλύει όλες τις διαφορικές εξισώσεις των διεργασιών των χημικών αντιδράσεων των εκπομπών αερίων ρύπων και την επίδραση τους στο όζον της ατμόσφαιρας.

Με το μοντέλο αυτό υπολογίστηκε η επίδραση των εκπομπών λόγω κυκλοφορίας των οχημάτων με συμβατικό καύσιμο αλλά και με αντικατάσταση του με βιοκαύσιμο B20 όσο και με B100.

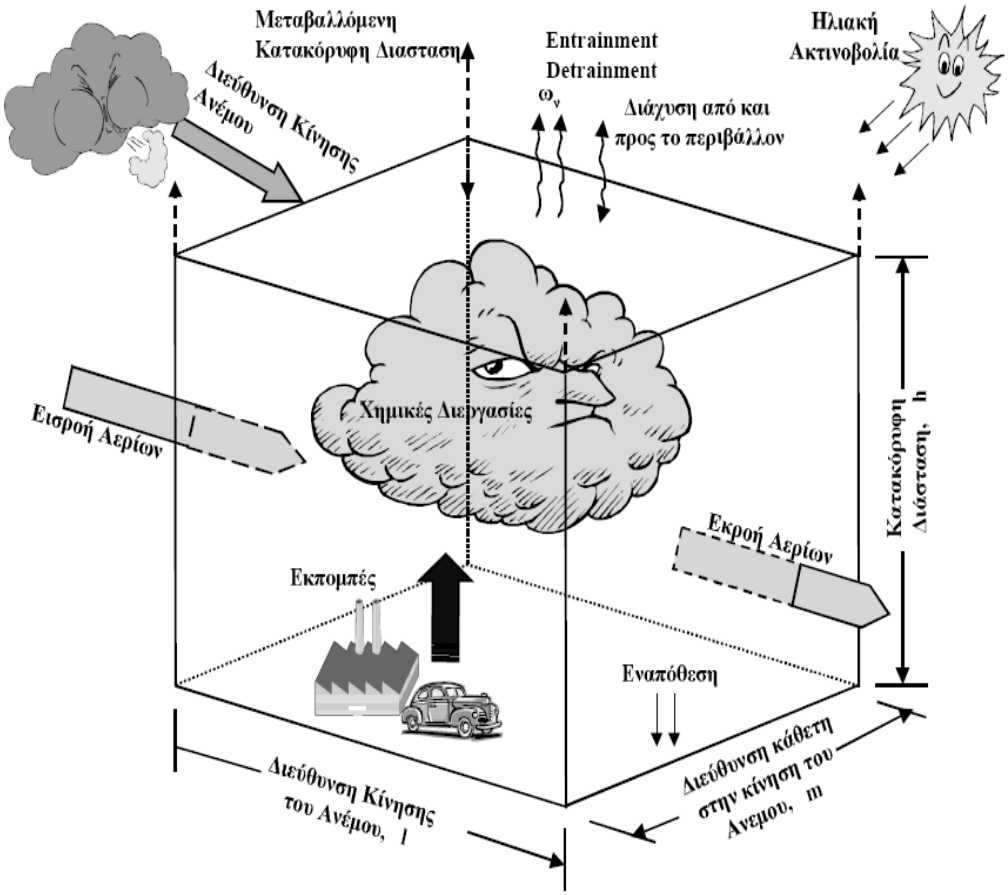
Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται το μοντέλο και οι τροποποιήσεις που έκαναν εφικτή τη χρήση του στην παρούσα μελέτη. Η προσαρμογή των δεδομένων εισόδου για το πρόγραμμα (εκπομπές οχημάτων) και τα πειραματικά δεδομένα προς επεξεργασία από το μοντέλο παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5. Τέλος, το Κεφάλαιο 6 αναλύει την επίδραση των αέριων εκπομπών και την επίδραση της χρήσης βιοκαυσίμων (βιοντήζελ), δηλ. τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

ΚΕΦ. 4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΗΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (FACSIMILE)

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Για την περιγραφή περιβαλλοντικών συστημάτων κάθε είδους, είναι δυνατή η χρήση κάποιων πρότυπων συστημάτων (μοντέλα) τα οποία προσομοιώνουν το προς μελέτη σύστημα, έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η συμπεριφορά του. Στην παρούσα εργασία έχει χρησιμοποιηθεί μοντέλο που αφορά την ατμόσφαιρα, με έμφαση την τροπόσφαιρα, πιο συγκεκριμένα έχει χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο 0-διαστάσεων.

Τα μοντέλα 0-διαστάσεων ή μοντέλα κουτιού (Σχήμα 4.1), θεωρούν ότι το προς μελέτη σύστημα είναι ένα ομοιογενές κουτί στο οποίο δηλαδή, οι αέριες μάζες είναι πολύ καλά αναμεμιγμένες. Συμπεριλαμβάνονται φαινόμενα εκπομπών και εναπόθεσης χημικών ενώσεων. Επίσης, λαμβάνεται υπόψη η μεταφορά των ενώσεων μέσω της οριζόντιας κίνησης των ανέμων καθώς και της κατακόρυφης κίνησης σε μικρότερη κλίμακα από αυτή του κουτιού (*entrainment*). Εφαρμογές μοντέλων κουτιού συμπεριλαμβάνουν μεταξύ άλλων, τη μελέτη της χημείας της τροπόσφαιρας μέσα στο στρώμα ανάμιξης και την απλοποίηση της περιγραφής αναλυτικών χημικών διεργασιών.

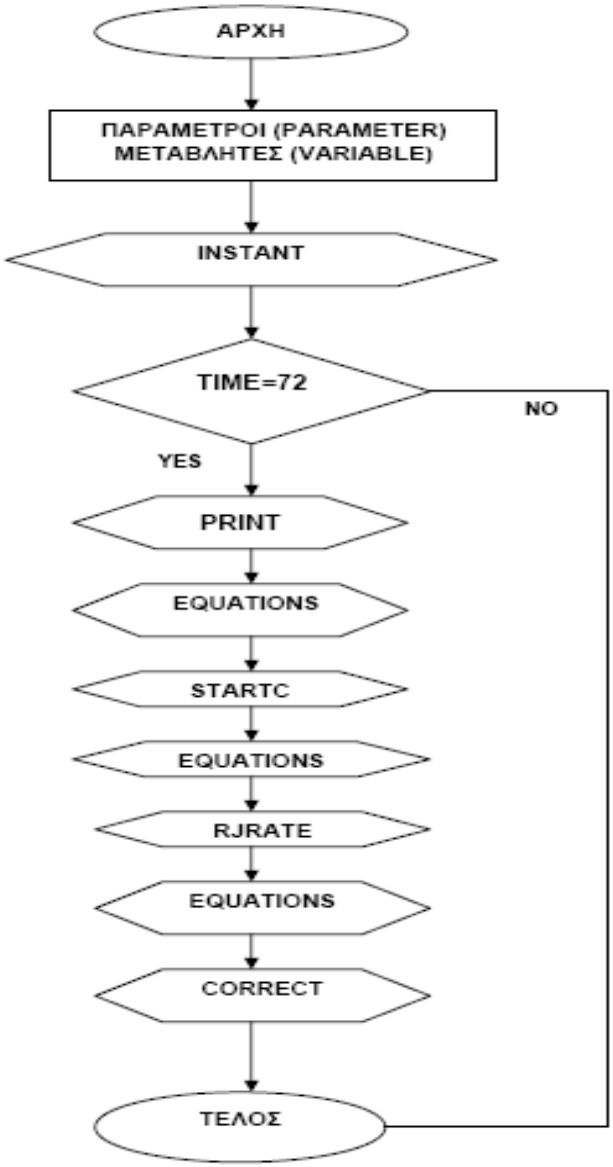


Σχήμα 4.1:Μοντέλο κουτιού μηδέν διαστάσεων, Eulerian (Graedel and Crutzen, 1993)

Για την επίτευξη των στόχων της παρούσας εργασίας το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι ένα *Eulerian* χημικό μοντέλο 0-διαστάσεων. Τα *Eulerian* μοντέλα θεωρούν ότι το κουτί βρίσκεται ακινητοποιημένο σε μια γεωγραφική τοποθεσία. Σε αυτά οι εκπομπές και η εναπόθεση των ιχνοενώσεων παραμένουν ποιοτικά σταθερές. Τα μοντέλα αυτά είναι κατάλληλα για σύγκριση με συγκεκριμένες μετρήσεις στο χώρο, όπως για παράδειγμα το σταθμό μετρήσεων του Πανεπιστημίου Κρήτης, στη Φινοκαλιά. Για αυτό το λόγο στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο μηδέν διαστάσεων τέτοιου τύπου.

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

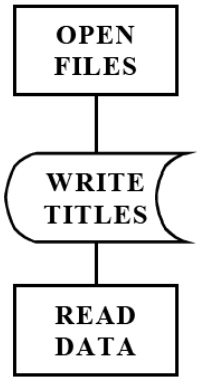
Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε όπως προαναφέρθηκε, ένα μοντέλο μηδέν διαστάσεων (Vrekoussis *et al.*, 2007), το οποίο επιλύεται με τη χρήση του υπολογιστικού πακέτου FACSIMILE [*Curtis and Sweetenham, 1988, Harwell and Didcot, 1994*] και επιλύει τις διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τις χημικές αντιδράσεις, με μεγάλη ακρίβεια χρησιμοποιώντας τη μέθοδο μεταβλητού βήματος ολοκλήρωσης.
Παρακάτω παρουσιάζεται το λογικό διάγραμμα του μοντέλου σε απλοποιημένη μορφή (Σχήμα 4.2).



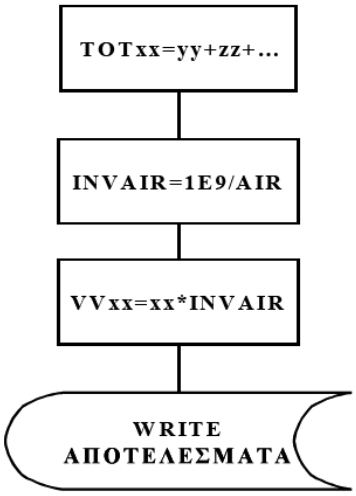
Σχήμα 4.2: Λογικό διάγραμμα του μοντέλου σε απλοποιημένη μορφή

Διακρίνονται τα παρακάτω υποπρογράμματα του βασικού προγράμματος:

INSTANT: Είναι η πρώτη ρουτίνα του προγράμματος. Ανοίγει τα αρχεία δεδομένων και αποτελεσμάτων, γράφει τους τίτλους στα αρχεία αποτελεσμάτων, διαβάζει τα δεδομένα από τα αρχεία δεδομένων και ορίζει τις αρχικές συνθήκες για την πρώτη ώρα. Αυτές οι εργασίες πραγματοποιούνται μια φορά στην αρχή των υπολογισμών.



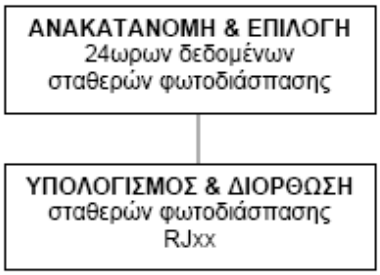
PRINT: Είναι η τελευταία ρουτίνα του προγράμματος. Υπολογίζει τα αθροίσματα των συγκεντρώσεων των ενώσεων που μελετούνται, μετατρέπει τα μόρια ανά κυβικό εκατοστό (molecules/cm^3), που χρησιμοποιούνται στις διαφορικές εξισώσεις, σε μέρη στο δισεκατομμύριο (ppbv) και γράφει τα αποτελέσματα στα αντίστοιχα αρχεία. Αυτή η ρουτίνα καλείται σε τακτικά προκαθορισμένα από τον χρήστη χρονικά διαστήματα.



STARTC: Είναι η ρουτίνα του προγράμματος που καλείται ανά ώρα και διαβάζει, υπολογίζει ή ορίζει τιμές παραμέτρων ή μεταβλητών. Επιλέγει τις ωριαίες τιμές μετεωρολογικών παραμέτρων και χημικών ενώσεων από τα δεδομένα, που έχει διαβάσει στο INSTANT) στην ώρα για την οποία πραγματοποιεί πράξεις το πρόγραμμα, αναλυτικά:

1. Ανακατανέμει τα δεδομένα των ενώσεων για τις οποίες έχουμε ωριαίες τιμές για όλο το 24ωρο και επιλέγει αυτές που αντιστοιχούν στην ώρα για την οποία πραγματοποιεί πράξεις το πρόγραμμα.
2. Υπολογίζει τους συντελεστές μεταφοράς μάζας (K_t) και τη σχετική υγρασία (RHU) και τέλος.
3. Υπολογίζει από την πίεση και την θερμοκρασία τις σταθερές ταχύτητας των αντιδράσεων.

RJRATE: Ταξινομεί τις 24ωρες πειραματικές μετρήσεις των σταθερών φωτοδιάσπασης όπως ορίζονται στις παρατηρηθήσες τιμές ή από πίνακα προυπολογισμένων τιμών σταθερών φωτοδιάσπασης RJ_{xx} των ενώσεων XX που αντιστοιχούν σε αυτές που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα κάθε ώρα. Έπειτα διορθώνει όλες τις σταθερές φωτοδιάσπασης RJ, που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα λόγω έλλειψης μετρήσεων, χρησιμοποιώντας μετρηθέντες σταθερές φωτοδιάσπασης του NO_2 και του O_3.



EQUATIONS: Σ' αυτή τη ρουτίνα περιλαμβάνονται όλες οι αντιδράσεις υγρής και αέριας φάσης, οι αντιδράσεις αλλαγής φάσης, οι ετερογενείς αντιδράσεις και οι διεργασίες εκπομπών και εναπόθεσης των ενώσεων. Είναι το τμήμα του προγράμματος στο οποίο δηλώνονται και επιλύονται οι διαφορικές εξισώσεις, για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των χημικών ενώσεων.

CORRECT: Διορθώνει τις τιμές των συγκεντρώσεων που υπολογίζονται, με βάση τις αλλαγές της ατμοσφαιρικής πυκνότητας στο box model, δηλαδή τη συστολή και διαστολή των αερίων, εξαιτίας μεταβολών της πίεσης και της θερμοκρασίας, με βάση μετεωρολογικά δεδομένα και παρατηρήσεις. Κάθε μία ώρα, εξετάζεται αν το μοντέλο πρέπει να συνεχίσει τους υπολογισμούς για μία ακόμα ώρα. Αν ναι επιστρέφει στη STARTC, αλλιώς οι υπολογισμοί τελειώνουν.

```
xx=xx/AIR0*AIR
```

Το χημικό σχήμα

Το χημικό σχήμα του μοντέλου περιλαμβάνει περίπου 300 χημικές αντιδράσεις και 140 ενώσεις.

Είναι ικανό να προσομοιώσει, πέρα από την βασική χημεία της τροπόσφαιρας O_3/NOx/HOx/CO/CH_4 [*Tsigaridis and Kanakidou, 2002; Vrekousis et al., 2004*], την οξείδωση υδρογονανθράκων C_1 – C_5 περιλαμβανομένων και του ισοπρενίου [*Tsigaridis and Kanakidou, 2002; Vrekousis et al., 2004*] στο θαλάσσιο στρώμα ανάμειξης. Επίσης, περιλαμβάνει την οξείδωση του βιογενούς θείου (βελτιωμένη σχετικά με τους Sciare et al., 2000). Στον παρακάτω Πίνακα 4.1 φαίνεται αναλυτικά ο αριθμός των αντιδράσεων για τις βασικές οργανικές ενώσεις περιλαμβανομένων και του ισοπρενίου.

ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ
ΧΗΜΕΙΑ ΜΕΘΑΝΙΟΥ (CH_4)	14
ΧΗΜΕΙΑ ΑΙΘΑΝΙΟΥ (C_2H_6)	22
ΧΗΜΕΙΑ ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ (C_3H_8)	28
ΧΗΜΕΙΑ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ (C_2H_4)	22
ΧΗΜΕΙΑ ΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ (C_3H_6)	4
ΧΗΜΕΙΑ n-ΒΟΥΤΑΝΙΟΥ (C_4H_{10})	18
ΧΗΜΕΙΑ ΙΣΟΠΡΕΝΙΟΥ	20

Πίνακας 4.1: Αριθμός αντιδράσεων που λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο για την περιγραφή της χημείας των διαφόρων υδρογονανθράκων.

Οι συγκεντρώσεις που χρησιμοποιεί το μοντέλο προέρχονται από πειραματικά αποτελέσματα, είτε ωριαίες τιμές είτε μέσες ημερήσιες ή εποχιακές τιμές. Αυτές εξομοιώνονται είτε ωριαία είτε συνεχώς από το μοντέλο ή χρησιμοποιούνται ως αρχικές συγκεντρώσεις. Το μοντέλο αφήνεται να υπολογίσει την περαιτέρω διακύμανση των ενώσεων. Για όσες ενώσεις δε δίνεται αρχική τιμή αυτή λαμβάνεται ίση με το μηδέν.

Λόγω της τακτικής αυτής που ακολουθείται, είναι φανερό ότι τα αποτελέσματα που εξάγονται δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν απ' ευθείας, αλλά απαιτείται κάποιος χρόνος σταθεροποίησης (*spin-up time*) ώστε το μοντέλο να έρθει σε μια κατάσταση ισορροπίας. Για αυτό το λόγο τα αποτελέσματα που χρησιμοποιούνται είναι της τρίτης μέρας προσομοίωσης και μετά (οι δύο πρώτες μέρες αποτελούν τον χρόνο σταθεροποίησης).

Η επίλυση του μοντέλου γίνεται με 4 διαφορετικές περιπτώσεις ώστε να μπορέσουμε να κάνουμε συγκρίσεις και να εξάγουμε συμπεράσματα.

4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ-ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Μετεωρολογικές παραμέτρους

Αυτές περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία T (ºC), τη σχετική υγρασία RH (%), την ένταση (ταχύτητα) των ανέμων WS(m/s), όπως μετρήθηκαν από έναν αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό στη Φινοκαλιά [*Vrekoussis et al., 2006*].

Χημικά Δεδομένα εισόδου

Οι ωριαίες συγκεντρώσεις των NO, NO_2, O_3, και CO που έχουν μετρηθεί από τους Vrekoussis et al. (2006) χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο. Ομοίως χρησιμοποιείται η σταθερά φωτόλυσης του O_3 (JO^1D) σε διεγερμένο οξυγόνο (O^1D) και η σταθερά φωτόλυσης του NO_2 (JNO_2), από την διακύμανση της οποίας υπολογίζεται η διακύμανση και των υπολοίπων σταθερών φωτοδιάσπασης (RJRATE).

Οι ενώσεις στις οποίες ορίστηκε αρχική συγκέντρωση και η περαιτέρω διακύμανση της συγκέντρωσής τους υπολογίστηκε από το μοντέλο είναι: το CO, τα NOx (θεωρήθηκε NO_2) και τα VOCs (θεωρήθηκε το C_4H_{10}). Οι εκπομπές τους ανάλογα με τον τύπο του οχήματος αναφέρονται στον Πίνακα 5.1 του παρακάτω κεφαλαίου 5, οι οποίες καταγράφηκαν από το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών (2006) ενώ οι αντίστοιχες εκπομπές του βιοντήζελ B20 & B100 αναφέρονται στον πίνακα 2.8, του κεφαλαίου 2, όπου τεκμηριώθηκαν από την ελληνική εταιρεία BioEnergia. Η διακύμανση των συγκεντρώσεων των ενώσεων O_3, OH, RO_2, CH_3O_2, H_2O_2, HO_2, CO υπολογίστηκε από το μοντέλο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αρχικές τους συγκεντρώσεις θεωρήθηκαν σταθερές κατά την διάρκεια του καλοκαιριού με βάση μέσες μετρήσεις ή εκτιμήσεις για την περιοχή. Το μοντέλο χρησιμοποιεί ταχύτητα διαφυγής για το O_3 και το CO προς την ελεύθερη τροπόσφαιρα ίση με 0.168 cm s^{-1}.

Οι συγκεντρώσεις που χρησιμοποιεί το μοντέλο προέρχονται από το φάκελο input.

ΚΕΦ. 5 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΟΧΗΜΑΤΑ

Σημερινή κατάσταση

Τα εναλλακτικά καύσιμα (όπως βιοκαύσιμα, φυσικό αέριο, υδρογόνο) πρόκειται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών και ενέργειας επειδή αποτελούν μία από τις λίγες διαθέσιμες εναλλακτικές επιλογές με την οποία η βενζίνη και το πετρέλαιο κίνησης θα αντικατασταθούν ως καύσιμα για τις μεταφορές. Στην παρούσα μελέτη θα ασχοληθούμε με τα αναλυτικά στοιχεία των οχημάτων σύμφωνα με την περιγραφή του οχήματος: κωδικό, τύπο και χρήση και έδρα οχήματος κλπ., τα χαρακτηριστικά χρήσης και ενεργειακής κατανάλωσης, δηλ. διανυθέντα χιλιόμετρα, ονομαστική ή πραγματική κατανάλωση καυσίμου, βάρος, ποσοστό χρήσης στην πόλη ή αυτοκινητόδρομους κλπ.) που διαθέτει η Κρήτη και συγκεκριμένα η πόλη του Ηρακλείου και θα υπολογίσουμε τις εκπομπές ρύπων VOCs, NOx, $PM_{2.5}$, CO_2, CO (με βάση τις προδιαγραφές του κατασκευαστή που ανήκει κάθε όχημα).

Οι αρχικές εκπομπές των ενώσεων που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς αφορούν μετρήσεις πεδίου της περιόδου 2006, όπως αυτές μετρήθηκαν από το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών και εμφανίζονται στον πίνακα 5.1 για την πόλη του Ηρακλείου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το επίπεδο των NOx, είναι καθοριστικό αφού σε αυτό οφείλεται αν ένα περιβάλλον έχει την ικανότητα παραγωγής ή κατανάλωσης του όζοντος. Έτσι και μικρές συγκεντρώσεις NOx είναι αρκετές για να μετατρέψουν το περιβάλλον ικανό για τη παραγωγή όζοντος. Εκτός από τα NOx ο δεύτερος κυρίαρχος παράγοντας που καθορίζει την παραγωγή ή την κατανάλωση του όζοντος, είναι τα επίπεδα των υδρογονανθράκων κυρίως των πτητικών υδρογονανθράκων (VOC). Δεν είναι αρκετή η ύπαρξη του ενός μόνο παράγοντα σε αφθονία για τη παραγωγή όζοντος. Αν τα NOx είναι λιγότερα από τα απαιτούμενα τότε η παραγωγή οριοθετείται από τα NOx (NOx limited), ενώ αν τα VOC είναι λιγότερα τότε η παραγωγή καθορίζεται από τα VOC (VOC limited). Για να υπάρχει μέγιστη παραγωγή του όζοντος θα πρέπει η αναλογία των VOC και NOx να είναι 8 : 1.

Στην παρούσα εργασία μελετάται η κατανομή των συγκεντρώσεων του τροποσφαιρικού όζοντος, τόσο παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (ρυπασμένου περιβάλλοντος), παρουσία καθαρού περιβάλλοντος (χωρίς καύσιμα), όσο και παρουσία εναλλακτικού καυσίμου (βιοντήζελ) με διαφορετικές περιεκτικότητες σε βιοντήζελ. Επίσης γίνεται προσπάθεια να κατανοηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τις κατανομές αυτές.

Έτσι μετρήθηκαν οι ωριαίες συγκεντρώσεις του όζοντος υπό αυτές τις συνθήκες.

Για υπολογισμούς στο μοντέλο έγιναν οι απαραίτητες μετατροπές που εμφανίζονται στους πίνακες 5.2 και 5.3. Στον πίνακα 5.1 η $1^{η}$ στήλη αναφέρεται στον τύπο των οχημάτων, στην $2^{η}$ στήλη σαν ΕΟΚΜ, τα ετήσια οχηματοχιλιόμετρα σε (km/yr), στην $3^{η}$ στήλη με ΣΤ στον στόλο των οχημάτων ενώ στις τελευταίες στήλες αναφέρονται σαν EF, οι εκπομπές των αέριων ρύπων σε g/km. Έτσι σύμφωνα με τον τύπο (1):

$$ΕΟΚΜ*ΣΤ*EF*10^{-9} \quad (1)$$

λαμβάνουμε τα Gg των αέριων ρύπων ετησίως σε όλη την Κρήτη ανά κατηγορία οχήματος, όπου ΕΟΚΜ: τα ετήσια οχηματοχιλιόμετρα, ΣΤ: ο στόλος των οχημάτων και EF: οι εκπομπές ρύπου. Με τον παρακάτω επίσης τύπο μετατρέπουμε τις εκπομπές των αερίων ρύπων (CO, NOx, VOCs), π.χ. CO σε molecules/sec (Πίνακας 5.2):

$$F_{CO}^{i}\ (Gg/yr) * 31.7=(gCO/sec * 6.023/MB_{CO} *10^{23})\ molecules/sec \quad (2)$$

όπου MB_{CO} το μοριακό βάρος της ένωσης (εδώ του CO)

Η συνολική επιφάνεια της Κρήτης είναι: 8.336km^2 ενώ ο συνολικός πληθυσμός της είναι 623.666. Ο πληθυσμός της πόλης του Ηρακλείου είναι περίπου 22% σε σχέση με τον συνολικό πληθυσμό της Κρήτης (137.711), ενώ η συνολική επιφάνεια της περιοχής της πόλης

του Ηρακλείου είναι 109.026km^2. Έτσι σαν κουτί προς μελέτη ορίστηκε η περιοχή της πόλης του Ηρακλείου με ύψος H=1.25km και ο συνολικός του όγκος προσδιορίστηκε ως εξής:
109km^2*1.25km=136.25km^3=136.25*10^{15}cm^3
Από την σχέση (2) οι εκπομπές των αέριων ρύπων μετατράπηκαν σε molecules/cm^3*sec (Πίνακας 5.3) σύμφωνα με την παρακάτω σχέση (3):

$$F(Gg/yr)_{CO}^{i}*0.22*31.7/MB*(6.023*10^{23})/(136.25*10^{15})cm^3 = F(Gg/yr)*3.08*10^7/MB_{ρύπου} \quad (molecules/cm^3*sec) \quad (3)$$

Σύμφωνα με τους παραπάνω τύπους έγιναν οι αντίστοιχες μετατροπές σε (molecules/cm^3*sec) που ήταν απαραίτητες για το μοντέλο (Πίνακας 5.3).

Οι εκπομπές ρύπων ανά οχηματοχιλιόμετρο που εμφανίζονται στον πίνακα 5.1 θα χρησιμοποιηθούν για να μελετηθούν 2 περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση θεωρούμε ότι δεν έχουμε κυκλοφοριακό φόρτο (εκτιμήσεις εκπομπών CO, NOx, VOCs=0). Στην δεύτερη περίπτωση θεωρούμε ότι έχουμε κυκλοφοριακό φόρτο με τις τιμές που προέκυψαν με τις αλλαγές μονάδων (KF_{CO}= 2.83E+07, KF_{NOX}= 2.80E+06, KF_{VOCs}= 8.59E+05) που είναι το άθροισμα όλων των τροχοφόρων (επιβατικά οχήματα ιδιωτικής χρήσης, ΤΑΧΙ, Αστικά και Τουριστικά Λεωφορεία, βαριά κι ελαφρά φορτηγά, δίκυκλα) και για τους 3 αέριους ρύπους.

Η αλλαγή (συνήθως μείωση στις εκπομπές των ρύπων) από τη χρήση καυσίμου που παρουσιάζεται στον πίνακα 2.8 χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθούν και πάλι 2 περιπτώσεις για το βιοντήζελ.

Στην πρώτη περίπτωση θεωρούμε ότι έχουμε B20 (δηλ. 20%v/v βιοντήζελ και 80% συμβατικού diesel) και οι εκπομπές ρύπων υπολογίστηκαν πολλαπλασιάζοντας αυτές των συμβατικών καυσίμων με τα ποσοστά μείωσης των εκπομπών λόγω χρήσης του B20 που δίνονται τον πίνακα 2.8 ως εξής:

$KF_{CO}'=0.88*KF_{CO}$, $KF_{NOX}'=1.02*KF_{NO}$ και $KF_{VOC}'=0.8*KF_{VOC}$.

Στην δεύτερη περίπτωση θεωρούμε ότι έχουμε B100 (δηλ. %100v/v βιοντήζελ) και οι τιμές που προέκυψαν υπολογίστηκαν ως εξής:

$KF_{CO}''=0.52*KF_{CO}$, $KF_{NOX}''=1.1*KF_{NO}$ και $KF_{VOC}''=0.33*KF_{VOC}$.

Από τις προσομοιώσεις για τις 4 παραπάνω περιπτώσεις μπορούμε να εκτιμήσουμε την επίδραση που έχουν τα CO, NOx & VOCs στο τροποσφαιρικό O_3.

				EF εκπομπές αερίων: g/km ρύπων				
Τύπος οχημάτων	**ΕΟ ΚΜ** Ετήσια οχηματοχιλιόμετρα **(km/yr)**	**ΣΤ** Στόλος		CO	NOx	VOC	PM	CO_2
diesel			d	0.8	1	0.1	0.1	200
gasoline			g	6	0.4	0.5	0	220
				ekpompes Gg/yr	ekpompes Gg/yr	ekpompes Gg/yr	ekpompes Gg/yr	ekpompes Gg/yr
Επιβατικά οχήματα ιδιωτικής χρήσης (mileage) g	12,000	247376	g	17.811072	1.1874048	1.484256	0	653.0726
TAXI d	17,000	1408	d	0.0191488	0.023936	0.0023936	0.0023936	4.7872
Αστικά Λεωφορεία d	20,000	168	d	0.02016	0.001344	0.00168	0	0.7392
Τουριστικά Λεωφορεία d	12,500	612	d	0.00612	0.00765	0.000765	0.000765	1.53
Βαριά φορτηγά d	10,000	24480	d	0.19584	0.2448	0.02448	0.02448	48.96
Ελαφρά φορτηγά d	12,000	66155	d	0.635088	0.79386	0.079386	0.079386	158.772
Ελαφρά φορτηγά g	12,000	28352	g	2.041344	0.1360896	0.170112	0	74.84928
Δίκυκλα g	8,000	102674	g	4.928352	0.3285568	0.410696	0	180.7062

Πίνακας 5.1: Στον πίνακα παρουσιάζονται τα g των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων (CO, NOx, VOC, PM, CO_2) ανά οχηματοχιλιόμετρο. Επίσης δίνονται πληροφορίες για τα ετήσια οχηματοχιλιόμετρα αλλά και την δυναμικότητα του στόλου για κάθε τύπο οχήματος, Πηγή:Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών, 2007

Ετήσιες εκπομπές F(i) των αέριων ρύπων (CO, NOx, VOC) στην περιοχή της Κρήτης		
CO	NOx	VOC
1.21489E+25	7.55934E+23	3.6343E+23
1.30614E+22	1.52383E+22	5.8609E+20
1.37511E+22	8.55627E+20	4.1136E+20
4.17445E+21	4.8702E+21	1.8732E+20
1.33583E+23	1.55846E+23	5.9941E+21
4.33194E+23	5.05393E+23	1.9438E+22
1.3924E+24	8.66383E+22	4.1653E+22
3.36163E+24	2.09168E+23	1.0056E+23

Πίνακας 5.2: **Στον πίνακα παρουσιάζονται οι ετήσιες εκπομπές F(i) και οι μετατροπές των αερίων ρύπων (CO, NOx, VOC), μετρημένες σε molecules/sec, Πηγή:Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών, 2007**

Αέριοι ρύποι (CO, NOx, VOC) για κάθε τύπο οχήματος			
	CO	**NOx**	**VOC**
Επιβατικά οχήματα ιδιωτικής χρήσης (mileage) g	19616632.41	1220590.461	586822.337
ΤΑΧΙ d	21089.9698	24604.96477	946.344799
Αστικά Λεωφορεία d	22203.6781	1381.562193	664.212593
Τουριστικά Λεωφορεία d	6740.402281	7863.802662	302.453949
Βαριά φορτηγά d	215692.873	251641.6852	9678.52635
Ελαφρά φορτηγά d	699468.7261	816046.8472	31386.4172
Ελαφρά φορτηγά g	2248281.006	139893.0404	67256.2694
Δίκυκλα g	5427953.442	337739.3253	162374.676
KF (CO,NO,VOC)	2.83E+07	2.80E+06	8.59E+05

Πίνακας 5.3: Στον πίνακα παρουσιάζονται τα molecules/cm^3/sec των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων (CO, NOx, VOC) για κάθε τύπο οχήματος, Πηγή:Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών, 2007

ΚΕΦ. 6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ)

Στην παρούσα μελέτη υπολογίστηκαν τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη του Ηρακλείου και μελετήθηκε πως τα επίπεδα αυτά επηρεάζονται από την κυκλοφορία των οχημάτων κάθε τύπου με την χρήση συμβατικών καυσίμων καθώς και το πως μεταβάλλονται αυτά με τη χρήση βιοκαυσίμων. Συγκεκριμένα, εκτιμήθηκε η επίδραση των εκπομπών CO, NOx και VOC στο ισοζύγιο του όζοντος O_3 για κάθε περίπτωση (χρήση συμβατικών καυσίμων, χρήση βιοκαυσίμων).

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα αερίων εκπομπών από οχήματα συμβατικών καυσίμων σε συνδυασμό με τα δεδομένα κυκλοφορίας των διαφόρων κατηγοριών οχημάτων και δεδομένα εκπομπών με την χρήση βιοκαυσίμων και με την χρήση του μοντέλου υπολογίστηκε η επίδραση των εκπομπών λόγω κυκλοφορίας των οχημάτων με συμβατικό καύσιμο αλλά και με αντικατάσταση του με βιοκαύσιμο σε διαφορετικές περιεκτικότητες τόσο με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80% συμβατικό ντίζελ) όσο και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ).

Ειδικότερα, στην παρούσα εργασία μελετήθηκε και αξιολογήθηκε η κατανομή των συγκεντρώσεων του τροποσφαιρικού όζοντος, τόσο παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic), παρουσία καθαρού περιβάλλοντος (no traffic), όσο και παρουσία εναλλακτικού καυσίμου (βιοντήζελ) με χρήση B20 και B100, δηλ. εμφανίζονται τα αποτελέσματα τεσσάρων διαφορετικών προσομοιώσεων.

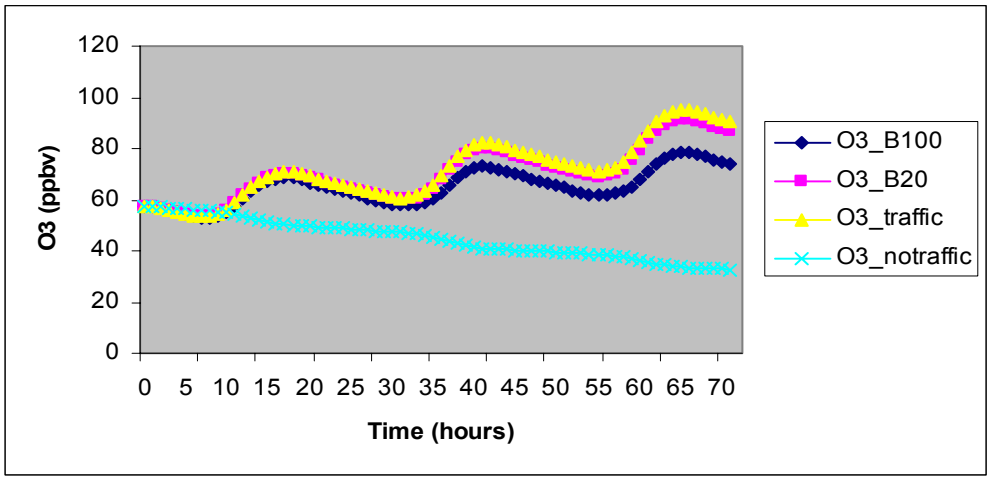
Μεταβολή συγκεντρώσεων του O_3 παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, βιοντήζελ B20 και B100

Στο σχήμα 6.1 προσδιορίστηκε η μεταβολή των συγκεντρώσεων όζοντος με κυκλοφοριακό φόρτο και μη, με χρήση βιοντήζελ B20, όσο και B100. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων γίνεται μετά τις 24 ώρες που χρειάζεται το μοντέλο να ισορροπήσει γι αυτό και για όλα τα παρακάτω αποτελέσματα, οι τιμές θα αφορούν τους υπολογισμούς του μοντέλου από τις 25 – 72h.

Παρατηρείται παρόμοια ημερήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων του όζοντος που υπολογίζονται με κυκλοφοριακό φόρτο και με χρήση βιοντήζελ B20, όσο και B100. Οι υπολογισμένες συγκεντρώσεις του όζοντος με κυκλοφοριακό φόρτο και με B20 παρουσιάζουν πολύ μικρές διαφορές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μεταβολή του τροποσφαιρικού όζοντος εξαρτάται από τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής καθώς και από τη παρουσία NOx και κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου η τιμή του όζοντος μεταβάλλεται.

Η μέση τιμή των ωριαίων μέσων όρων του όζοντος με κυκλοφοριακό φόρτο και μη είναι περίπου 76.96ppbv και 40.21ppbv αντίστοιχα. Ελάχιστη τιμή που υπολογίστηκε, ήταν στα 60.66ppbv και 32.70ppbv αντίστοιχα ενώ η μέγιστη ήταν στα 95.26 ppbv και 48.90ppbv αντίστοιχα. Η μέση τιμή των ωριαίων μέσων όρων του όζοντος με χρήση βιοντήζελ B20 και B100 ήταν περίπου 74.68ppbv και 67.26ppbv αντίστοιχα. Ελάχιστη τιμή που υπολογίστηκε, ήταν στα 60ppbv και 58ppbv ενώ η μέγιστη ήταν στα 91.50ppbv και 78.70ppbv αντίστοιχα. Οι παραπάνω τιμές είναι αρκετά μεγαλύτερες από το όριο που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή ένωση ως όριο ασφαλείας για των άνθρωπο (53 ppbv για οκτάωρη έκθεση). Επισημαίνεται ότι οι μέγιστες τιμές του όζοντος υπολογίζονται τις απογευματινές ώρες (17:00 μ.μ.) και οφείλεται στις εκπομπές αέριων ρύπων και στη φωτοχημική παραγωγή του κατά τη φωτοδιάσπαση του NO_2 σύμφωνα με την αντίδραση $NO_2 + h\nu \Rightarrow NO + O(^3P)$. Η παρουσία NOx, στην περίπτωση κυκλοφοριακού φόρτου όσο και με χρήση B20 αλλά και με B100 οδηγεί σε αυξημένα επίπεδα όζοντος ενώ στην περίπτωση που δεν έχουμε κυκλοφοριακό φόρτο βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Παρατηρείται επίσης ουσιαστική διαφορά στις συγκεντρώσεις του O_3 μόνο κατά την διάρκεια της ημέρας, όπου ευνοείται η φωτοχημική παραγωγή του (λόγω ηλιακής ακτινοβολίας) και εξαρτάται από τα επίπεδα των NO_2 τα οποία είναι ιδιαίτερα αυξημένα κατά την διάρκεια της ημέρας (λόγω αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου).

Αντίθετα κατά τη διάρκεια της νύχτας και για τις 4 προσομοιώσεις παρατηρήθηκε συνεχής μείωση των συγκεντρώσεων του O_3 στο επιφανειακό στρώμα ανάμιξης λόγω απομάκρυνσης του με εναπόθεση καθώς και με την καταστροφή του από NOx (NO, NO_2) του σύμφωνα με τις αντιδράσεις: $NO+O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$ και $NO_2+O_3 \rightarrow NO_3 + O_2$. Τελικά και με ακόρεστες οργανικές πτητικές ενώσεις όπως τα αλκένια (οζονόλυση) σύμφωνα με την αντίδραση: $NO + RO_2^{\cdot} \rightarrow NO_2 + RO^{\cdot}$.
Η εκατοστιαία % μείωση που υπολογίστηκε σε σχέση με την προσομοίωση με κυκλοφοριακό φόρτο ήταν -47.75% χωρίς κυκλοφοριακό φόρτο, -2.95% με χρήση B20 και -12.60% με χρήση B100.



Σχήμα 6.1: Μεταβολή των συγκεντρώσεων του όζοντος (σε ppbv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100% βιοντήζελ)

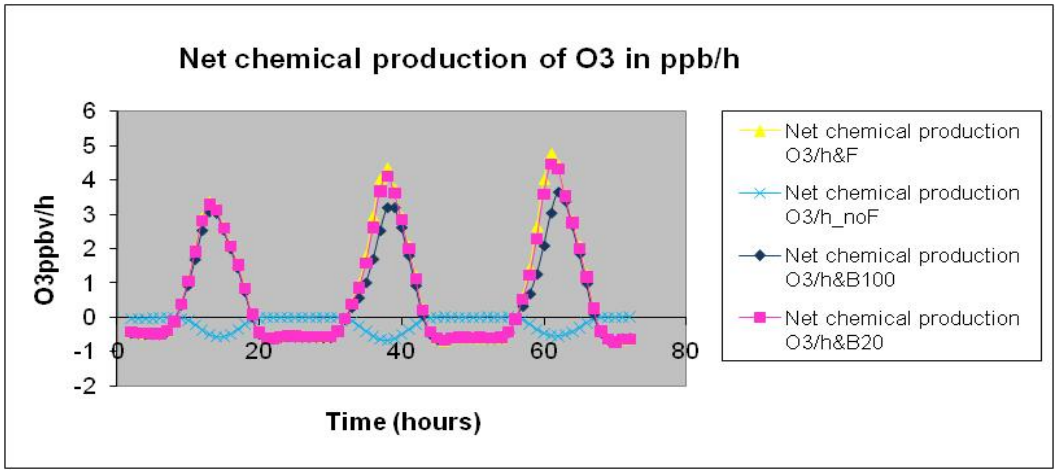
Μεταβολή καθαρής χημικής παραγωγής του O_3 παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, βιοντήζελ B20 και B100

Η μεταβολή της καθαρής χημικής παραγωγής του όζοντος για τις 4 προσομοιώσεις εμφανίζεται στο σχήμα 6.2. Η μέση τιμή της χημικής παραγωγής του όζοντος παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη είναι 4.15ppbv/h και -5.87ppbv/h, αντίστοιχα, ενώ με την χρήση βιοντήζελ B20 & B100 είναι 3.96ppbv/h και 3.29 ppbv/h, αντίστοιχα. Οι ελάχιστες τιμές που υπολογίστηκαν με κυκλοφοριακό φόρτο και μη, με χρήση βιοντήζελ B20 και B100 ήταν στα 3.36ppbv/h, -5.30ppbv/h, 3.28ppbv/h και 3ppbv/h αντίστοιχα ενώ οι μέγιστες ήταν στα 4.8ppbv/h, -6.9ppbv/h, 4.5ppbv/h και 3.06ppbv/h αντίστοιχα. Οι ελάχιστες τιμές εμφανίζονται τις πρώτες πρωινές ώρες (03:00) ενώ οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται τις μεσημεριανές ώρες (13:00μ.μ.) λόγω του ότι η φωτοδιάσπαση του NO_2 και κατά συνέπεια η παραγωγή του όζοντος να αρχίζει νωρίτερα απ' ότι η φωτοδιάσπαση του όζοντος (κατανάλωση του).

Η διαφορά στα επίπεδα του όζοντος σε συνθήκες κυκλοφοριακού φόρτου και με χρήση B20, σχετίζονται άμεσα με την χημική παραγωγή του όζοντος.

Παρατηρήθηκε ότι η ωριαία καθαρή χημική παραγωγή του όζοντος με χρήση B20 δεν έχει ουσιαστική διαφορά με την καθαρή χημική παραγωγή όζοντος παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου ενώ με χρήση B100 έχουμε σχετικά χαμηλότερα επίπεδα ωριαίας καθαρής χημικής παραγωγής όζοντος με την μέγιστη τιμή να εμφανίζεται στις 38 ώρες από 43.47ppbv/h σε 31.79ppbv/h και στις 61 ώρες από 47.6ppbv/h σε 36.3ppbv/h.

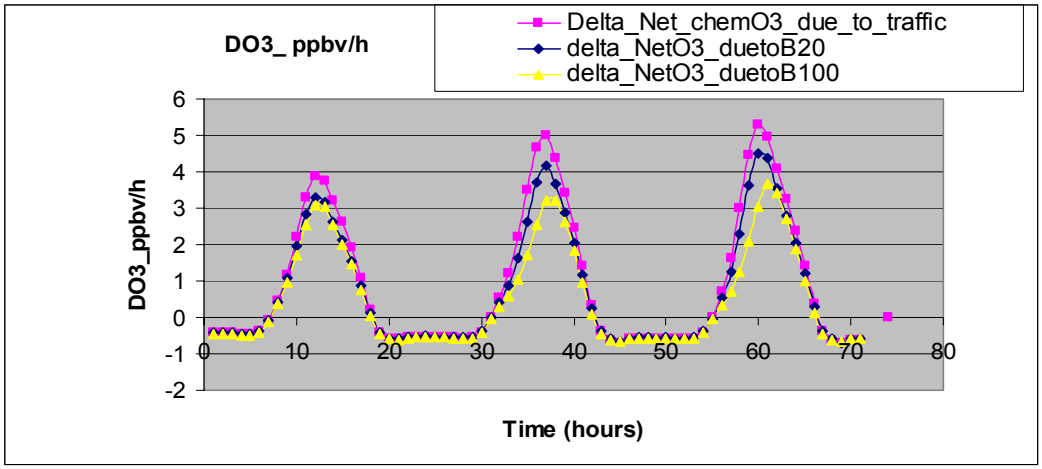
Όσον αφορά τις μεταβολές της χημικής παραγωγής των συγκεντρώσεων του όζοντος παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου, B20 και B100 είναι αντιστοίχως κατά μέσες τιμές 11.4 ppbv/h, 10.8 ppbv/h και 9.9 ppbv/h ενώ η εκατοστιαία % μείωση που υπολογίστηκε σε σχέση με την προσομοίωση με κυκλοφοριακό φόρτο ήταν -79.75% χωρίς κυκλοφοριακό φόρτο, -9.50% με χρήση B20 και -40.45% με χρήση B100. Δίνονται και οι ωριαίες καθαρές χημικές παραγωγές του όζοντος σε συνθήκες μη κυκλοφοριακού φόρτου κι εμφανίζουν αρνητικές τιμές. Η καθαρή χημική παραγωγή του όζοντος απεικονίζει την χημική παραγωγή μείον την χημική του κατανάλωση η οποία λαμβάνει θετική τιμή όταν έχουμε παραγωγή όζοντος και αρνητική τιμή λόγω κατανάλωσης όζοντος.



Σχήμα 6.2: Μεταβολή της καθαρής χημικής παραγωγής του όζοντος (σε ppbv/h) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ), όπου Net chemical productionO_3/h&F αναφέρεται στην καθαρή χημική παραγωγή όζοντος παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου, Net chemical production O_3/h_noF αναφέρεται στην καθαρή χημική παραγωγή όζοντος παρουσία μη κυκλοφοριακού φόρτου, όπου Net chemical production O_3/h&B100, αναφέρεται στην καθαρή χημική παραγωγή όζοντος με χρήση βιοντήζελ B100 ενώ όπου Net chemical production O_3/h & B20 αναφέρεται στην καθαρή χημική παραγωγή όζοντος με χρήση βιοντήζελ B20.

Μεταβολή ωριαίων συγκεντρώσεων του O_3 παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, βιοντήζελ B20 και B100

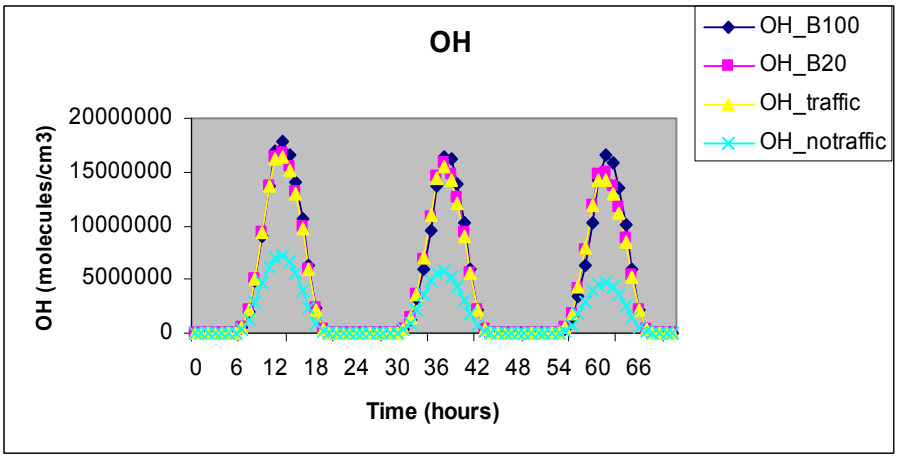
Οι μεταβολές των ωριαίων συγκεντρώσεων του όζοντος για τις 4 προσομοιώσεις παρουσιάζονται στο σχήμα 6.3 και είναι αντίστοιχα 4.72ppbv/h, 3.99ppbv/h και 3.32ppbv/h. Οι ελάχιστες τιμές που υπολογίστηκαν με κυκλοφοριακό φόρτο, με χρήση βιοντήζελ B20 και B100 ήταν στα 3.87ppbv/h, 3.31ppbv/h και 3.09ppbv/h αντίστοιχα ενώ οι μέγιστες ήταν στα 5.29ppbv/h, 4.50ppbv/h και 3.66ppbv/h αντίστοιχα. Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι οι ωριαίες συγκεντρώσεις όζοντος λόγω κυκλοφοριακού φόρτου μειώνονται με την χρήση B20 και μειώνονται ακόμη περισσότερο με την χρήση B100. Η εκατοστιαία % μείωση που παρατηρήθηκε σε σχέση με την προσομοίωση με κυκλοφοριακό φόρτο ήταν -15.47% με χρήση B20 και -29.66% με χρήση B100.



Σχήμα 6.3: Οι μεταβολές των ωριαίων συγκεντρώσεων χημικής παραγωγής όζοντος(σε ppbv/h) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και των συγκεντρώσεων με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ)

Μεταβολή συγκεντρώσεων των •OH παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, βιοντήζελ B20 και B100

Η σημασία των ριζών HO• στην τροποσφαιρική χημεία είναι μεγάλη, αφού η οξείδωση όλων σχεδόν των αέριων ενώσεων στην ατμόσφαιρα γίνεται κυρίως μέσω αυτών των ριζών. Ο χρόνος ζωής των περισσοτέρων αερίων καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις των ριζών HO• και από την αντίστοιχη σταθερά αντίδρασης. Ο κύριος μηχανισμός καταστροφής του O_3 δίνεται από την αντίδραση φωτοδιάσπασης του O_3 σε O^1D σύμφωνα με την αντίδραση:
$O_3 + hv \rightarrow O(^1D) + O_2$ η οποία δικαιολογεί την ημερήσια διακύμανση που παρουσιάζεται στις ελάχιστες τιμές των ριζών •OH τις πρωινές ώρες και τις μέγιστες τιμές τους κατά τις μεσημεριανές ώρες (μέγιστο στις 13:00). Η αντίδραση: $O(^1D) + H_2O \rightarrow 2HO\bullet$ αποτελεί τον κύριο τρόπο παραγωγής ριζών •OH ενώ η αντίστοιχη κατανάλωση τους γίνεται μέσω της αντίδρασης RH+•OH ⇨ R• + H_2O.
Μετά την επίλυση του μοντέλου, οι 48-ωρες συγκεντρώσεις των ριζών υδροξυλίου που υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στο σχήμα 6.4, παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, και με την χρήση βιοντήζελ B20 & B100 είναι αντίστοιχα $0.40*10^7$molecules/cm^3, $0.14*10^7$molecules/cm^3, $0.40*10^7$molecules/cm^{3}και $0.41*10^7$molecules/cm^3. Παρατηρείται ταύτιση σχεδόν των ριζών υδροξυλίου όταν χρησιμοποιούμε βιοντήζελ B20 και B100. Οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των ριζών •OH σε κυκλοφοριακό φόρτο και με χρήση B20 και B100 σχετίζονται άμεσα.
Οι ελάχιστες τιμές που υπολογίστηκαν με κυκλοφοριακό φόρτο και μη, με χρήση βιοντήζελ B20 και B100 ήταν στα $2.80*10^4$molecules/cm^3, $0.00036*10^4$molecules/cm^3, $2.79*10^4$molecules/cm^{3}και $2.82*10^4$molecules/cm^3 αντίστοιχα ενώ οι μέγιστες ήταν στα $1.55*10^7$molecules/cm^3, $0.57*10^7$molecules/cm^3, $1.59*10^7$molecules/cm^3 και $1.65*10^7$molecules/cm^3 αντίστοιχα. Οι διαφορές στις τιμές μεταξύ κυκλοφοριακού φόρτου, χρήσης B20 και B100 με τις τιμές με μη κυκλοφοριακό φόρτο οφείλονται στην μείωση των NO_2 και του O_3 και κατά συνέπεια στην μικρότερη παραγωγή ριζών •OH.
Η εκατοστιαία % μείωση που υπολογίστηκε σε σχέση με την προσομοίωση με κυκλοφοριακό φόρτο ήταν -63.55% χωρίς κυκλοφοριακό φόρτο ενώ η % αύξηση ήταν 2.05% με χρήση B20 και 4.05% με χρήση B100.



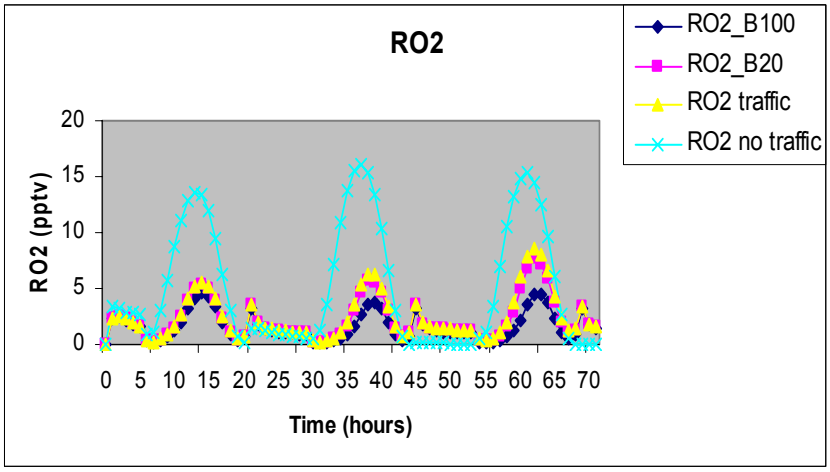
Σχήμα 6.4: Μεταβολή των συγκεντρώσεων της ρίζας •OH (σε ppbv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ)

Μεταβολή συγκεντρώσεων των RO_2• παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, βιοντήζελ B20 και B100

Η παρουσία αλκυλοπερόξυ ριζών (RO_2•) όπως αναφέρθηκε αναλυτικά και στην παρ.1.5, προκαλεί μετατροπή, του μονοξείδιου του αζώτου σε διοξείδιο σύμφωνα με την αντίδραση NO +RO_2• → NO_2 + RO• (RO_2• είναι συνήθως το HO_2•) χωρίς την καταστροφή του όζοντος. Η δημιουργία των RO_2• οφείλεται στους υδρογονάνθρακες (κυρίως πτητικούς, όπως CH_4 κ.α. καθώς και από το CO) μέσω των ριζών •OH σύμφωνα με τις αντιδράσεις: RH + •OH → R• + H_2O και R• + O_2 + M → RO_2• + M (παρ.1.5).

Οι μέσες συγκεντρώσεις των ριζών RO_2• που υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στο σχήμα 6.5, παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, και με την χρήση βιοντήζελ B20 & B100 είναι αντιστοίχως 2.51pptv, 4.85pptv, 2.24pptv και 1.51pptv. Οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των αλκοπεροξυ ριζών σε κυκλοφοριακό φόρτο και με χρήση B20 σχετίζονται άμεσα. Οι ελάχιστες τιμές που υπολογίστηκαν με κυκλοφοριακό φόρτο και μη, με χρήση βιοντήζελ B20 και B100 ήταν στα 0.17pptv, 0.022pptv, 0.15pptv και 0.09pptv αντιστοίχως ενώ οι μέγιστες ήταν στα 8.61pptv, και 1.61pptv, 7.60pptv και 4.55pptv αντίστοιχα. Υπολογίστηκαν υψηλές τιμές συγκεντρώσεων ριζών RO_2• στην περίπτωση μη κυκλοφοριακού φόρτου το οποίο είναι αναμενόμενο λόγω του ότι ελαττώνονται οι συγκεντρώσεις του NO.

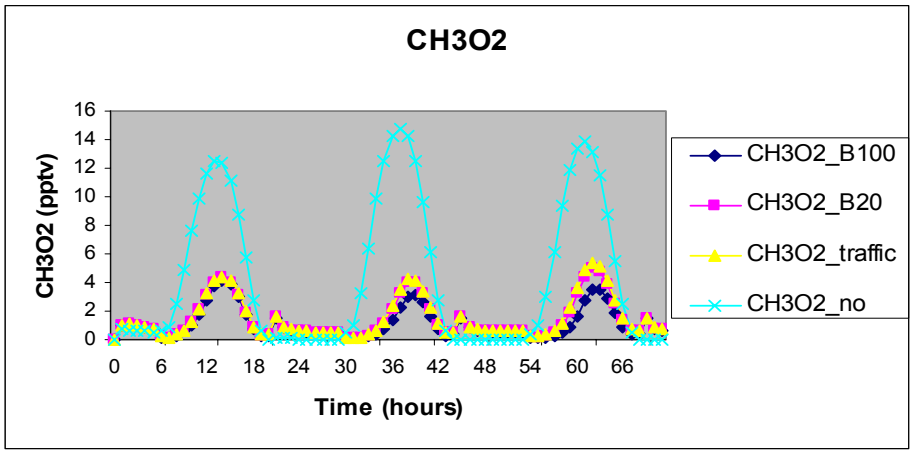
Η εκατοστιαία % μείωση που υπολογίστηκε σε σχέση με την προσομοίωση με κυκλοφοριακό φόρτο ήταν -10.58% με χρήση B20 και -39.73% με χρήση B100 ενώ η εκατοστιαία % αύξηση χωρίς κυκλοφοριακό φόρτο είναι 93.26%.



Σχήμα 6.5: Μεταβολή των συγκεντρώσεων της ρίζας RO_2• (σε pptv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ)

Μεταβολή συγκεντρώσεων των CH_3O_2• παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, βιοντήζελ B20 και B100

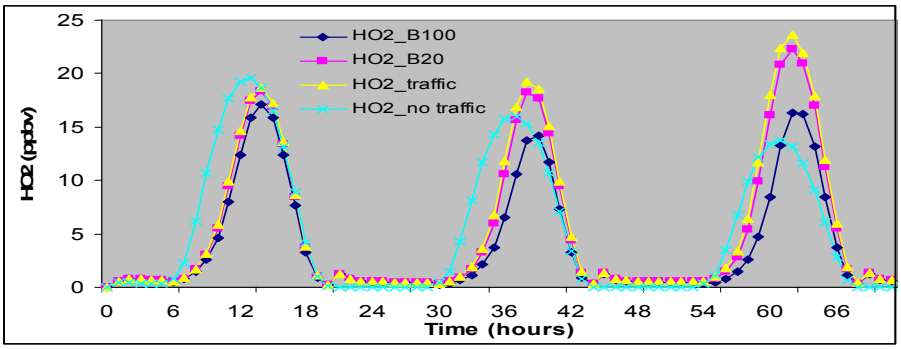
Οι μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις των ριζών CH_3O_2• που υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στο σχήμα 6.6, παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, και με την χρήση βιοντήζελ B20 & B100 είναι αντίστοιχα 1.47pptv, 4.28pptv, 1.36pptv και 1.01pptv. Οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των μεθυλο-περοξυ ριζών (CH_3O_2•) σε κυκλοφοριακό φόρτο και με χρήση B20 σχετίζονται άμεσα. Οι ελάχιστες τιμές που υπολογίστηκαν με κυκλοφοριακό φόρτο και μη, με χρήση βιοντήζελ B20 και B100 ήταν στα 0.12pptv, 0.0018pptv, 0.1pptv και 0.076pptv αντίστοιχα ενώ οι μέγιστες ήταν στα 5.37pptv, και 14.8pptv, 4.99pptv και 3.56pptv αντίστοιχα. Το διάγραμμα 6.6 είναι ανάλογο με το διάγραμμα 6.5, παρουσιάζοντας μέγιστο τις μεσημεριανές ώρες (13:00) και ελάχιστο τις πρώτες πρωινές ώρες.



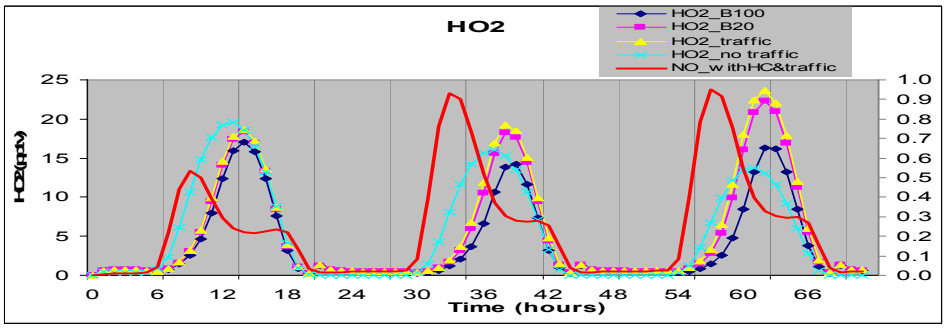
Σχήμα 6.6: Μεταβολή των συγκεντρώσεων του CH_3O_2• (σε pptv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ)

Μεταβολή συγκεντρώσεων HO_2• παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, βιοντήζελ B20 και B100

Οι μέσες συγκεντρώσεις των ριζών HO_2• που υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στο σχήμα 6.7, παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, και με την χρήση βιοντήζελ B20 & B100 είναι αντίστοιχα 5.60ppbv, 4.64pptv, 5.18pptv και 3.66pptv. Σχετικά καλή ταύτιση των καμπυλών συγκεντρώσεων του HO_2• εμφανίζονται παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και με χρήση B20. Οι ελάχιστες τιμές που υπολογίστηκαν με κυκλοφοριακό φόρτο και μη, με χρήση βιοντήζελ B20 και B100 ήταν στα 0.36pptv, 0.0012pptv, 0.34pptv και 0.26pptv αντίστοιχα ενώ οι μέγιστες ήταν στα 23.6pptv, και 16pptv, 22.3pptv και 16.3pptv αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι οι τιμές των υδροπεροξυ ριζών όταν δεν υπάρχει κυκλοφοριακός φόρτος ελαττώνεται καθώς ελαττώνεται η συγκέντρωση των ριζών OH σύμφωνα με τις αντιδράσεις: $CO + \bullet OH + O_2 \rightarrow CO_2 + HO_2\bullet$ και $O_3 + \bullet OH \rightarrow O_2 + HO_2\bullet$. Παρατηρείται επίσης ένα μέγιστο κατά τις μεσημεριανές ώρες και ελάχιστο τις πρώτες πρωινές ώρες. Η επίδραση των NOx (και συγκεκριμένα NO) στις HO_2• είναι σημαντική, καθώς όπως παρατηρείται στο σχήμα 6.8, η μείωση της συγκέντρωσης του NO από τις 09:00, συμπίπτει με την αύξηση των συγκεντρώσεων των HO_2• τα οποία καταναλώνουν το NO και εμφανίζουν ένα μέγιστο κατά τις 13:00.



Σχήμα 6.7: Μεταβολή των συγκεντρώσεων του HO_2• (σε pptv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ)

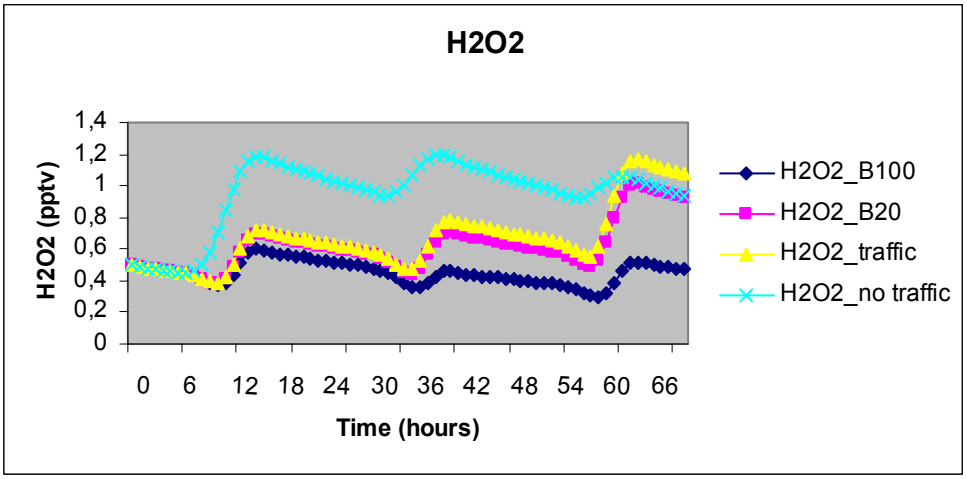


Σχήμα 6.8: Μεταβολή των συγκεντρώσεων του HO_2• (σε pptv) και των συγκεντρώσεων του NO (σε ppbv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ)

Μεταβολή συγκεντρώσεων των H_2O_2 παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, βιοντήζελ B20 και B100

Το H_2O_2, σχηματίζεται απουσία NOx, όπου το HO_2• μπορεί να αντιδράσει με επιπλέον HO_2 (δίνοντας υπεροξείδιο του υδρογόνου) ή με οργανικές περόξυ ρίζες (δίνοντας οργανικά υδροπεροξείδια). Η φωτόλυση του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) αποτελεί μια επιπλέον πηγή •OH στην τροπόσφαιρα (παρ.1.5). Κατά συνέπεια η αύξηση των ριζών HO_2 έχει σαν συνέπεια την αύξηση των συγκεντρώσεων υπεροξειδίου του υδρογόνου σύμφωνα με την αντίδραση: $HO_2\bullet + HO_2\bullet \rightarrow H_2O_2 + O_2$

Οι μέσες συγκεντρώσεις του H_2O_2 που υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στο σχήμα 6.9, παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, και με την χρήση βιοντήζελ B20 & B100 είναι αντίστοιχα 0.74pptv, 1.03pptv, 0.66pptv και 0.43pptv. Ταύτιση των καμπυλών συγκεντρώσεων του H_2O_2 εμφανίζονται παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και με χρήση B20. Οι ελάχιστες τιμές που υπολογίστηκαν με κυκλοφοριακό φόρτο και μη, με χρήση βιοντήζελ B20 και B100 ήταν στα 0.47pptv, 0.92pptv, 0.44pptv και 0.29pptv αντίστοιχα ενώ οι μέγιστες ήταν στα 1.17pptv, 1.20pptv, 1.01pptv και 0.54pptv αντίστοιχα. Όπως αναμένεται η συγκέντρωση των υπεροξειδίων του υδρογόνου λόγω μη κυκλοφοριακού φόρτου αυξάνεται απουσία των NOx. Η εκατοστιαία % μείωση που παρατηρήθηκε σε σχέση με την προσομοίωση με κυκλοφοριακό φόρτο ήταν -10.30% με χρήση B20 και -41.20% με χρήση B100 ενώ η εκατοστιαία % αύξηση χωρίς κυκλοφοριακό φόρτο είναι 39.50%.

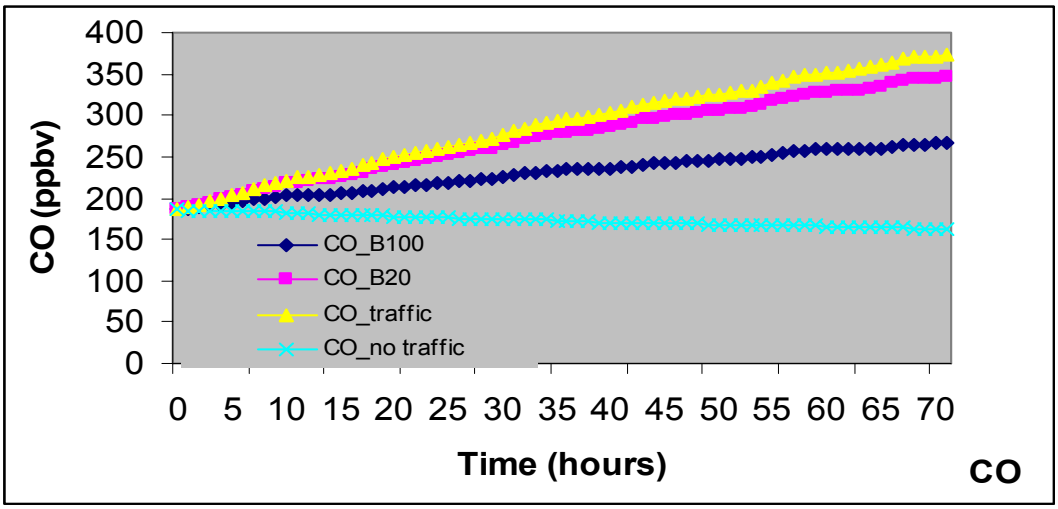


Σχήμα 6.9: Μεταβολή των συγκεντρώσεων του H_2O_2 (σε pptv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ)

Μεταβολή συγκεντρώσεων του CO παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, βιοντήζελ B20 και B100

Οι μέσες συγκεντρώσεις του CO που υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στο σχήμα 6.10, παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και μη, και με την χρήση βιοντήζελ B20 & B100 είναι αντίστοιχα 319ppbv, 169ppbv, 300ppbv και 243ppbv. Ταύτιση των καμπυλών συγκεντρώσεων του CO εμφανίζεται παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου και με χρήση B20. Οι ελάχιστες τιμές που παρατηρήθηκαν με κυκλοφοριακό φόρτο και μη, με χρήση βιοντήζελ B20 και B100 ήταν στα 258ppbv, 163ppbv, 247ppbv και 216ppbv αντίστοιχα ενώ οι μέγιστες ήταν στα 373ppbv, και 177ppbv, 346ppbv και 266ppbv αντίστοιχα. Το CO αποτελεί ρύπο που παράγει O_3 παρουσία NOx και καταναλώνει OH•. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπολογίζουμε μικρότερες συγκεντρώσεις CO χωρίς κυκλοφοριακό φόρτο ενώ στην περίπτωση που έχουμε χρήση B100 έχουμε ομοίως μικρότερες συγκεντρώσεις, συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες όταν χρησιμοποιήσουμε B20 ή όταν έχουμε κυκλοφοριακό φόρτο.

Η εκατοστιαία % μείωση των συγκεντρώσεων CO που υπολογίστηκε σε σχέση με την προσομοίωση με κυκλοφοριακό φόρτο ήταν -46.95% χωρίς κυκλοφοριακό φόρτο, -6% με χρήση B20 και -23.70% με χρήση B100.



Σχήμα 6.10: Μεταβολή των συγκεντρώσεων του CO (σε ppbv) σε συνάρτηση με τον χρόνο (σε hours) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ)

ΚΕΦ. 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία είχε σκοπό την επίδραση που έχει η χρήση των βιοκαυσίμων και συγκεκριμένα του βιοντήζελ με περιεκτικότητες 20%v/v και 100%v/v στην τροποσφαιρική χημεία. Για να ελέγξουμε την επίδραση που έχουν τα βιοκαύσιμα, χρησιμοποιήσαμε ένα λεπτομερές χημικό μοντέλο 0 διαστάσεων με την χρήση του υπολογιστικού πατέκου FACSIMILE, το οποίο υπολογίζει και επιλύει όλες τις διαφορικές εξισώσεις των χημικών αντιδράσεων και των εκπομπών αέριων ρύπων καθώς και την επίδραση τους πάνω στο όζον της ατμόσφαιρας.

Με την βοήθεια του μοντέλου υπολογίστηκαν οι συγκεντρώσεις για 4 διαφορετικές περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση θεωρήθηκε ότι δεν έχουμε κυκλοφοριακό φόρτο (εκτιμήσεις εκπομπών CO, NOx, VOCs=0) από τα τροχοφόρα (επιβατικά οχήματα ιδιωτικής χρήσης, ΤΑΧΙ, Αστικά και Τουριστικά Λεωφορεία, βαριά κι ελαφρά φορτηγά, δίκυκλα) για τους 3 αέριους ρύπους ενώ για τη 2η περίπτωση θεωρήθηκε ότι υπάρχει κυκλοφοριακός φόρτος των τροχοφόρων με βάση στοιχεία από το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών.

Στην 3η περίπτωση θεωρήθηκε ότι έχουμε χρησιμοποιήσει βιοντήζελ B20 (δηλ. 20%v/v βιοντήζελ και 80% συμβατικού diesel) ενώ στην 4η περίπτωση θεωρήθηκε ότι έχουμε B100 (δηλ. %100v/v βιοντήζελ).

Μετά την επίλυση του μοντέλου και για τις 4 περιπτώσεις εκτιμήθηκε η επίδραση των εκπομπών CO, NOx & VOCs στο ισοζύγιο του O_3 για κάθε μια από τις τέσσερις περιπτώσεις.

Μελετήθηκαν τα 2 τελευταία 24-ωρα των προσομοιώσεων από τα οποία εξήχθηκαν τα παρακάτω συμπεράσματα. Γενικά δεν υπολογίζονται σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη για την ποιότητα του αέρα με την χρήση του B20, ενώ έχουμε εμφανές κέρδος με τη χρήση του B100 και προφανώς η καθαρότερη ατμόσφαιρα πετυχαίνεται απουσία κυκλοφοριακού φόρτου.

Ειδικότερα, οι συγκεντρώσεις των μελετηθέντων αέριων ρύπων του όζοντος και του CO σε (ppbv) και του H_2O_2 σε (pptv) παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic), μη κυκλοφοριακού φόρτου (no traffic), με χρήση B20 και με B100. Αναφέρονται η μέση τιμή των συγκεντρώσεων, οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές καθώς και η εκατοστιαία % αντίστοιχη μείωση ή ελάττωση σε σχέση με την παρουσία μη κυκλοφοριακού φόρτου:

O_3 (ppbv)				
	Μέση τιμή	**max**	**min**	**%**
Traffic	76.96	95.26	60.66	-47.75
No traffic	40.21	48.90	32.70	
B20	74.68	91.50	60	-2.95
B100	67.26	78.70	58	-12.60
CO (ppbv)				
Traffic	319	373	258	
No traffic	169	177	163	-46.95
B20	300	346	247	-6
B100	243	266	216	-23.70
H_2O_2 (pptv)				
Traffic	0.74	1.17	0.47	
No traffic	1.03	1.20	0.92	39.50
B20	0.66	1.01	0.44	-10.30
B100	0.43	0.54	0.29	-41.20

Πίνακας 7.1: Σύνοψη αποτελεσμάτων παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ). Οι μονάδες για το O_3 και το CO είναι σε ppbv και για το H_2O_2 σε pptv

Οι συγκεντρώσεις των μελετηθέντων ελευθέρων ριζών •OH σε (molecules/cm^3), των ριζών RO_2• σε (ppbv) και των ριζών CH_3O_2• και των HO_2• σε (pptv), παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic), μη κυκλοφοριακού φόρτου (no traffic), με χρήση B20 και με B100. Αναφέρονται η μέση τιμή των συγκεντρώσεων, οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές καθώς και η εκατοστιαία % αντίστοιχη μείωση ή ελάττωση σε σχέση με την παρουσία μη κυκλοφοριακού φόρτου:

•OH (*10^7) (molecules/cm^3)				
	Μέση τιμή	**max**	**min**	**%**
Traffic	0.40	1.55	2.80	
No traffic	0.14	0.57	0.00036	-63.55
B20	0.40	1.59	2.79	-2.05
B100	0.41	1.65	2.82	-4.05
RO_2• (ppbv)				
Traffic	2.51	8.61	0.17	
No traffic	4.85	1.61	0.022	93.26
B20	2.24	7.60	0.15	-10.58
B100	1.51	4.55	0.09	-39.73
CH_3O_2• (pptv)				
Traffic	1.47	5.37	0.12	
No traffic	4.28	14.8	0.0018	
B20	1.36	4.99	0.1	
B100	1.01	3.56	0.076	
HO_2• (pptv)				
Traffic	5.60	23.6	0.36	
No traffic	4.64	16	0.0012	
B20	5.18	22.3	0.34	
B100	3.66	16.3	0.26	

Πίνακας 7.2: Σύνοψη αποτελεσμάτων παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (traffic) και μη (no traffic), με χρήση βιοντήζελ B20 (20%v/v βιοντήζελ και 80%v/v συμβατικού ντίζελ) και με χρήση βιοντήζελ B100 (100%v/v βιοντήζελ). Οι μονάδες για τις ρίζες ·OH αναφέρονται σε molecules/cm^3 και οι ρίζες RO_2·, CH_3O_2·, HO_2· αναφέρονται σε pptv

Τα επίπεδα του όζοντος παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου σε σύγκριση με τα επίπεδα του όζοντος χωρίς κυκλοφοριακό φόρτο παρουσιάζουν μια εκατοστιαία % ελάττωση (-47.75%) ενώ παρουσιάζουν μια ελάχιστη διαφορά με χρήση B20 (-2.95%). Τα αντίστοιχα επίπεδα με χρήση B100 εμφανίζουν -12.60%. Τα επίπεδα όζοντος που υπολογίστηκαν για τις 3 περιπτώσεις (κυκλοφοριακού φόρτου, B20 και B100) είναι τις περισσότερες φορές αρκετά μεγαλύτερες από το όριο που έχει θεσπίσει η Ευρωπαική Ένωση ως όριο ασφαλείας για τον άνθρωπο (53ppbv).

Οι ρίζες •OH δεν επηρεάζονται σημαντικά με την χρήση βιοκαυσίμων τόσο για το B20 όσο και για το B100 συγκρινόμενες με το αντίστοιχο διάγραμμα με κυκλοφοριακό φόρτο. Συγκεκριμένα ενώ η μέση τιμή των ριζών •OH είναι $0.40*10^7$ molecules/cm^3, η αντίστοιχη μέση τιμή με χρήση B20 είναι $0.40*10^7$ molecules/cm^3 ενώ με χρήση B100 είναι $0.41*10^7$ molecules/cm^3. Η εκατοστιαία % μείωση που υπολογίζεται είναι -63.55% χωρίς κυκλοφοριακό φόρτο, είναι της τάξης -2.05% με την χρήση B20 και η αντίστοιχη για το B100 είναι της τάξης
-4.05% σε σχέση με την προσομοίωση με κυκλοφοριακό φόρτο.

Οι ρίζες •OH δεν επηρεάζονται σημαντικά με την χρήση βιοκαυσίμων τόσο για το B20 όσο και για το B100 συγκρινόμενες με τα επίπεδα τους με κυκλοφοριακό φόρτο.

Οι ρίζες των αλκοπεροξυ (RO_2•) όσο και των μεθοξυ ριζών (CH_3O_2•)) δεν επηρεάζονται σημαντικά με την χρήση βιοκαυσίμων τόσο για το B20 (6ppbv) όσο και για το B100 συγκρινόμενες με το αντίστοιχο διάγραμμα με κυκλοφοριακό φόρτο. Συγκεκριμένα ενώ η μέση τιμή των ριζών RO_2• είναι 2.51pptv, 4.85pptv, 2.24pptv, 1.51pptv με κυκλοφοριακό φόρτο και μη και με χρήση B20 και B100 αντίστοιχα. Η εκατοστιαία % μείωση που υπολογίστηκε με την χρήση B20 είναι της τάξης -10.58% και η αντίστοιχη για το B100 είναι της τάξης -39.73% σε σχέση με την προσομοίωση με κυκλοφοριακό φόρτο ενώ η αντίστοιχη αύξηση χωρίς κυκλοφοριακό φόρτο είναι 93.26%. Αυτό οφείλεται στη μειωμένη κατανάλωση τους από αντιδράσεις με NO, λόγω μείωσης των εκπομπών των NO.

Η μέση τιμή των ριζών CH_3O_2• είναι 1.47pptv, 4.28pptv, 1.36pptv, 1.01pptv με κυκλοφοριακό φόρτο και μη και με χρήση B20 και B100 αντίστοιχα.

Οι μέσες συγκεντρώσεις των ριζών HO_2• δεν επηρεάζονται σημαντικά με την χρήση βιοκαυσίμων με χρήση B20 (5.15ppbv) ενώ παρουσιάζουν μια σχετική μείωση με χρήση B100 (3.66pptv) συγκρινόμενες με το αντίστοιχο διάγραμμα με κυκλοφοριακό φόρτο (5.60pptv).

Η εκατοστιαία % μείωση που παρατηρείται με την χρήση B20 είναι της τάξης -10.30% και η αντίστοιχη για το B100 είναι της τάξης -41.20% σε σχέση με την προσομοίωση με κυκλοφοριακό φόρτο ενώ η αντίστοιχη αύξηση χωρίς κυκλοφοριακό φόρτο είναι 39.50%.

Οι μέσες συγκεντρώσεις του CO που υπολογίστηκαν δεν επηρεάζονται σημαντικά με την χρήση βιοντήζελ με χρήση B20 (266ppbv) και με χρήση B100 (226ppbv) αν συγκριθούν με τις συγκεντρώσεις του CO παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου (280.5ppbv) Η μείωση των συγκεντρώσεων CO παρουσία καθαρού περιβάλλοντος, B20 και B100, συγκρινόμενα με τις συγκεντρώσεις του CO παρουσία κυκλοφοριακού φόρτου είναι -46.95%, -6% και 23.70% αντίστοιχα.

Έτσι μετά την επίλυση του μοντέλου και για τις 4 περιπτώσεις βλέπουμε την ελάχιστη επίδραση των αερίων ρύπων (CO, NOx & VOCs) στην επίδραση του τροποσφαιρικού O_3, τόσο με την χρήση βιοντήζελ B20 όσο και με χρήση βιοντήζελ B100. Έτσι μελετώντας τα παραπάνω καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

- **Η χρήση βιοκαυσίμων οδηγεί σε χαμηλότερες τιμές όζοντος σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα αυτοκινήτων**

- **Παρόλα αυτά η παρούσα μελέτη δεν εξέτασε τις επιπτώσεις των βιοκαυσίμων λόγω αυξημένων εκπομπών θερμοκηπικών αερίων (όπως το CO_2 και το N_2O)**

- **Τα βιοκαύσιμα δεν αποτελούν λύση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής – είναι παρόλα αυτά μια μεταβατική λύση προς καθαρότερες πηγές ενέργειας.**

ΚΕΦ. 8 ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωση Βιβλιογραφία

- Arvanitis A. and Moussiopoulos N. (2003) "Coupling an aerosol module to a deterministic long term ozone exposure model", *Proceedings of the 26th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application* (C. Borrego and S. Incecik eds), Istanbul Technical
- Bolin B, Doos BR, Jager J, Warrwick RA. The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems. SCOPE 29, Wiley & Sons, Chichester, 1989; Stachowicz JJ, Terwin JR, Whitlach RB, Osman RW. Linking climate change and biological invasions: Ocean warming facilitates nonindigenous species invasions. Proc Natl Acad Sci USA, 2002, 99: 15497-15500; Keeling RF, Garcia HE. The change in oceanic O2 inventory associated with recent global warming. Proc Natl Acad Sci USA, 2002, 99: 7848-7853Bonasoni et al., 2000.
- Bonasoni, P., A. Stohl, P. Cristofanelli, F. Calzolari, T. Colombo, and F. Evangelisti, (2000), Background ozone variations at Mt. Cimone Station, Atmos. Environ., 34, 5183-5189.
- *Bozbas, 2005,* Bozbas, Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. Renew. Sustain. Energy Rev. 9 (4).
- British Medical Association. *Hazardous Waste and Human Health*. BMA Professional and Scientific Division, Oxford University Press, Oxford, 1991.
- Bull, 2000, 40: 569-586.WHO. Potential Health Effects of Climatic Change. Report of a WHO Task Group. WHO Publs, Geneva, 1990; Patz JA, Engelberg D, Last J. The effects of changing weather on public health. Annu Rev Public Health. 2000, 21: 271-307WRI, World Resources Institute.
- Cayan et al., 2001, Cayan, D. R., Kammerdiener, S. A., Dettinger, M. D., Caprio, J. M., and Peterson, D. H.: 2001,'Changes in the Onset of Spring in the Western United States', Bull. Amer. Meteorol. Soc. 82,399–415.
- Claussen E, ed. Climate Change: Science, Strategies and Solutions. Pew Center on Global Climate Change. Brill Academic Publs, Leiden,The Netherlands, 2001.
- Clayton P, Coleman P, Leonard A, Loader A, Marlowe L, Mitchell D, Richardson S, Scott D. *Review of Municipal Solid Waste Incineration in* the UK. Warren Spring, Stevenage, 1991; Battemer-Frey HA, Travis CC. *Health Effects of Municipal Waste Incineration*. CRC Press, Boca Raton, FL,1991.
- Colbeck I, MacKenzie AR. Air Pollution by Photochemical Oxidants. Vol. 1. Elsevier, Amsterdam, 1994; Wayne RP. The photochemistry of ozone. Atmos Environ, 1987, 21: 1683-1694.
- COM (97) 599 τελικό: Λευκή Βίβλος 'Ενέργεια για το μέλλον: ανανεώσιμες πηγές ενέργειας'.
- Crutzen, P.J., 1973: A discussion of the chemistry of some minor constituents in the stratosphere and troposphere. Pure App. Geophys., 106-108, 1385-1399.
- Crutzen, P.J., 1973: Gas-phase nitrogen and methane chemistry in the atmosphere. In: Physics and Chemistry of Upper Atmospheres, B.M. McCormac (ed.), Reidel, Dordrecht, Holland, 110-124.
- Crutzen, P.J., (1973) A discussion of the chemistry of some minor constituents in the stratosphere and troposphere, Pure Appl. Geophys., 106-108, 1385-1399.
- Crutzen, P.J.: Global Tropospheric Chemistry. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on "Low Temperature Chemistry of the

Atmosphere", Maratea, Italy, August 29 - September 11, 1993, NATO ASI Series I 21 (Eds. G.K. Moortgat et al.), Springer, Heidelberg, 465-498 (1994).
- Crutzen, P.J.: Global budgets for non-CO_2 grennhouse gases. Environmental Monitoring and Assessement, 31, 1-15 (1994).
- Crutzen, P.J., J. Lelieveld and Ch. Brühl: Oxidation processes in the atmosphere and the role of human activities: Observations and model results. In: "Environmental Oxidants", J.O. Nriagu and M.S. Simmons (Eds.), Vol. 28 in "Advances in Environmental Science and Technology", Wiley, Chichester, 63-93 (1994).
- Crutzen, P.J., (1995) Ozone in the troposphere, in Composition, Chemistry, and Climate of the Atmosphere, edited by H.B. Singh. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 349-393.
- Curtis and Sweetenham, 1987 Curtis, A. R. and Sweetenham, W. P.: FACSIMILE/CHEKMAT users manual, Rep. AERER12805, Her Majesty's Stn. Off Norwich, UK, 1987.
- De Santis, *1999,* De Santis, F., (1999) New Directions: Will a new European vegetation ozone standard be fair to all European countries?, Atmos. Environ. 33, 3873-3874.
- Diesel, 1913, *"Die Entstehung des Dieselmotors", Springer, Germany*
- Dobbins R.A. 1979: Atmospheric Motion and Air Pollution, John Wiley and Sons. 324pp.
- Dunkeloh and Jacobeit, 2003*,* Dunkeloh, A. and J., Jacobeit, (2003) Circulation Dynamics of Mediterranean precipitation variability 1948-98. Int. J. Climatol. 23:1843-1866.
- EEA (European Environment Agency). 2002. Scenarios as a tool for international environmental assessments. Environ. Issue Rep. No. 24. EEA, Copenhagen.
- EEA (European Environment Agency), 2005: State of Europe's Environment. EEA, Copenhagen (in preparation).
- EEA (2006): *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?*,European Environmental Agency Report No 7/2006
- Eduijee GH. Dioxins in the environment. Chemistry in Britain, 1988, 24: 1223-1226.
- Elsom D. *Atmospheric Pollution*. Blackwell, London, 1989.
- EMEP, 2000, Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe: Ozone measurements 1999, Anne-Gunn Hjellbrekke and Sverre Solberg.
- Environmental Change Unit, University of Oxford. Climate Change and World Food Supply. Special Issues of Global Environmental Change and Food Policy. Workshop, 1993. (reviewed by A. Barrie Pittock, Environment, 1995, 37: 25-30); Rosenzweig C, Parry ML. Potential Impact of Climate Change on World Food Supply. Nature, 1994, 367: 133-135EPA. 2006. Global mitigation of non-CO2 greenhouse gases. EPA Rep. 430-R-06-005. US Environ. Prot. Agency, Washington DC.
- EPA. Ecological Impacts from Climate Change: An Economic Analysis of Freshwater Recreational Fishing. EPA Report, Washington DC, 1995.
- EurObserv'ER (2004): *Biofuels barometer 2003*. June 2004, no 53. EurObserv'ER (2005): *Biofuels barometer 2004*. June 2005, no 39. EurObserv'ER (2006a) *Biofuels barometer 2005*. May 2006, no57. EurObserv'ER (2006b) *Biogas barometer 2005*. May 2006, no 173.
- European Commission (2007): Review of economic and environmental data for the biofuels progress report, Annex to the Biofuels Progress Report, COM (2006) 845 final.

- *Feidas et al., 2004,* Feidas H., Makrogiannis T. and Bora-Senta E. (2004). Trend analysis of Air Temperature Time Series Data In Greece Determined By Ground and Satellite Data. Theoretical and Applied Climatology vol 79, pp.185 – 208.
- Fishman, J., K. Fakhruzzaman, B. Cros and D. Nyange (1991) Identification of widespread pollution in the southern hemisphere deduced from satellite analyses, Science, 252, 1693.
- Fox L. Donald, Boubel W. Richard, Turner D. Bruce and Stern C. Arthur, 1992: Fundamentals of Air Pollution. Third Edition. Academic Press, Inc. 530 pp.
- Fulkerson W, Reister DB, Perry AM, Crane AT, Kash DE, Auerbach SI. Global warming: an energy, technology and R & D challenge. Science, 1989, 244: 868-869.
- Gerasopoulos et.al., 2005, Gerasopoulos, E., G. Kouvarakis, M. Vrekoussis, M. Kanakidou, and N. Mihalopoulos (2005), Ozone variability in the marine boundary layer of the eastern Mediterranean based on 7-year observations, J. Geophys. Res., 110, D15309,, doi: 10.1029/2205JD005991.
- Godish Thad, 1991: Air Quality. Second Edition. Lewis Publishers INC., Chelsea, Michigan, U.S.A.. 422pp.
- Graedel and Crutzen, 1993, Atmospheric change: an Earth system perspective. W. H. Freeman and Company, New York, USA. Hansen et al. 1997, Hansen, J., Mki. Sato, R. Ruedy, A. Lacis, K. Asamoah, K. Beckford, S. Borenstein, E. Brown, B. Cairns, B. Carlson, B. Curran, S. de Castro, L. Druyan, P. Etwarrow, T. Ferede, M. Fox, D. Gaffen, J. Glascoe, H. Gordon, S. Hollandsworth, X. Jiang, C. Johnson, N. Lawrence, J. Lean, J. Lerner, K. Lo, J. Logan, A. Luckett, M.P. McCormick, R. McPeters, R.L. Miller, P. Minnis, I. Ramberran, G. Russell, P. Russell, P. Stone, I. Tegen, S. Thomas, L. Thomason, A. Thompson, J. Wilder, R. Willson, and J. Zawodny, 1997: Forcings and chaos in interannual to decadal climate change. *J. Geophys. Res.*, 102, 25679-25720, doi:10.1029/97JD01495.
- Grenfelt P, Schjoldager J. Photochemical oxidants in the troposphere: a mounting menace. Ambio 1984, 13:61-67; Kley D, Kleinmann M, Sanderman H, Krupa S. Photochemical oxidants: state of the science. Environ Poll, 1999, 100: 19-42.
- Gugele B, Strobel B, Taylor P. Greenhouse gas emission trends and projections in Europe. Are the EU and the candidate countries on track to achieve the Kyoto Protocol targets? European Topic Centre on Air and Climate Change. European Environment Agency. Copenhagen, 2002; Commission of the European Communities. Decision of the European Parliament. 'For the monitoring mechanism of Community greenhouse gas emissions and the implementation of the Kyoto Protocol' Brussels 5.2.2003.
- Harvey LDD. Global Warming: The Hard Science. Prentice Hall, New York, 2000; Kump LR. Reducing uncertainty about carbon dioxide as a climate driver. Nature, 2002, 419: 188-190.
- Harwell and Didcot, 1994, "Tropospheric Degradation Chemistry of HCFC-123 (CF3CHCl2): A Proposed Replacement Chlorofluorocarbon," G.D. Hayman (AEA Consultancy Serv., Harwell Lab., Didcot, Oxon OX11 0RA, UK), M.E. Jenkin et al., *Atmos. Environ.*, 28(3), 421-437, Mar. 1994.
- Hertel, O. and Berkowicz, R., 1989: Operational Street Pollution Model (OSPM), evaluation of the model on data from St. Olavs street in Oslo, DMU Luft A-135
- High nature value farmland: Characteristics, trends and policy challenges, UNEP και ΕΟΠ, έκθεση ΕΟΠ αριθ. 1/2004.

- Holgate S, Samet J, Koren H, Maynard R. Air Pollution and Health. Academic Press, San Diego, 1999; Brunekreef B, Holgate ST. Air pollution and health. Lancet 2002, 360:1233-1242; Kunzli N, Kaiser R, Medina S, et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. Lancet, 2000, 356: 795-801.
- Houghton RA. The future role of tropical forests in affecting the carbon dioxide concentration of the atmosphere. Ambio, 1990, 19: 204-209; SedjoRA. Forests: A tool to moderate global warming? 1989, 31: 14-20
- Houghton et al., 2001, http://www.nhc.noaa.gov/pdf/05pielke.pdf
- Hughes L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? Trends Ecol Evol, 2000, 15: 56-61; McCarty JP.Ecological consequences of recent climate change. Conserv Biol, 2001, 15:320-331; Grabherr G, Gotfried M, Pauli H.Climate effects on mountai plants. Nature, 1994, 369: 448-450;
- IEA, International Energy Agency (1989). Electricity end-use efficiency. OECD/IEA. Paris.
- IEA, 2001. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2001. Things that Go Blip in the Night, OECD/IEA.
- IEA (International Energy Agency), 2006. Energy Technology Perspectives. OECD/IEA, Paris.
- IPCC 1995, International Panel on Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change edited by J.T. Houghton 339 pp. Cambridge Univ. Press. New York.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. Special report on emission scenarios: Understanding and modeling technological change. IPCC and Oxford Univ. Press, UK.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Climate change 2001: Synthesis report. Cambridge Univ. Press, UK.
- IPPC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. Climate change. Fourth assessment report of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC,2007**,** IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007a. Climate change 2007: The physical science basis: Summary for policy makers. Working group 1 Fourth Assessment Report. Cambridge Univ. Press, UK.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007b. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Working group 2 Fourth Assessment Report. Cambridge Univ. Press, UK.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007c. Climate change 2007: Mitigation of climate change. Working group 3 Fourth Assessment Report. Cambridge Univ. Press, UK.
- Jarvis PG, ed. The Likely Impact if Rising CO2 and Temperature on European Forests. Cambridge University Press, Cambridge, 1998; Pereira JS, Chaves MM. Impacts of climate change and elevated CO2 on trees in regions with a Mediterranean type climate. In: Mohren GMJ, Kramer K, Sabate S, eds. Impact of Global Climate on Tree Physiology and Forest Ecosystems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1997: 213-223; Moreno JM, Oechel WC, eds. Global Change and Mediterranean-Type Ecosystems. Ecological Studies Vol. 117. Springer-Verlag, Berlin, 1995
- Jensen, P.: Scenario analysis of consequence of renewable energy policies for land area requirements for biomass production [μελέτη για τη ΓΔ ΚΚΕρ/IPTS (Ινστιτούτο Τεχνολογικών Προβλέψεων)], 2003.

- Jungmeier et al., *2005,* Jungmeier, G., Koenighofer, K., Varela, M., and Lago, C. 2005. Economic and Environmental Performance of Biofuel. Work Package 2, VIEWLS Project. Clear Views on Clean Fuels: Data Potential, Scenarios, Markets and Trade of Biofuels, EC Project NNE5-2001-00619.
- Kalabokas et al., 2000, Kalabokas, P.D., L.G. Viras, J.G. Bartzis and C.C. Repapis, (2000) Mediterranean rural ozone characteristics around the urban area of Athens, Atmos. Envirom., 34, 5199-5208.
- Kaldellis et al., 2004, Kaldellis J.K., Kavadias K.A., Kondili E., 2004: Renewable Energy Desalination Plants for the Greek Islands, Technical and Economic Considerations. Desalination Journal, DES 2871, on-line available in www.ScienceDirect**.**
- Kaldellis et al.,2005a, Kaldellis, J. K. (2005). "Social attitude towards wind energy applications in Greece."Energy Policy 33(5): 595-602.
- Kanakidou, 1994; Kanakidou, M., P.J. Crutzen and P.H. Zimmermann: Estimates of the changes in tropospheric chemistry which result from human activity and their dependence on NO_x emissions and model resolution. Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium, June 4-13, 1992, Charlottsville, Virginia, U.S., NASA Conference Publication 3266, 66-69 (1994).
- Kanakidou, M., et al. (1999a) 3-D global simulations of Tropospheric chemistry with focus on ozone distributions: Results of the GIM/IGAC intercomparison 1997 exercise, in Report to the EU, December 1998, Rep. EUR 18842, 79pp., EU, Brussels.
- Kanakidou, K., and P.J. Crutzen, (1999b), The photochemical source of carbon monoxide:Importance, uncertainties and feedbacks, Chemosphere, Global Change Science, 1, 91-109.
- Kanakidou and Crutzen, 1999, Kanakidou, M. and P. J. Crutzen, 1999: The photochemical source of carbon monoxide: Importance, uncertainties and feedbacks. Chemosphere, 1, 91-109.
- Kanakidou, M., et al. (1999a) 3-D global simulations of Tropospheric chemistry with focus on ozone distributions: Results of the GIM/IGAC intercomparison 1997 exercise, in Report to the EU, December 1998, Rep. EUR 18842, 79pp., EU, Brussels.
- Kennedy AD. Antarctic terrestrial ecosystem response to global environmental change. Annu Rev Ecol Syst, 1995, 26: 683-704.
- Korbitz, 1993**,** Korbitz, Werner.The technical, energy and environment properties of Biodiesel., Korbitz consulting Austria 1993.
- Korner et al., 2005, J. G. Körner**,** Z. Merebashvili, and M. Rogal Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität, D-55099 Mainz, Germany, Institute of High Energy Physics and Informatization, Tbilisi State University, 0186 Tbilisi, Georgia.
- Kouvarakis et al., 2000, Kouvarakis, G., K. Tsigaridis, M. Kanakidou, and N. Mihalopoulos, (2000) Temporal variations of surface regional background ozone over Crete Island in southeast Mediterranean, J. Geophys. Res., 105, 4399-4407.
- Kouvarakis et al., 2002c, Kouvarakis, G., M. Vrekoussis, N. Mihalopoulos, K. Kourtidis, B. Rappengluck, E. Gerasopoulos and C. Zerefos, (2002c) Spatial and temporal variability of tropospheric ozone (O3) in the boundary layer above the Aegean Sea (Eastern Mediterranean), J. Geophys. Res., 107, 8137.
- Lacroix, 2003*,* Lacroix, C., Toxicology of Diesel exhaust particles, Deliverable D16 of PARTICULATES.,http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/particulates/
- Lelieveld and Dentener., 2000, Lelieveld, J. and F.J. Dentener, (2000) What controls tropospheric ozone? J. Geophys. Res.,105, 3531-3551.

- Liakakou, E, M. Vrekoussis, B. Bonsang, Ch. Donousis, M. Kanakidou, N. Mihalopoulos (2007) Isoprene above the Easter Mediterranean: Seasonal variation and contribution to the oxidation capacity of the atmposphere. *Atmospheric Environment 41*, 1002-1010.
- Liakakou, E, B. Bonsang, J. Williams, M. Kanakidou, N. Mihalopoulos (2008) C2 – C8 NMHCs above the Easter Mediterranean: Seasonal variation and contribution to the oxidation capacity of the atmposphere. Submitted to Atmospheric Environment.
- Lippmann M. Health Effects of Ozone. In: Lippmann M, ed.*Environmental Toxicants: Human Exposures and Their Health Effects.* VanNostrand Reinholt, New York, 1992: 465-519.18. Lefohn AS, ed. *Surface Level Ozone Exposures and Their Effects on Vegetation*. Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1992.
- Lloyd and Cackette, 2001, "Diesel enginees: environmental impact and control", Journal of the Air Waste Management Assosiation, 51: 809-847.
- Logan, 1994, Logan, J.A., (1994) Trends in the vertical distribution of ozone: An analysis of ozonesonde data, J. Geophys. Res., 99, 25553-25585.
- M. Vrekoussis et al.,Global observations of Glyoxal (CHOCHO) from space, M. Vrekoussis et al., Aerosols - Properties, Processes and Climate (APPC), An ESF - INTROP conference, Crete, Greece, April 22-24, 2007.
- M. Vrekoussis et al.,Long-term measurements of glyoxal (CHOCHO) and formaldehyde (HCHO) from space, EGU meeting, April 2007.
- Maheras et al., 2004, P. Maheras, Ch. Balafoutis and M. Vafiadis, Precipitation in the Central Mediterranean during the last century.
- Manahan SE. Chemical and photochemical reactions in the atmosphere. In: Manahan SE. Environmental Chemistry. Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1993:554-570; Finlayson-Pitts BJ, Pitts JN. Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques. John Wiley & Sons, New York,1986.
- Marland et al, and BP,(2004) Tristram O. West , Gregg Marland, Anthony W. King, Wilfred M. Post, Atul K. Jain and Kenneth Andrasko, Carbon Management Response Curves: Estimates of Temporal Soil Carbon Dynamics.
- McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS, eds. *Climate 2001:* Impacts, Adaptations, and Vulnerability. Cambridge University Press, New York, 2001.
- McMichael AJ, Haines A. Global climate change: the potential effects on health. Br Med J, 1997, 315: 805-809; Leaf A. Potential health effects of global climatic and environmental changes. N Engl J Med, 1989, 321: 1577-1583.
- Mihalopoulos, N., E. Stephanou, M. Kanakidou, S. Pilitsidis, and P. Bousquet, (1997) Tropospheric aerosol ionic composition above the Eastern Mediterranean Area, Tellus 49B, 314-326.
- Mihalopoulos, N., V.M. Kerminen, M. Kanakidou, H. Berresheim, J. Sciare (2007) Formation of particulate sulfur species (sulfate and methanesulfonate) during summer over the Eastern Mediterranean: A modelling approach. Atmospheric Environment 41, 6860 – 6871.
- Mohren GMJ, Kramer K, Sabate S, eds. Impact of Global Climate Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems (Proceedings of International Conference) Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1997.
- Moussiopoulos N., Douros I. (2004), Efficient calculation of urban scale air pollutant dispersion and transformation using the OFIS model within the framework of CITYDELTA, 9th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 1-4 June.

- Moussiopoulos N., Douros I., Reis S., Friedrich R. and the MERLIN project team (2005), the study of urban air quality in 20 European cities– Lessons Learned from the EU Research Project MERLIN, *5th Urban Air Quality Conference*, Valencia, Spain, 29-31 March.
- Myers N, ed. Deforestation Rates in Tropical Forests and Their Climatic Implications. Friends of the Earth, London, 1989; Kirschbaum MU. Forest growth and species distribution in a changing climate. Tree Physiol, 2000,20: 309-322.
- Mylona S. Trends of SO2 Emissions, Air Concentrations and Depositions of Sulphur in Europe since 1980. EMEP/MSC-W Report 2/93, EMEP, Oslo, 1993.
- NASA Goddard Space Flight Center, Wallops Island, Virginia F. Schmidlin, NASA Goddard Space Flight Center, Observational Science Branch Code 972, Wallops Island, VA 23337.
- National Acid Precipitation Assessment Program. Interim Assessment. The Causes and Effects of Acid Deposition. Washington DC, 1987; Reuss JO, Johnson DW, eds. *Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters*. Springer-Verlag, New York, 1986; Steinberg CEW, Wright RF, eds. Acidification of Freshwater Ecosystems. Implications for the Future. Wiley & Sons Ltd. Chichester, 1994.
- Newell RE, Reichle HG, Seiler W. Carbon monoxide and the burning earth. Scientific American, 1989, 262: 82-88.
- Ott HE. The Kyoto Protocol: Unfinished Business. Environment, 1998, 40: 16-44; Carraro C, ed. International Environmental Agreements on Climate Change. Kluwer Academic, Dodrecht, 1999; Grubb M, Vrolijk C, Brack D. The Kyoto Protocol: A Guide and Assessment. Royal Institute of International Affairs, London, 1999; Reilly J, Prinn R, Harnisch J, et al. Multi-gas assessment of the Kyoto Protocol. Nature, 1999, 401: 549-555.
- Pahl, 2005, "Biodiesel: Growing a New Energy Economy", Chelsea Green Pub. Co., USA.
- *Perry, 2005,* After the Supreme Word: The Effect of Van Orden v. Perry (2005) and McCreary County v. ACLU (2005) on Support for Public Displays of the Ten Commandments.
- *Piccarreta et al., 2004,* M. De Fino, L. La Volpe, A. Peccerill, G. Piccarreta[1] and G. Poli, Petrogenesis of Monte Vulture volcano (Italy): inferences from mineral chemistry, major and trace element data.
- Pimentel D. Global warming, population growth, and natural resources for food production. Soc Nat Resourc, 1991, 4: 347-363.
- Pope CA, III, Burnett RT, Thun MJ, Cale EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD. Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution. J Am Med Assoc, 2002, 287:1132-1141.
- Purvin & Gertz Inc, 2007, Chemical Market Associates, Inc. (CMAI) and Purvin & Gertz, Inc. will cohost The Middle East Influence on Global Energy and Petrochemical Markets - Seminar and Workshop at the Ritz-Carlton Hotel in BahrainVrekoussis et al., 2006, Vrekoussis, M., E. Liakakou, N. Mihalopoulos, M. Kanakidou, P.J. Crutzen, J. Lelieveld (2006) Formation of HNO3 and NO3- in the anthropogenically-influenced easter Mediterranean marine boundary layer. Geophys. Res. Lett., 33, L05811, doi:10.1029/2005GL025069.
- Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C, Pounds JA. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. Nature 2003, 421:57-60; Schneider SH, Root TL, eds. Wildlife Responses to Climate Change: North American Case Studies. Island Press, Washington DC, 2002.
- Rosenzweig C, Hillel D. Climate Change and the Global Harvest. Potential Impacts of the Greenhouse Effect on Agriculture. Oxford University Press,

Oxford, 1998.
- Rowland FS. Climate change and its consequences. Environment, 2001, 43: 29-34.
- Ryan et al., 2005, Ryan, K.M., Hoshizaki, D.K., Cripps, R.M. (2005). Homeotic selector genes control the patterning of seven-up expressing cells in the Drosophila dorsal vessel. Mech. Dev. 122(9): 1023--1033**.**
- Saeijs HL, Van Berkel MJ. Global water crisis: the major issue of the 21st century, a growing and explosive problem. Eur Water Pollut Control, 1995, 5: 26-40; Vorosmarty CJ, Green P, Salisbury J, Lammers RB. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. Science 2000, 289:284-288.
- Samaras et al., *2003,* Samara, C., Kouimtzis, Th., Tsitouridou, R., Kanias R., Simeonov, V., Chemical mass balance source apportionment of PM_{10} in an industrialized urban area of Northern Greece. Atmospheric Environment, 37, pp. 41-54.
- Seaton A, MacNee W, Donaldson K, Godden D. Particulate air pollution and acute health effects. Lancet, 1995, 345: 176-178.
- Seinfeld and Pandis, 1997, Seinfeld, J., and S. Pandis, (1998) Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Changes, John Wiley and Sons (eds), London, England.
- Shaw IC, Chadwick J. Principles of Environmental Toxicology. Taylor & Francis, London, 1998.
- Simonovic SP. World water dynamics: global modeling of water resources. J Environ Manage, 2002, 66: 249-267; Beuhler M. Potential impacts of global warming on water resources in southern California.Water Sci Technol, 2003, 47: 165-168.
- *Smith et al., 2000,* Stanley D. Smith*, Travis E. Huxman*†, Stephen F. Zitzer‡, Therese N. Charlet*, David C. Housman*, James S. Coleman§, Lynn K. Fenstermaker§, Jeffrey R. Seemann‡, and Robert S. Nowak, Elevated CO_2 increases productivity and invasive species success in an arid ecosystem
- *Spadaro and Rabl, 2001,* Rabl, A. and Spadaro, J.V. (2001) "The ExternE Project: Methodology, Objectives and Limitations", Externalities and Energy Policy: The Life Cycle Analysis Approach, IEA/NEA Workshop Proceedings, November 15-16, 2001, Paris, France.
- Trenberth KE. Stronger Evidence of Human Influences on Climate. The 2001 IPCC Assessment. Environment 2001, 43:9-33; UNEP/World Meteorological Organization. Information Unit on Climate Change. Framework Convention on Climate Change (www.unfccc.de).
- Tsigaridis and Kanakidou, *2002,* Tsigaridis, K., M. Kanakidou (2002) Importance of volatile organic compounds photochemistry over a forested area in central Greece. *Atmospheric Environment 36 (19),* 3137–3146.
- UNEP (United Nations Environmental Programme), 2007. Buildings and Climate Change: Status, Chalenges, and Opportunities. UNEP.
- University, Istanbul, Turkey, 26-29 May 2003, 339-352.
- U.S. Department of Agriculture. Economic Research Service. Agricultural Adaptation to Climate Change: Issues of Long-term Sustainability. Agricultural Economic Report, No 740, Washington DC, 1996; Reilly J, Hohmann N, Kane S. Climate change and agricultural trade: Who benefits, who loses? Global Environ Change 1994, 4:24-30; Adams RM, Rosenzweig C, Pearl RM, et al. Global climate change and US agriculture. Nature, 1990, 345: 219-222.

- Volz and Kley 1988, Volz and Kley(1988) ,Evaluation of the Montsouris series of ozone measurements made in the nineteenth century, *Nature*, 332, 240-242.
- Vrekousis et al., 2004, Vrekoussis, M., M. Kanakidou, N. Mihalopoulos, P.J. Crutzen, J. Lelieveld, D. Perner, H. Berresheim, and E. Baboukaw (2004), Role of the NO_3 radicals in oxidation processes in the eastern Mediterranenan troposphere during the MINOS campaign, Atmos. Chem. Phys., 4, 169-182.
- Walther G-R, Burga CA, Edwards PJ, eds. "Fingerprints" of Climate Change-Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges. Kluwer Academic/Plenum, New York, 2001; Cannell MGR, Hooper MD, eds. *The Greenhouse Effect and Terrestrial Ecosystems in the UK*. HMSO, London, 1990.
- Walther G-R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesant C, Beebee TJC, Fromentin J-M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F. Ecological responses to recent climate change. Nature, 2002, 416: 389-395; Moreno JM, Oechel WC, eds. *Global Change and Mediterranean-Type Ecosystems*. Ecological Studies Vol. 117. Springer-Verlag, Berlin, 1995.
- Wilkinson CR, ed. Status of Coral Reefs of the World 2000. Australian Institute of Marine Science, Global Coral Reef Monitoring Network, Townsville, Australia, 2000; Spencer T, et al. Coral bleaching in the southern Seychelles during 1997-98 Indian ocean warm event. Mar Poll.
- Whetton PH, Fowler AM, Haylock MR, Pittock AB. Implications of Climate Change due to the enhanced greenhouse effect on floods and droughts in Australia. Climate Change, 1993, 25: 289-317; Rosenberg NJ, Scott MT. Implications of Policies to prevent climate change for future food security. Global Environ Change, 1994, 4: 49-55.
- Worldwatch Institute. *Vital Signs*. Worldwatch Institute Publications, New York, 2000.
- World Resources Institute. A Guide to the Global Environment. Environmental Change and Human Health. UNEP, WRI, UNDP, Oxford, University Press, Oxford, 1999.
- World agriculture: Towards 2015/2030 — An FAO perspective, εκδ. Jelle Bruinsma, Earthscan, Λονδίνο, Μάιος 2003.
- Zerefos et al., 1998, Zerefos ,C., et al., (1998) Final report of the PAUR project, EU, Brussels.
- Zerefos et al., 2002, Zerefos, C., K. Kourtidis, D. Melas, D. Balis, P. Zanis, L. Katsaros, H. Mantis, C. Repapis, I. Isaksen, J. Sundet, J. Herman, P.K. Bhartia, B. Calpini, (2002) Photochemical Activity and Solar Ultraviolet Radiation (PAUR) Modulation Factors: An overview of the project, J. Geophys. Res.,107, 8134.
- Zimmermann, P., (1998) MOGUNTIA: A Handy global tracer model., in Air Pollution Modeling and Its Application VI, edited by H. Van Dop. 593-608, Plenum Press, New York, 1998.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Ατμοσφαιρική Ρύπανση [Οδηγός εκπαιδευτικών],Δ. Μελάς, Α. Αλεξανδροπούλου, Β. Αμοιρίδης, Μ. Κακαρίδου, Ν. Σουλακέλλης, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Διεύθυνση Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, Υποέργο ΕΠΕΑΕΚ 1.1.ΣΤ.1.Γ2, Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Υλικού για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, Εκδόσεις, Αθήνα 2000.
- «Βιώνοντας στο περιβάλλον Ι: Αρχές περιβαλλοντικών επιστημών», G.T. Miller, Εκδόσεις ΙΩΝ, 9η έκδοση, 1999.
- Ζερεφός Σ. Χρήστος, 1984: Μαθήματα Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Φυσικής του Περιβάλλοντος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θες/κης. 381 σ.
- Κατσούλης Χρήστος, 1989: Στοιχεία Φυσικής του Περιβάλλοντος. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. 235 σ.
- Κοδοσάκης Ε. Δημήτρης, Διαχείριση φυσικών πόρων και ενέργεια, σελ. 233-240, εκδ. Α.Σταμούλη, Αθήνα, 1994.
- Κουβαράκης, Γ., 2002. Όζον και αιωρούμενα σωματίδια στην Ανατολική Μεσόγειο. Πανεπιστήμιο Κρήτης.
- Μελάς Δημήτριος, 1997: Διασπορά Αερίων Ρύπων. Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 52 σ.
- Οδηγία 2003/30/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 8ης Μαΐου 2003 σχετικά με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές.
- Οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας
- ΥΠΑΝ, 2007, Υπουργείο Ανάπτυξης, 1η Έκθεση για το μακροχρόνιο ενεργειακό σχεδιασμό της Ελλάδας.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- http://vergina.eng.auth.gr/IHT/B%20Tomos/B04%20-%20BIOMAZA%20APORRHMATA/04Gianelos_Zannikos_et_al__A3IOPOIH%20TOY%20KAPNOSPOR.pdf
- http://www.teiser.gr/arximidis/pdf/moisiadis/pe3.pdf
- http://agoraideon.gr/site/index.php?option=com_content&task=view&id=156&Itemid=37
- http://www.aenaon.net/gr/index.php?option=com_content&task=view&id=60&Itemid=34
- http://bioenergynews.blogspot.com/2008/03/blog-post_21.html
- http://sup.kathimerini.gr/xtra/media/files/fin/Makrochronios.doc
- http://tp-biofuels.cperi.certh.gr/links/kalabaka/final_proposal.pdf
- http://www.kepka.org/Grk/info/Energy/ene003.htm
- http://www.eurocharity.org/article.php?article_id=1052
- http://www.bioenergia.gr/biodiesel-text.htm
- http://www.seepe.gr/site/main.php?page=content&contentID=18&PHPSESSID=eb383955058716760 2ad3918bcc302d3
- http://www.atm.ch.cam.ac.uk/tour/
- http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/hole.html
- http://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_effect
- http://www.ucar.edu/learn/1_3_1.htm
- http://zebu.uoregon.edu/1998/es202/l13.html
- http://en.wikipedia.org/wiki/Acid_rain
- http://www.ec.gc.ca/acidrain/acidfact.html
- http://www.lenntech.com/Water-Pollution-FAQ.htm
- http://ec.europa.eu/environment/news/efe/20/article_2440_el.htm
- www.climatechange.eu.com
- http://www.physics4u.gr/news/2002/scnews441.html
- http://www.biofuels.gr/
- http://62.103.39.56:8080/ketakemak_images/TAVIOKAUSIMASTINE_F7521.E-ELLADA.doc
- http://www.nilu.no/web/apnee/greech/about_airpollution.html,
- http://www.nationalgeographic.gr/
- http://lap.phys.auth.gr/pms/upload/WEB_POLLUTION.DOC
- www.econ.uoi.gr/epixirimatikotita/parousiaseis/.../biodiesel.ppt
- Αγερίδης Γ.,Χρήστου Μ., «Βιοκαύσιμα και περιβάλλον σε όλο τον κύκλο ζωής»,http://library.certh.gr/libfiles/PDF/EKETA-CD-88-BIOKAVSIMA-KAI-PERIBALLON-by-AGERIDHS-G-at-BIOKAVSIMA-DIHMERIDA-3-4-NOV-2006-TEE-TKM-PP-6-Y-2006.pdf
- Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), http://www.iea.org
- Δικτυακός τόπος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την κλιματική αλλαγή:http://ec.europa.eu/comm/environment/climat/home_en.htm
- Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ), http://www.certh.gr/
- Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Καυσίμων και Υδρογονανθράκων (ΕΠΚΥ), http://www.certh.gr/CEA40304.el.aspx
- Ευρωπαϊκό Θεματικό Κέντρο Ποιότητας Αέρα (European Topic Centre on Air Quality) http://www.etcaq.rivm.nl/
- Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος: www.eea.eu.int
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), www.cres.gr
- Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO), http://www.wmo.ch/

- Τροποσφαιρικό Όζον, Αστικό ή Παγκόσμιο πρόβλημα ρύπανσης; Δρ. Πρόδρομος Ζάνης, Εργαστήριο Φυσικής Ατμόσφαιρας, ΑΠΘ, http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/Tropo_o3.doc
- ΥΠΑΝ, Μια επιθετική πολιιτική για τη βιομάζα και τα βιοκαύσιμα, Γ. Σαλαγκούδης.Υφυπουργός Ανάπτυξης, Ημερίδα ELFORES, Ιούλιος 2004, http://www.ypan.gr/announce/140604_3.htm
- ΥΠΑΝ, 2007, http://www.ypan.gr/c_announce/45_3671_cms.htm
- ΥΠΑΝ, 2008, http://www.ypan.gr/docs/kya_plafon.pdf
- ΥΠΑΝ, 2009, http://www.ypan.gr/docs/kya_plafon.pdf
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε,http://www.minenv.gr/frame.html?2&0&2&/4/41/g4100.html
- Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA), http://www.epa.gov/
- A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions: http://www.epa.gov/otaq/models/analysis/biodsl/p02001.pdf
- Biodiesel Emissions Database, Assembled by the U.S. Environmental Protection Agency, http://www.eere.energy.gov/cleancities/toolbox/pdfs/mccormick_webcast.pdf
- BiodieselEmissions:http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/emissions.pdf
- Biofuels Barometer - June 2004, EUROBSERV'ER, EuObserv'ER, 2004. Biofuels Barometer-June 2004, Systemes Solaires No. 161, http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/comm/baro161.pdf
- «Biofuels for Transport – An International Perspective», International Energy Agency, April 2004, (www.iea.org/dbtw-wpd/bookshop)
- C.,Berg.2001.*World Ethanol Production 2001*, http://www.distill.com/world_ethanol_production.html
- Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (Sofia, 1998). United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) Environment and Human Settlements Division. Protocol concerning the Control of Emissions of Nitrogen Oxides (http://www.unece.org/env/lrtap/nitr)
- Draft Technical Report: http://www.epa.gov/otaq/models/analysis/biodsl/biodsldb.pdf
- *EBB,2003,http://www.ebbeu.org/EBBpressreleases/press%20Biofuels%20Detaxation1.pdf*
- *EBB,2005,http://www.ebbeu.org/EBBpressreleases/EBB%20press%20release%20assembly%202005%20final.pdf*
- *EBB,2006,http://www.ebbeu.org/EBBpressreleases/EBB%20press%20release%202005%20statistics%20(final).pdf*
- *EBB,2007,http://www.ebbeu.org/EBBpressreleases/EBB%20press%20release%202006%20stats%202007%20cap%20Final.pdf*
- *EBB,2008,http://www.ebbeu.org/EBBpressreleases/EBB%20press%20release%202007%20stats%20final25062008.pdf*
- *EBB,Ιούλιος,2009,*http://www.ebbeu.org/EBBpressreleases/EBB%20press%20release%202008%20prod%202009%20cap%20FINAL.pdf
- EC, European strategies, "Climate Action - Energy for a Changing world", http://ec.europa.eu/energy/strategies/2008/2008_01_climate_change_en.htm
- Effects of Biodiesel on Pollutant Emissions: http://cta.ornl.gov/bedb/biofuels/biodiesel/Average_Biodiesel_Emissions_Compared_to_Conventional_Diesel.xls
- ENERDATA (http://www.enerdata.fr/enerdatauk/)
- Energy Information Administration. Department of Environment. Impacts of the Kyoto Protocol on U.S energy markets and economic activity. DOE/EIA 1998 (www.eia.doe.gov/oiaf/kyoto/kyotorpt.html)

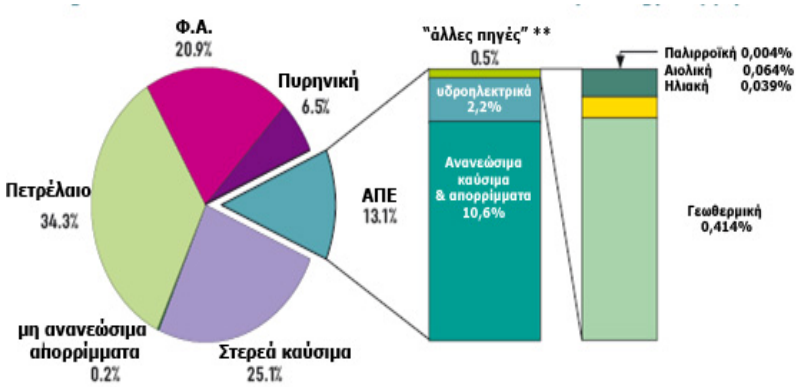
- EPA, Υπηρεσία Περιβάλλοντος του Καναδά (Environment Canada) Greenhouse gases and global warming. Potential values. US Greenhouse Gas Inventory Program, Office of Atmospheric Programs, Washington DC,2002,www.epa.gov/globalwarming/publications/emissions
- Eurostat, 2004: NewCronos database (http://europa.eu.int/ newcronos)
- Eurostat,http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/themes
- EurObserv'ER, 2004: energies-renouvelables. org/observ-er/stat_baro/eufores/baro161.pdf
- European Biodiesel Board,(http://www.ebb-eu.org).
- FEDIOL,2008, http://www.fediol.be/2/index.php
- «From niche to nation: Ethanol Industry Outlook 2006», Renewable Fuels Associatio -RFA, USA, http://www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/outlook_2006.pdf
- Houghton JT, Meira Filho LG, Callander BA, et al, eds. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2001: The Scientific *Basis.*Cambridge University Press, Cambridge, 2001 (http://www.ipcc.ch)
- IEA (International Energy Agency) 2004. Biofuels for transport: An international perspective. *Available at www.iea.org*
- (IEA 2007), International Energy Agency, Medium Term Oil Market Report, http://online.wsj.com/public/resources/documents/iea20070707.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, http://www.ipcc.eh
- IPCC, *http://www.ipcc.ch/*
- LAMNET, http://www.bioenergy-lamnet.org/EMEP Programme. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (http://www.emep.int/emep_description.html).
- Ntziachristos L and Samaras Z. COPERT III: Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and emission factors (Version 2.1), Technical report No 49, 2000, http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm
- ODEX, 2004, ftp://ftp.fao.org/codex/ccrvdf15/rv1504ae.pdf
- *United States Environmental Protection Agency,* http://www.epa.gov/oar/oaqps/gooduphigh
- REAC, Ενεργειακό Κέντρο Περιφέρειας Κρήτης http://www.crete-region.gr/greek/energy/REAC.pdf
- Reiner DM. Climate Impasse. How the Hague negotiations failed Environment, 2001, 43**:** 36-43; The United Nations Framework Convention on Climate Change (http://unfccc.int/resource/convkp.html)
- Stockholm Convention on POPs (1997). International action to protect health and the environment through measures which will reduce and/or eliminate emissions and discharges of persistent organic pollutants, including the development of an international legally binding instrument. (http://www.pops.int/documents/background/)
- UNEP, United Nations Environment Programme environment for development, Ozone Sectetariat, http://ozone.unep.org/
- *U.S. EPA, 2002,* Health assessment document for diesel engine exhaust. Report No. EPA/600/8- 90/057F, Washington, DC, USA, Internet reference at *http://.epa.gov/ncea/archive/Diesel.htm*
- Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, KKEp, Concawe, Eucar, 2004 (http://ies.jrc.cec.eu.int**/** download/eh/31

ΚΕΦ. 9 - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας συνεισφέρουν σημαντικά στην παραγωγή ενέργειας παγκοσμίως, συμβάλλοντας στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλων αέριων ρύπων. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν την τρίτη σε μέγεθος πηγή παραγωγής ηλεκτρισμού παγκοσμίως. Αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 18% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μετά τον άνθρακα (40%) και το φυσικό αέριο (σχεδόν 20%) και προηγούνται της πυρηνικής ενέργειας (16%), και του πετρελαίου (7%). Σχεδόν το 90% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προέρχεται από υδροηλεκτρικά έργα. Η γεωθερμική, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια έχουν αγγίξει το 4,5% της συνολικής παραγωγής από ΑΠΕ. Αν και η συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ παρουσιάζει ετήσιο ρυθμό αύξησης οριακά υψηλότερο από την ετήσια αύξηση της συνολικής διάθεσης πρωτογενούς ενέργειας, η αναλογία αυτή αναμένεται να μετατραπεί λόγω των επενδύσεων και επιχειρηματικών κινήσεων στον τομέα των ΑΠΕ που έχουν αυξηθεί εντυπωσιακά τα τελευταία χρόνια.



Σχήμα 9.1: Κατανομή της παγκόσμιας ζήτησης τελικής ενέργειας ανά τομέα δραστηριότητας και είδος καυσίμου για το έτος 2004, Πηγή ΙΕΑ

<u>Γιατί χρησιμοποιούμε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας;</u>

Τα τελευταία χρόνια έννοιες όπως βιώσιμη ανάπτυξη, ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού, βελτίωση της ανταγωνιστικότητας έχουν γίνει αρκετά οικείες για τον Έλληνα πολίτη. Οι έννοιες αυτές σηματοδοτούν τις βασικές κατευθύνσεις της ευρωπαϊκής αναπτυξιακής πολιτικής, οι οποίες σχετίζονται με το περιβάλλον, την ενέργεια, την οικονομία και την κοινωνική ανάπτυξη. Επιπλέον για να αποφευχθούν οι χειρότερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής πρέπει να μειωθούν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, και ιδιαίτερα του διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται από τον ενεργειακό τομέα. Η εξάπλωση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας θα συμβάλει σημαντικά στον περιορισμό των περιβαλλοντικών αυτών επιπτώσεων που σχετίζονται με τη συμβατική ενεργειακή αλυσίδα και παράλληλα θα μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, που είναι η κύρια αιτία της αλλαγής του κλίματος.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, ο ενεργειακός τομέας και ιδιαίτερα οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και η Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΕΞΕ) αποτελούν την «αιχμή του δόρατος» στην αναπτυξιακή πορεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ιδιαίτερα σήμερα με δεδομένα τα γεωπολιτικά προβλήματα, τους περιβαλλοντικούς κινδύνους και τις υψηλές τιμές του πετρελαίου. Οι ΑΠΕ αποτελούν εν μέρει απάντηση στα προβλήματα αυτά γιατί αποτελούν τοπικό φυσικό πόρο που συμβάλλει στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, βοηθάει την τοπική ανάπτυξη, δεν απαιτεί εξόρυξη, αγωγούς και

συναλλαγματικούς κινδύνους και, κυρίως, δεν απειλεί το φυσικό και το ανθρωπογενές περιβάλλον.
Τη στιγμή που οι περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες εξαρτώνται σήμερα από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα (ας σκεφτούμε και την επίδραση που έχει η άνοδος της τιμής του πετρελαίου, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες), οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας αποτελούν μια ευκαιρία για αποκεντρωμένη προμήθεια ενέργειας.

Τέτοιου τύπου αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας δημιουργεί περισσότερες θέσεις εργασίας τοπικά, και είναι πολύ λιγότερο επιρρεπής στη διαφθορά και στις κρίσεις. Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας δεν ανοίγουν μόνο προοπτικές για την περιβαλλοντικά συμβατή αναδιάρθρωση της ενεργειακής μας αλυσίδας αλλά συμβάλλουν επίσης στην εκτόνωση εντάσεων στην παγκόσμια αγορά ενέργειας, και κατ' επέκταση σε πολιτική και οικονομική ασφάλεια.

<u>Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας</u>

Ως **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)** ορίζονται οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν εν αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον, είναι πρακτικά ανεξάντλητες και **ανανεώνονται συνεχώς και με φυσικό τρόπο**. Ο ανανεώσιμος χαρακτήρας αυτών των πηγών ενέργειας σχετίζεται άμεσα με την προέλευση τους. Με εξαίρεση τη γεωθερμία, η οποία προέρχεται από την εσωτερική θερμική ενέργεια της Γης, οι υπόλοιπες οφείλονται, άμεσα ή έμμεσα, στην **ηλιακή ακτινοβολία** που φθάνει στην επιφάνεια της. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων των τελευταίων δεκαετιών, δόθηκε παγκοσμίως ισχυρή ώθηση στην έρευνα για τις δυνατότητες εκμετάλλευσης εναλλακτικών μορφών ενέργειας, που να είναι φιλικές προς το περιβάλλον και, ταυτόχρονα, ανεξάντλητες. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) συνδυάζουν τα δύο παραπάνω χαρακτηριστικά και ήταν φυσικό η έρευνα να στραφεί στις δυνατότητες εκμετάλλευσής τους. Σήμερα η πρόοδος των τεχνολογιών αξιοποίησης τους έχει, σε πολλές περιπτώσεις, καταστήσει την εκμετάλλευση τους οικονομικά ανταγωνιστική των συμβατικών πηγών ενέργειας, καθιστώντας τις κατάλληλες για γενική χρήση και όχι μόνο για ειδικές εφαρμογές. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται και από την ευρεία διάδοση τους, ειδικά τα τελευταία χρόνια, η οποία μάλιστα συνεχίζεται με αυξανόμενους ρυθμούς.

Οι ΑΠΕ αποτελούν μια **εγχώρια πηγή ενέργειας** και η εκμετάλλευση τους συμβάλλει στη **μείωση της εξάρτησης** από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού των χωρών αυτών. Παράλληλα οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας συμβάλλουν στη **βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος** και ουσιαστικά είναι, μαζί με την **εξοικονόμηση ενέργειας**, οι μόνες επιλογές που έχει η ανθρωπότητα για να μειώσει τους ρύπους του διοξειδίου του άνθρακα και το **«φαινόμενο του θερμοκηπίου»**.

<u>Μορφές των Α.Π.Ε.</u>

Οι κύριες μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

► **Ηλιακή Ενέργεια**. Αυτή αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία και διακρίνονται στα:

- *<u>Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα,</u>* στα οποία χρησιμοποιούνται κατάλληλοι συλλέκτες για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και την αποθήκευση της, με τη μορφή θερμότητας, σε κάποιο ρευστό (παραγωγή ζεστού νερού αλλά και παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω παραγωγής ατμού).
- *<u>Παθητικά Ηλιακά Συστήματα</u>*, τα οποία βασίζονται στον κατάλληλο αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κτιρίων και την επιλογή ενεργειακά αποδοτικών δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της εκμεταλλεύσιμης ηλιακής ενέργειας σε εφαρμογές θέρμανσης, δροσισμού και φωτισμού των κτιρίων.

- *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, με τα οποία μετατρέπεται η ηλιακή ενέργεια απ' ευθείας σε ηλεκτρική.

► **Αιολική Ενέργεια**, η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των ανέμων. Οι μηχανές που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό, δεσμεύουν την κινητική ενέργεια του ανέμου και την μετατρέπουν είτε σε κάποια άλλη μορφή μηχανικής ενέργειας, είτε, συνηθέστερα, σε ηλεκτρική.

► **Υδραυλική Ενέργεια (η Ενέργεια του νερού)**, η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του νερού (ποτάμια) ή της δυναμικής ενέργειας του νερού (πτώση από ύψος – καταρράκτες). Οι μηχανές που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό, δεσμεύουν την ενέργεια του νερού και την μετατρέπουν είτε σε κάποια άλλη μορφή μηχανικής ενέργειας, είτε, συνηθέστερα, σε ηλεκτρική (υδροηλεκτρικά εργοστάσια).

► **Γεωθερμική Ενέργεια**, όπου αξιοποιούνται τα θερμά νερά ή/και οι ατμοί που υπάρχουν σε υπόγειους ταμιευτήρες σε πολλές περιοχές της Γης. Τα ρευστά αυτά, όταν είναι εφικτό να αντληθούν με οικονομικά συμφέρον κόστος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σε θερμικές εφαρμογές, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

► **Ενέργεια από Βιομάζα**, δηλαδή η χημική ενέργεια που εμπεριέχεται σε κάθε υλικό που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Η καύση της βιομάζας, είτε απ' ευθείας είτε μετατρεπόμενη σε κατάλληλο καύσιμο, αποδίδει θερμική ενέργεια, η οποία, στη συνέχεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικιλία εφαρμογών (και παραγωγή ηλεκτρισμού).

Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα εξής:

- Είναι πρακτικά **ανεξάντλητες** πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Είναι **εγχώριες** πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της **ενεργειακής ανεξαρτησίας** και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι γεωγραφικά **διεσπαρμένες** και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε **τοπικό και περιφερειακό** επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
- Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών έως αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή), επιτυγχάνοντας **ορθολογικότερη** χρησιμοποίηση των ενεργειακών πόρων.
- Έχουν συνήθως **χαμηλό λειτουργικό κόστος**, το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠ Ε διατίθενται σε **μικρά μεγέθη** και έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας, με επαναλαμβανόμενα συστήματα σε πολλές περιπτώσεις.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι εντάσεως **εργασίας**, δημιουργώντας **πολλές θέσεις εργασίας** ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και **πόλο για την τοπική ανάπτυξη**, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ (π.χ. θερμοκηπιακές καλλιέργειες με γεωθερμική ενέργεια).

- Είναι φιλικές προς το **περιβάλλον** (δεν συμβάλλουν στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» και στις κλιματικές αλλαγές) και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

Μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα οι ΑΠΕ παρουσιάζουν και ορισμένα χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν την αξιοποίηση και ταχεία ανάπτυξή τους:

- Το **διεσπαρμένο δυναμικό** τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, να μεταφερθεί και να αποθηκευθεί.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλες ισχύεις απαιτούνται συχνά **εκτεταμένες εγκαταστάσεις**.
- Παρουσιάζουν συχνά **διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά** τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε **χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης** των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους,
- Το **κόστος επένδυσης** ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων είναι ακόμη υψηλό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΟΔΗΓΙΕΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Ευρωπαϊκή πολιτική στήριξης των βιοκαυσίμων

Η Ευρωπαϊκή πολιτική για την ενέργεια και τις μεταφορές αποτυπώθηκε στην Πράσινη Βίβλο για την ενέργεια και στη Λευκή Βίβλο για τις μεταφορές. Όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και τη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας, τα εν λόγω έγγραφα έθεσαν ένα σημαντικό πολιτικό στόχο:«το 20% των καυσίμων κίνησης πρέπει να προέρχονται από εναλλακτικές πηγές έως το 2020». Βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, οι εναλλακτικές αυτές αναμένεται να είναι τα βιοκαύσιμα και το συμπιεσμένο φυσικό αέριο, ενώ μακροπρόθεσμα, σημαντικό ρόλο αναμένεται να παίξει το υδρογόνο. Για την προώθηση της ανάπτυξης των βιοκαυσίμων και την επίτευξη του ανωτέρω στόχου, εκδόθηκε η **Οδηγία Βιοκαυσίμων** (2003/30/ΕΚ), το 2003, που έθεσε ως ενδεικτικό στόχο, το 5,75% όλων των καυσίμων κίνησης να είναι βιοκαύσιμα έως τις 31 Δεκεμβρίου 2010. Τα περισσότερα Κράτη Μέλη, προκειμένου να συμμορφωθούν με την εν λόγω Οδηγία, χρησιμοποίησαν φορολογικά κίνητρα υπέρ των βιοκαυσίμων και επέβαλαν υποχρεωτικά μέτρα στους διανομείς καυσίμων κίνησης. Για να στηρίξει τη χρήση φορολογικών κινήτρων, η Επιτροπή υιοθέτησε την **Οδηγία Φορολογίας Ενεργειακών Προϊόντων** (2003/96/ΕΚ), που επιτρέπει στα Κράτη Μέλη να χρησιμοποιήσουν διαφορετική φορολογική πολιτική για τα βιοκαύσιμα, προκειμένου να ενισχύσουν τη ζήτηση τους.

Στις 10 Ιανουαρίου 2007, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε την Έκθεση Αξιολόγησης της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Στρατηγικής. Η έκθεση αυτή εμπεριείχε τον **Οδικό Χάρτη για τις ΑΠΕ** [*COM(2006)848*], που αποτύπωνε ένα μακροπρόθεσμο όραμα για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ε. Ε. και πρότεινε να καταστεί υποχρεωτικός, για τα Κράτη Μέλη, ο στόχος του 10% ανανεώσιμα καύσιμα επί του συνόλου της βενζίνης και του ντίζελ κίνησης.

Όσον αφορά την ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών, καθοριστικό ρόλο έπαιξε, η μεταρρύθμιση της **Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ),** το 2003, που προέβλεπε την μετατόπιση από την ενίσχυση ανά καλλιέργεια, στην ενιαία ενίσχυση ανά γεωργό. Η κίνηση αυτή αποσκοπούσε στο να φέρει τους γεωργούς πιο κοντά στις ανάγκες της αγοράς και να συμβάλει στη διαφοροποίηση

της αγροτικής οικονομίας και ήταν αυτή που άνοιξε το δρόμο για τις ενεργειακές καλλιέργειες και γενικότερα τις μη-διατροφικές καλλιέργειες. Η μεταρρύθμιση, όχι απλά διευκόλυνε τις ενεργειακές καλλιέργειες, αλλά προβλέπει και μέτρα για τη στήριξη τους. Πιο συγκεκριμένα, επιτρέπει τη χρήση των υπό αγρανάπαυση γαιών για ενεργειακές καλλιέργειες και προβλέπει την καταβολή Ενίσχυσης Ενεργειακών Καλλιεργειών, πέραν της ενιαίας ενίσχυσης. Ο Κανονισμός (ΕΚ) 1782/2003 (Κεφ.5, άρθ. 88-89) θέτει το ύψος της ενίσχυσης αυτής σε €4,5/στρέμμα, για μία έκταση 15 εκατ. στρεμμάτων σε όλη την Ε.Ε.

Εντούτοις, στην Έκθεση Αξιολόγησης της Νέα ΚΑΠ (Health Check), η Επιτροπή προτείνει την κατάργηση της ενίσχυσης των ενεργειακών καλλιεργειών και της υποχρεωτικής αγρανάπαυσης γαιών. Πιο συγκεκριμένα, στις 20 Μαίου 2008, η Επιτροπή κατέθεσε πρόταση για τροποποίηση της ΚΑΠ (COM (2008) 306 (final), στην οποία τονίζει ό,τι δε συντρέχει πλέον κάποιος λόγος για την ενίσχυση των ενεργειακών καλλιεργειών, καθώς η ζήτηση των βιοκαυσίμων στη διεθνή αγορά έχει αυξηθεί σημαντικά και οι ενδεικτικού στόχοι που έθεταν οι Ευρωπαϊκές Οδηγίες, έχουν γίνει πλέον υποχρεωτικοί. Γι' αυτό και προτάθηκε η κατάργηση του Κανονισμού (ΕΚ) 1782/2003. Παρόλα αυτά το κεφάλαιο 5 του Κανονισμού, που αφορά την ενίσχυση των ενεργειακών καλλιεργειών θα παραμείνει σε ισχύ έως το τέλος του 2009.

Η Οδηγία Βιοκαυσίμων (2003/30/ΕΚ) έθεσε ενδεικτικό στόχο 5,75% βιοκαύσιμα, επί του συνόλου των καυσίμων κίνησης, έως το 2010, με ενδιάμεσο ενδεικτικό στόχο 2% έως το 2005 η οποία προτείνει συμμετοχή των βιοκαυσίμων στην αγορά καυσίμων σε ποσοστό 20% έως το 2012. Στα ποσοστά αυτά το βιοντήζελ θα υποκαταστήσει το συμβατικό ντίζελ, ενώ η βιοαιαθανόλη τη βενζίνη. Βάσει των στόχων της Οδηγίας, κάθε Κράτος Μέλος έθεσε τους δικούς του εθνικούς στόχους, που είναι όμως ενδεικτικοί και όχι υποχρεωτικοί. Με άλλα λόγια, η εκπλήρωση τους αποτελεί ηθική υποχρέωση των Κρατών Μελών, αλλά όχι νομική υποχρέωση.

Τον Ιανουάριο του 2007, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κατέθεσε την Έκθεση Προόδου για τα Βιοκαύσιμα (COM(2006) 845 τελικό), που αξιολογούσε την πρόοδο στον τομέα των βιοκαυσίμων έως το 2006. Το 2% σε ενεργειακό περιεχόμενο, υπολογίζεται ότι αντιστοιχεί σε περίπου 45.000 τόνους βιοντήζελ, για το έτος 2005. Το έτος 2010, θα απαιτηθούν περίπου 150.000 τόνοι βιοντήζελ, ποσό ισοδύναμο με το 5,75%. Σύμφωνα με την Έκθεση μόνο η Σουηδία και η Γερμανία σημείωσαν μεγάλη πρόοδο και πέτυχαν τους στόχους τους για το 2005, ενώ οι υπόλοιπες χώρες σημείωσαν μικρή πρόοδο. Συνολικά, ο στόχος του 2% για το 2005 δεν επιτεύχθηκε και είναι έντονη η ανησυχία ότι και ο συνολικός στόχος του 5,75% για το 2010 δε θα επιτευχθεί. Γι' αυτό και η Επιτροπή αναζητά τρόπους για την ενίσχυση της Οδηγίας Βιοκαυσίμων.

Στις 23 Ιανουαρίου 2008, η Επιτροπή κατέθεσε Πρόταση Οδηγίας «σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές» [COM(2008) 19 τελικό]. Η Πρόταση Οδηγίας καθιστά υποχρεωτικό το στόχο του 10% ανανεώσιμα καύσιμα κίνησης έως το 2020 (άρθρο 3) και προβλέπει τη θέσπιση κριτηρίων περιβαλλοντικής βιωσιμότητας για τα βιοκαύσιμα και άλλα βιο-υγρά (άρθρο 15). Πιο συγκεκριμένα απαιτεί τουλάχιστον 35% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση βιοκαυσίμων ή άλλων βιο-υγρών και θέτει έως προϋπόθεση η παραγωγή πρώτων υλών να μην γίνεται από εκτάσεις με υψηλή βιοποικιλοτητα ή/και εκτάσεις υψηλών αποθεμάτων άνθρακα. Επιπρόσθετα, προβλέπει τη χρήση μιγμάτων βιοντήζελ - ντίζελ περιεκτικότητας σε βιοντήζελ 7% και 10%, έως το τέλος του 2010 και 2014 αντίστοιχα και την προώθηση των λεγόμενων βιοκαυσίμων 2ης γενιάς, από απόβλητα, υπολείμματα, κυτταρινούχα και λιγνοκυτταρινούχα υλικά.

Η Κοινοτική Οδηγία στοχεύει στην ικανοποίηση των δεσμεύσεων του πρωτοκόλλου του Κυότο σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές και την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου, στην ασφάλεια του εφοδιασμού κατά τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον και στην προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις μεταφορές. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕC), οι μεταφορές στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) ευθύνονται για το 21% των εκπομπών αερίων που συμβάλουν στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη μας (φαινόμενο του θερμοκηπίου) και το ποσοστό αυτό μεγαλώνει. Την ίδια στιγμή, η Ε.Ε. αποτελεί το μεγαλύτερο εισαγωγέα ενέργειας στον κόσμο χρησιμοποιώντας το 17% περίπου της παγκόσμιας ενέργειας. Παράλληλα, η παραγωγή βιοκαυσίμων στην Ε.Ε. το 2004 είχε ανέλθει σε 2.400.000 tn, από τους οποίους 500.000 tn ήταν βιοαιθανόλη και 1.900.000 tn βιοντήζελ. Οι ποσότητες αυτές ισοδυναμούν μόνο με το 0,8% περίπου της κατανάλωσης πετρελαίου και βενζίνης στην Ε.Ε. Έτσι, επιβάλλεται η αύξηση της χρήσης των βιοκαυσίμων η οποία θα συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης των κρατών μελών της Ε.Ε από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων, στη μείωση των εκπομπών επικίνδυνων ρυπαντών και αερίων που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ παράλληλα θα δημιουργηθούν νέες ευκαιρίες για τους αγρότες και οικονομικές ευκαιρίες για τις αναπτυσσόμενες χώρες.

Η στρατηγική της Ε.Ε. που υιοθετήθηκε τον Φεβρουάριο του 2006 για τα βιοκαύσιμα βασίζεται στο σχέδιο για εκμετάλλευση της βιομάζας, το οποίο υιοθετήθηκε το Δεκέμβριο του 2005 και έχει αναπτυχθεί σε επτά άξονες πολιτικής: α) υποκίνηση της ζήτησης βιοκαυσίμων, β) κατάκτηση περιβαλλοντικών οφελών, γ) ανάπτυξη της παραγωγής και διανομής βιοκαυσίμων, δ) επέκταση των προμηθειών πρώτων υλών, ε) ενίσχυση των εμπορικών ευκαιριών, στ) υποστήριξη των αναπτυσσόμενων χωρών και ζ) υποστήριξη προγραμμάτων έρευνας και ανάπτυξης. Στην Ελλάδα, με νόμο που ψηφίστηκε το Νοέμβριο του 2005 (**N.3423/2005**) εναρμονίζεται η Εθνική Νομοθεσία προς την Κοινοτική Οδηγία.

Η «Ευρωπαϊκή Στρατηγική Βιοκαυσίμων» αποτυπώνεται στο ομώνυμο κείμενο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (COM(2006)34 τελικό) και περιλαμβάνει 7 άξονες:

1) **Ενίσχυση της ζήτησης** - πέραν της αναθεώρησης της Οδηγίας Βιοκαυσίμων, προβλέπεται η ευνοϊκή μεταχείριση των βιοκαυσίμων 2ης γενιάς και η προώθηση της αγοράς οικολογικών οχημάτων από το δημόσιο τομέα.
2) **Ενσωμάτωση περιβαλλοντικών οφελών** - τρία θέματα καλύπτονται στο σημείο αυτό, μέγιστη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και αειφόρες τεχνικές καλλιέργειας ενεργειακών φυτών, υπολογισμός εκπομπών OO_2 στις μεταφορές και αναθεώρηση των προτύπων ποιότητας καυσίμων κίνησης, όσον αφορά τις επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις βιοντήζελ.
3) **Ανάπτυξη της παραγωγής και διανομής βιοκαυσίμων** - προβλέπεται η ενσωμάτωση δράσεων παραγωγής βιοκαυσίμων, στις περιφερειακές πολιτικές αγροτικής ανάπτυξης και η λήψη μέτρων για την αύξηση της διάθεσης βιοκαυσίμων από τη βιομηχανία καυσίμων.
4) **Αύξηση παραγωγής πρώτων υλών** - προβλέπεται η καλλιέργεια ζαχαρότευτλων στις υπό αγρανάπαυση γαίες, η χρήση του πλεονάσματος σίτου για την παραγωγή βιοκαυσίμων, η αναθεώρηση του σχεδίου ενίσχυσης των ενεργειακών καλλιεργειών, η παρακολούθηση των επιπτώσεων των βιοκαυσίμων στις τιμές των εμπορευμάτων και παραπροϊόντων, η χρηματοδότηση εκστρατειών ενημέρωσης των αγροτών και των διαχειριστών δασών, η σύνταξη Σχεδίου Δράσης για τα Βιοκαύσιμα και η αναθεώρηση της νομοθεσίας περί αποβλήτων, ώστε να καταστεί δυνατή η χρήση τους για παραγωγή βιοκαυσίμων.
5) **Ενίσχυση των εμπορικών ευκαιριών-** κυρίως για τη βιοαιθανολη και τροποποίηση των προτύπων ποιότητας του βιοντήζελ.

6) **Ενίσχυση αναπτυσσόμενων χωρών** - προβλέπονται πακέτα στήριξης των βιοκαυσίμων και η ενίσχυση περιφερειακών σχεδίων δράσης.

7) **Υποστήριξη της έρευνας και ανάπτυξης** - με στόχο την προώθηση των βιοκαυσίμων 2ης γενιάς. Δημιουργία Ευρωπαϊκής Τεχνολογικής Πλατφόρμας Βιοκαυσίμων με σκοπό τη στήριξη των εξελίξεων στον τομέα αυτό.

Ο κυριότερος λόγος που οδήγησε την Ευρωπαϊκή Ένωση στην εισαγωγή των βιοκαυσίμων στις μεταφορές ήταν - και παραμένει η σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο. Όλοι ζούμε αυτές τις ημέρες τις οικονομικές συνέπειες αυτής της εξάρτησης. Όλες οι χώρες, καθώς και οι εμπλεκόμενοι φορείς και εταιρίες, έχουν ήδη θέσει τέτοιους στόχους χρήσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας και απεξάρτησης από το πετρέλαιο. Η Ελλάδα δεν θα αποτελέσει εξαίρεση και τάσσεται υπέρ της χρήσης των βιοκαυσίμων.

Ο δεύτερος λόγος είναι η δυνατότητα εναλλακτικών καλλιεργειών από τους αγρότες. Τα βιοκαύσιμα, ως φυτικά παράγωγα, δίνουν τη δυνατότητα στους αγρότες να χρησιμοποιούν εναλλακτικές καλλιέργειες, με στόχο την παραγωγή πρώτων υλών τόσο για το βιοντήζελ, όσο και για τη βιοαιθανόλη. Θα υποστηρίξουμε αυτή την προσπάθεια του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης, για την τόνωση των καλλιεργειών που οδηγούν στην παραγωγή των βιοκαυσίμων. Αλλά και η ίδια η χρήση των βιοκαυσίμων στις μεταφορές, είναι ευεργετική στο περιβάλλον. Το βιοντήζελ, όταν χρησιμοποιείται ως μίγμα στο πετρέλαιο ντήζελ, μειώνει τις συνολικές εκπομπές των σωματιδίων που εκπέμπονται από τους ντηζελοκινητήρες, βελτιώνοντας συγχρόνως και την ποιότητα και ποσότητα του καπνού που εκπέμπεται. Ένα σημαντικό κέρδος για το περιβάλλον, είναι η μείωση των εκπομπών του CO_2, το οποίο ως αέριο του θερμοκηπίου παίζει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας. Το βιοντήζελ και η βιοαιθανόλη, ως προερχόμενα από φυτικές καλλιέργειες, μειώνουν σημαντικά τις συνολικές εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα.

Οι προδιαγραφές του βιοντήζελ που θα χρησιμοποιείται στις μεταφορές, ορίζεται από την Ευρωπαϊκή προδιαγραφή EN 14214. Με πρωτοβουλία του Υπουργείου Ανάπτυξης, το Γενικό Χημείο του Κράτους, έχει αρχίσει τις διαδικασίες ενσωμάτωσης αυτής της οδηγίας στην Ελληνική νομοθεσία, μαζί με την Ευρωπαϊκή προδιαγραφή EN 590, που αναφέρεται στο πετρέλαιο κίνησης. Το βιοντήζελ, βάσει των οδηγιών, μπορεί να αναμειγνύεται σε ποσοστά μέχρι 5% στο πετρέλαιο κίνησης. Όσον αφορά τη διακίνηση του βιοντήζελ δεν αναμένονται κάποια ιδιαίτερα προβλήματα. Το βιοντήζελ μπορεί να αναμιχθεί και να διακινηθεί μέσω των διυλιστηρίων, με τις ίδιες διαδικασίες που ισχύουν σήμερα για το πετρέλαιο κίνησης. Στα ίδια τα οχήματα, δεν αναμένονται κάποιες επιπτώσεις από τη χρήση του βιοντήζελ. Ακόμη και σε ποσοστά αρκετά υψηλότερα του 5%, η χρήση του βιοντήζελ δεν επηρεάζει τα οχήματα, όπως απέδειξαν μακρόχρονες δοκιμές. Κανένα πρόβλημα δεν αναμένεται επίσης κατά τη διακίνηση του βιοντήζελ στα πρατήρια, όπου η διακίνηση αναμένεται να είναι η ίδια με τα μέχρι σήμερα ισχύοντα για το πετρέλαιο κίνησης. Οι καταναλωτές δεν θα πρέπει να ανησυχούν, αφού το βιοντήζελ προέρχεται κατά κύριο λόγο από φυτικά λάδια και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Βιοαποικοδομείται εύκολα και ενδείκνυται να χρησιμοποιείται ακόμη και σε περιοχές όπου προστατεύεται ευαίσθητη χλωρίδα και πανίδα.

Οι πρώτες ύλες, από τις οποίες μπορούμε να παρασκευάσουμε βιοντήζελ είναι πολλές. Για την Ελλάδα ξεχωρίζουν το βαμβακέλαιο, το ηλιέλαιο, το ελαιόλαδο, τα προτηγανισμένα λάδια, ο καπνόσπορος, ο ντοματόσπορος, η ελαιοκράμβη, το σογιέλαιο, κλπ. Κρίσιμο μέγεθος είναι οι ανάγκες σε βιοντήζελ για την υλοποίηση της οδηγίας 30 του 2003 στην Ελλάδα.

Ο Νόμος 3423/2005, όπως τροποποιήθηκε από το Νόμο 3653/2008 (άρθρο 55), αντικατοπτρίζει την ελληνική εθνική στρατηγική για τα βιοκαύσιμα. Ο Νόμος 3423/2005, εναρμόνισε την ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2003/30/ΕΚ, και έθεσε ως στόχο να φέρει το μερίδιο των βιοκαυσίμων και άλλων

ανανεώσιμων καυσίμων στην ελληνική αγορά, στο 5,75% του συνόλου της βενζίνης και του ντίζελ κίνησης, έως τις 31 Δεκεμβρίου 2010.

Μεταξύ των βιοκαυσίμων, που απαριθμούνται στην Οδηγία 2003/30/ΕΚ, τα προσφορότερα για την Ελλάδα είναι το βιοντήζελ και η βιοαιθανόλη, ενώ έχει εκδηλωθεί ενδιαφέρον και για τα καθαρά φυτικά έλαια. Επί του παρόντος, το μοναδικό βιοκαύσιμο στην ελληνική αγορά είναι το βιοντήζελ, που κυκλοφορεί σε μίγματα με συμβατικό ντίζελ σε συγκεντρώσεις έως και 5%. Το βιοντήζελ κίνησης που διατίθεται στην Ελλάδα πρέπει να πληροί τις προδιαγραφές του προτύπου ΕΛΟΤ ΕΝ 14214, που υιοθετήθηκε με την ΚΥΑ 334/2004. Λόγω έλλειψης ενεργειακών καλλιεργειών σε εθνικό επίπεδο, χρησιμοποιούνται κυρίως εισαγόμενα φυτικά έλαια (κραμβέλαιο, σογιέλαιο κτλ.), για την παρασκευή βιοντήζελ. Ωστόσο, προβλέπεται η ανάπτυξη καλλιεργειών ηλίανθου και ελαιοκράμβης, για την κάλυψη των εθνικών αναγκών (3η Εθνική Έκθεση σχετικά με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων).

Ο Νόμος 3653/2008 (άρθρο 56) προβλέπει τη διάθεση βιοαιθανόλης στην Ελληνική αγορά τη χρονική περίοδο 2010-2016. Ωστόσο, η βιοαιθανόλη παρουσιάζει τεχνικές δυσχέρειες, για το Ελλαδικό κλίμα, όταν αναμιγνύεται με βενζίνη. Για το λόγο αυτό προκρίνεται η μετατροπή της σε ΕΤΒΕ (Αιθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας) και χρήση του τελευταίου ως συστατικό ανάμιξης στις βενζίνες. Το ποσοστό ανάμιξηςτου ΕΤΒΕ μπορεί ν' ανέλθει μέχρι 15% κατ[1] όγκο, ενώ για τη βιοαιθανόλη το ποσοστό αυτό ανέρχεται μόνο μέχρι 5% κατ' όγκο, όπως προβλέπει και το πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 228:2004. Ως πρώτες ύλες για παραγωγή βιοαιθανόλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ζαχαρότευτλα, καλαμπόκι ή σιτηρά, ενώ πολύ υποσχόμενος είναι και ο γλυκός σόργος (3η Εθνική Έκθεση σχετικά με την προώθηση της χρήσης των βιοκαυσίμων).

Το βασικό εργαλείο της εθνικής στρατηγικής για τα βιοκαύσιμα είναι το μακροπρόθεσμο «Πρόγραμμα Διανομής Ποσοτήτων Βιοκαυσίμων», που θεσπίστηκε με το Νόμο 3423/2005 (άρθρο 6.4). Η διάρκεια του Προγράμματος ορίστηκε έως τα τέλη του 2010. Εντούτοις, για τα έτη 2005-2008 η κατανομή βιοντήζελ δεν έγινε βάσει του μακροπρόθεσμου προγράμματος, αλλά βάσει ετήσιων προγραμμάτων διανομής. Οι ποσότητες βιοντήζελ που διανεμήθηκαν ήταν 51.000 χιλιόλιτρα για το 2005, 91.000 χιλιόλιτρα για το 2006 και 114.000 χιλιόλιτρα για το 2007, ενώ για το 2008 προβλέπεται η διανομή 123.000 χιλιόλιτρων (Κοινή Υπουργική Απόφαση Δ1/Α/14639/ 23.06.2008).

Με στόχο την αύξηση της ανταγωνιστικότητας του βιοντήζελ έναντι του συμβατικού ντίζελ, το βιοντήζελ που παράχθηκε στα πλαίσια των ετήσιων προγραμμάτων διανομής την περίοδο 2005-2007, υπόκεινταν σε μηδενικό φόρο κατανάλωσης. Ωστόσο, η αποφορολόγηση καταργήθηκε το 2008, λόγω του μεγάλου γραφειοκρατικού κόστους που προκαλούσε.

Άλλα οικονομικά και νομικά εργαλεία για την προώθηση των βιοκαυσίμων, αποτελούν η επιδότηση των ενεργειακών καλλιεργειών, η ενίσχυση των επενδύσεων στον τομέα της παραγωγής βιοκαυσίμων και η υποχρεωτική παραλαβή από τα Διυλιστήρια, του βιοντήζελ που παράγεται στα πλαίσια του «Προγράμματος Διανομής Ποσοτήτων Βιοκαυσίμων» και η μείξη του με προϊόντα διύλισης του αργού πετρελαίου σε συγκεντρώσεις μέχρι 5% (Νόμος 3423/2005).

Με στόχο την ενίσχυση της εθνικής παραγωγής πρώτων υλών, το βιοντήζελ που παράγεται από τον καλλιεργητή στο χώρο της γεωργικής του εκμετάλλευσης και το βιοντήζελ που παράγεται από πρώτες ύλες, που καλύπτονται από συμβάσεις μεταξύ του καλλιεργητή και της μεταποιητικής βιομηχανίας, περιλαμβάνονται κατά προτεραιότητα στο Ετήσιο Πρόγραμμα Διανομής Βιοκαυσίμων. Επιπλέον, καταβάλλεται στους καλλιεργητές ενεργειακών φυτών, η στρεμματική επιδότηση ύψους €4,5/στρέμμα που προβλέπεται στη Νέα ΚΑΠ. Η επιδότηση αυτή καταβάλλεται μόνο στην περίπτωση, που η μεταποίηση των ενεργειακών σπόρων

γίνεται από τον ίδιο τον καλλιεργητή στο χώρο της γεωργικής εκμετάλλευσης ή όταν ο καλλιεργητής παραδίδει τη συγκομιζόμενη πρώτη ύλη, στα πλαίσια σύμβασης μεταξύ αυτού και της μεταποιητικής βιομηχανίας.

Ως τμήμα της εθνικής στρατηγικής για την προώθηση των βιοκαυσίμων, ο Αναπτυξιακός Νόμος (Νόμος 3299/2004 όπως τροποποιήθηκε από το Νόμο 3522/2006) προβλέπει επιδοτήσεις για τις επενδύσεις στον τομέα των βιοκαυσίμων. Το ύψος της επιδότησης μπορεί να φθάσει έως και 35% του κόστους της επένδυσης, ανάλογα με την περιοχή και τον τύπο της επιχείρησης (10-20% επιπρόσθετη επιδότηση για τις ΜΜΕ). Επιπλέον, το «Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα» για την περίοδο 2007-2013, προβλέπει ενισχύσειςγια επενδύσεις στην παραγωγή βιοκαυσίμων.

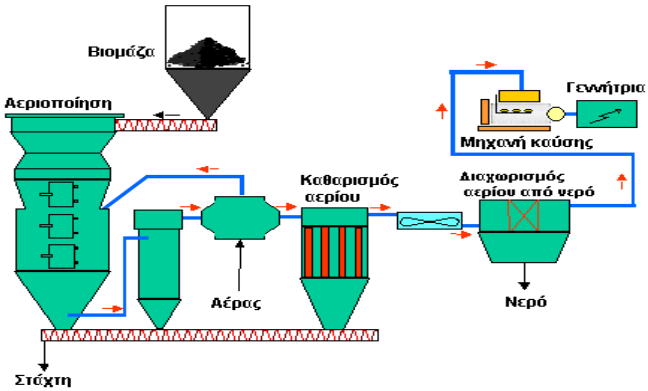
Τα βιοκαύσιμα, ως βιοαιθανόλη, καλύπτουν στη Βραζιλία ήδη από τη δεκαετία του ’80 σημαντικό μέρος της ζήτησης σε καύσιμα κίνησης, ενώ και στις ΗΠΑ η βιοαιθανόλη χρησιμοποιείται σε ορισμένες Πολιτείες ή σε ορισμένες χρήσης (αγώνες ταχύτητας) και πριν από τις πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του ’70.

Στην Ευρώπη, τώρα αρχίζουν τα βιοκαύσιμα να διεκδικούν μέρος της αγοράς καυσίμων στις μεταφορές. Η Ευρώπη πρέπει να προσανατολίσει την πολιτική μεταφορών της στη σωστή κατεύθυνση [ΕΟΠ,2009]. Οι μεταφορές εξακολουθούν να επιδρούν δυσανάλογα στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου της Ευρώπης, στην κακή ποιότητα του αέρα και στην πρόκληση ηχορρύπανσης. Ακόμη συνεχίζουν να είναι σε χρήση τα λιγότερο αποδοτικά μέσα μεταφοράς προσώπων και αγαθών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ- ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Εκτός από την γνωστή χρήση τής Βιομάζας ως καύσιμο για θέρμανση ή μαγείρεμα, η Βιομάζα χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας σε βιομηχανική κλίμακα. Αυτό γίνεται με τούς παρακάτω τρόπους:

- Απ' ευθείας καύση: Ορισμένοι τύποι Βιομάζας καίγονται θερμαίνοντας λέβητες με νερό και παράγεται ατμός πού περιστρέφει μία τουρμπίνα, η οποία με την σειρά της ενεργοποιεί μια γεννήτρια και παράγει ηλεκτρισμό.



- Αεριοποίηση: Στους αεριοποιητές η Βιομάζα θερμαίνεται σε περιβάλλον φτωχό σε οξυγόνο και σε θερμοκρασία περίπου 850 βαθμών Κελσίου, για να παραχθεί τελικά ένα καύσιμο αέριο, γνωστό ως Βιοαέριο. Αυτό αναλόγως με την εφαρμοζόμενη τεχνολογία μπορεί να περιέχει απ' το 1/5 έως 1/2 τής θερμογόνου δυνάμεως τού Φυσικού Αερίου, πού ως γνωστό, είναι άριστο καύσιμο. Το Βιοαέριο χρησιμοποιείται με την σειρά του σε υψηλής αποδοτικότητας διατάξεις συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού.

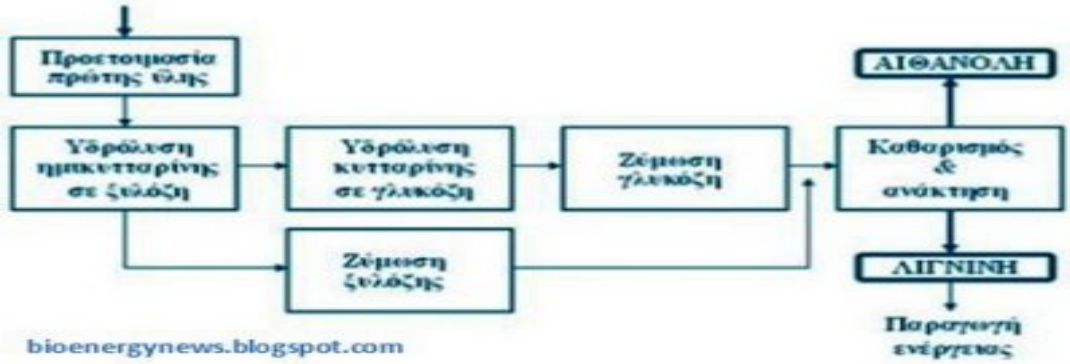
- Πυρόλυση: Μ' αυτή την διεργασία η Βιομάζα μετατρέπεται σε υγρό πυρολύσεως (Βιοέλαιο) πού αποθηκεύεται και μεταφέρεται ευκολότερα απ' ότι η στερεά Βιομάζα. Το Βιοέλαιο καίγεται όπως το πετρέλαιο και χρησιμοποιείται στην παραγωγή ηλεκτρισμού.

- Αναερόβια χώνευση: Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης αφορά κυρίως απόβλητα υψηλής υγρασίας όπως αστικά απόβλητα, απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων καθώς και το οργανικό μέρος των απορριμμάτων. Είναι η διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) και βιολογικούς καθαρισμούς. Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να καεί σε λέβητες, ειδικές μηχανές εσωτερικής καύσης και ειδικές στροβιλομηχανές. Μπορεί επίσης να αναβαθμιστεί με κατάλληλες τεχνικές, ώστε να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφορών ή να διοχετευτεί στο δίκτυο του Φυσικού Αερίου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ ΑΠΟ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗ

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονη ερευνητική δραστηριότητα για την παραγωγή δεύτερης γενιάς βιοαιθανόλης αλλά σε βιομηχανική κλίμακα βρίσκεται προς το παρόν σε πιλοτικό στάδιο. Στην περίπτωση που επαληθευτεί η οικονομικότητα της παραγωγή αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες (που φυσικά είναι θέμα χρόνου), θα γίνει ιδιαίτερα φθηνή η βιομηχανική παραγωγή αιθανόλης από γεωργικά υπολείμματα (άχυρο, βαμβακοστελέχη κτλ), υπολείμματα υλοτομίας (πχ πριονίδια), οικιακά απορρίμματα και προϊόντα χαρτιού καθώς και από ταχυαυξή μη διατροφικά φυτά με πολύ μεγάλη στρεμματική παραγωγή βιομάζας όπως ινώδες σόργο, καλάμι, αγριαγκινάρα και κεχρί (switch grass). Η νέα αυτή μέθοδος βασίζεται στην αξιοποίηση της κυτταρίνης και ημικυτταρίνης. Επειδή δεν είναι δυνατή η απευθείας ζύμωση των πολυσακχαριτών αυτών, πρέπει να γίνει διάσπασή τους σε απλά σάκχαρα.
Βέβαια, στην πραγματικότητα η ιδέα δεν είναι και τόσο νέα, αλλά σήμερα γίνεται ιδιαίτερα σημαντική λόγω της ενεργειακής και περιβαλλοντικής ανασφάλειας που μαστίζει τον πλανήτη. Συγκεκριμένα, για πρώτη φορά αναπτύχθηκε το 1898 στη Γερμανία μέθοδος παραγωγής αιθανόλης από κυτταρίνη σε εμπορική κλίμακα. Οι επιστήμονες τότε παρήγαγαν αιθανόλη από ξύλο, μεσώ υδρόλυσης με οξέα, της κυτταρίνης προς γλυκόζη. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο ήταν δυνατή η παραγωγή 7,6L αιθανόλης ανά 100kg ξύλου. Οι Γερμανοί επιστήμονες σύντομα βελτίωσαν τη μέθοδο, ώστε ήταν δυνατή (πριν έναν αιώνα) η βιομηχανική παραγωγή 22L αιθανόλης ανά 100kg ξύλου (τριπλασιασμός απόδοσης). Σήμερα παρόμοιες μέθοδοι αναπτύσσονται ή βελτιώνονται από τους επιστήμονες ανά τη γη. Το πρώτο στάδιο της παραγωγής περιλαμβάνει υδρόλυση της κυτταρίνης με τη χρήση οξέος (πχ θειικό οξύ) ή ενζύμων και παραγωγή μίγματος γλυκόζης και ξυλόζης. Στη συνέχεια τα σάκχαρα ζυμώνονται και παράγεται αιθανόλη όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 9.11



Σχήμα: 9.2 Διάγραμμα ροής της παραγωγής αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, Πηγή: http://bioenergynews.blogspot.com

Η ενζυμική υδρόλυση γίνεται με ένζυμα (κυτταρινάσες) που παράγονται από μύκητες, βακτήρια και πρωτόζωα Τελευταία γίνεται μεγάλη έρευνα για ανάπτυξη οικονομικών μεθόδων υδρόλυσης και εφαρμογή τους σε βιομηχανική κλίμακα. Η μέθοδος υδρόλυσης με χρήση οξέων είναι ακριβή ενώ σχετικά με τη χρήση ενζύμων, η παραγωγή τους είναι επίσης ακριβή ενώ δεν έχει επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητα σε βιομηχανικό επίπεδο. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι ο μύκητας *Trichoderma reesi* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των περισσότερων ενζύμων που απαιτούνται. Προς το παρόν με την υπάρχουσα τεχνολογία μόνο το 45% του ενεργειακού περιεχομένου της βιομάζας μετατρέπεται σε αιθανόλη οπότε αναζητούνται λύσεις για μεγιστοποίηση της απόδοσης. Επειδή οι περισσότερες λύσεις βρίσκονται στη φύση, πολλές έρευνες στηρίζονται στους τερμίτες και στην ιδιότητά τους να τρέφονται με κυτταρίνη (ξύλο) την οποία διασπούν κατά την πέψη μέσω ενζύμων που παράγουν στο πεπτικό τους σύστημα. Έτσι με βάση τους σχετιζόμενους με τους τερμίτες μικροοργανισμούς (μικροχλωρίδα πεπτικού), μεταφέρονται γονίδιά τους σε νέους οργανισμούς με στόχο τη φθηνή μαζική παραγωγή ενζύμων για βιομηχανική χρήση στην παραγωγή κυτταρινικής βιοαιθανόλης. Στην Ευρώπη ξεκίνησε το 2004 να λειτουργεί πιλοτικά στη Σουηδία μονάδα παραγωγής αιθανόλης από δασικά υπολείμματα, άχυρο και άλλα κυτταρινούχα υπολείμματα, ενώ τέτοιες μονάδες λειτουργούν επίσης στην Ισπανία και τη Δανία. Επίσης έχει αναπτυχθεί μια νέα τεχνολογία ενζυμικής υδρόλυσης στον Καναδά όπου και έχει ξεκινήσει βιομηχανική παραγωγή αιθανόλης από δασικά υπολείμματα και άχυρο ενώ πιλοτική παραγωγή γίνεται και σε άλλες χώρες (Βραζιλία και ΗΠΑ). Συγκεκριμένα, η Καναδική εταιρεία βιοτεχνολογίας IOGEN, είναι η πρώτη παγκοσμίως που άρχισε να παράγει και να εμπορεύεται κυτταρινική αιθανόλη, τον Απρίλιο του 2004. Η εταιρεία χρησιμοποιεί για την ενζυματική υδρόλυση της κυτταρίνης το μύκητα *Trichoderma reesei.*

Μεγάλη επίσης έρευνα γίνεται και στον τομέα παραγωγής βιοαιθανόλης από άλγη (φύκια) τα οποία αποτελούν μια εξαιρετικά παραγωγική πηγή βιομάζας και μάλιστα χωρίς τη χρήση αγροτικών εκτάσεων. Ήδη αρκετές εταιρείες και ερευνητικά κέντρα αναπτύσσουν ή βελτιώνουν μεθόδους φυκοκαλλιέργειας και παραγωγής βιοκαυσίμου.

Τέλος, έρευνα γίνεται και για την παραγωγή αιθανόλης από φυτά όπως το γλυκό σόργο και το ζαχαροκάλαμο, με ταυτόχρονη ζύμωση (one-step) σακχάρων και κυτταρίνης. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται μίγματα καλλιεργειών μικροοργανισμών, όπως για παράδειγμα μίγμα *Fusarium oxysporum* και στελεχών *Saccharomyces cerevisiae*. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο η παραγωγή αλκοόλης από την καλλιέργεια του σόργου ανέρχεται σε 1000-1100 L/στρέμμα όταν με απλή ζύμωση του σακχαρούχου χυμού αναμένονται αποδόσεις 650-900 L/στρέμμα. Με παρόμοιες τεχνικές η στρεμματική απόδοση βιοαιθανόλης από καλαμπόκι αναμένεται να διπλασιαστεί με αξιοποίηση της κυτταρίνης του βλαστού και των φύλλων του.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5

ΠΑΡΑΓΩΓΗ – ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΒΙΟΝΤΗΖΕΛ

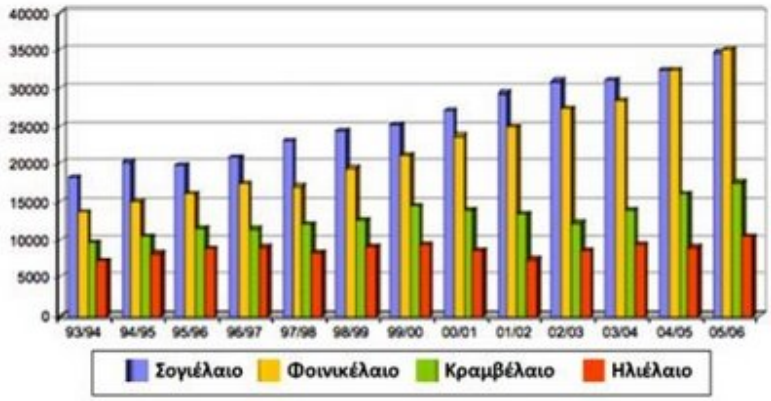
Καλλιέργειες για παραγωγή βιοντήζελ

Σήμερα το βιοντήζελ πρώτης γενιάς παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους καλλιεργειών όπως η ελαιοκράμβη, η σόγια και ο ηλίανθος, από δένδρα όπως ο φοίνικας και η καρύδα, αλλά μπορεί να παραχθεί και από θάμνους όπως η jatropha και η jojoba. Τα παραγόμενα φυτικά λάδια μετατρέπονται με κατάλληλη επεξεργασία σε βιοντήζελ. Η περιεκτικότητα των διαφόρων σπόρων σε λάδι δίνεται στο πίνακα 9.1 *[FEDIOL]:*

Σπόροι και άλλες πρώτες ύλες	Έλαιο (%)		
	Τυπική	Ελάχιστη	Μέγιστη
Αραχίδα	47,5	36,1	44,4
Σόγια	17,5	16,0	19,4
Ελαιοκράμβη	39	40	43
Ηλίανθος	42	36,2	43,9
Βαμβάκι	-	13,0	18
Αποξηραμένη καρύδα (copra)	63,5	-	-
Σπόροι φοίνικα	46	-	-
Λινάρι	37	29,7	38,5
Ρετσινολαδιά	47	45	46
Καλαμπόκι (σπόροι)	48	35	
Αγριαγκινάρα	-	15	25
Σπόρος καπνόφυτων	-	38	40
Τοματόσπορος	30	-	-
Jatropha	-	-	40

Πίνακας 9.1: Η περιεκτικότητα των διαφόρων σπόρων σε λάδι,
Πηγή:FEDIOL,2008 http://www.fediol.be/2/index.php

Σχετικά με την παγκόσμια παραγωγή, τα τελευταία 10 χρόνια η παραγωγή του σογιέλαιου και του φοινικέλαιου σχεδόν έχουν διπλασιαστεί, κυριαρχώντας στην παγκόσμια αγορά. Κατά την ίδια περίοδο η παραγωγή του κραμβέλαιου και το ηλιέλαιου έχουν μεταβληθεί ελάχιστα. Στο σχήμα 9.3 φαίνεται η παραγωγή φυτικών ελαίων από τις κυριότερες ελαιοδοτικές καλλιέργειες στον κόσμο την τελευταία δεκαετία.

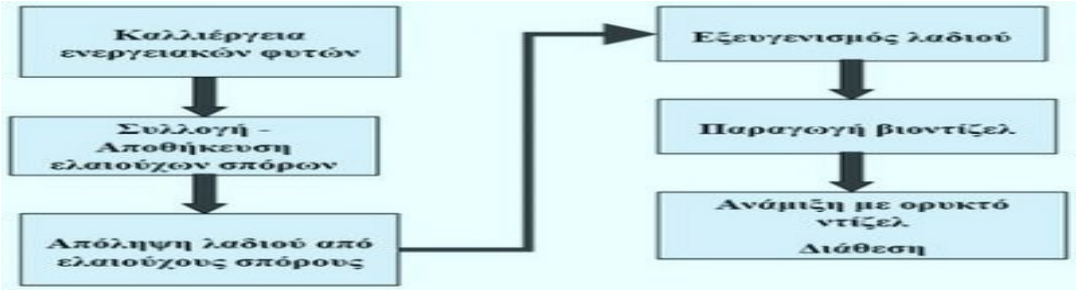


Σχήμα 9.3: Παγκόσμια παραγωγή των κυριότερων φυτικών ελαίων σε 1.000 τόνους ,
Πηγή: FEDIOL, 2008

Πως γίνεται η παραγωγή του βιοντήζελ

Η μέθοδος παραγωγής βιοντήζελ που εφαρμόζεται παγκόσμια σε βιομηχανικό επίπεδο συνίσταται στην αντίδραση (μετεστεροποίηση) των τριγλυκεριδίων με κάποια αλκοόλη μικρού μοριακού βάρους. Τα τριγλυκερίδια είναι τριεστέρες της γλυκερόλης, δηλ. της 1,2,3-προπανοτριόλης, με λιπαρά οξέα (μονοκαρβοξυλικά οξέα μεγάλης ανθρακικής αλυσίδας) και αποτελούν το κύριο συστατικό (σε ποσοστό μέχρι και 98% κ.β.) των φυτικών ελαίων και ζωικών λιπών. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ακόμη φθηνότερου βιοντήζελ, εκτός από ελαιούχοι σπόροι και μεταχειρισμένα φυτικά έλαια (τηγανόλαδα) ή και ζωικά λίπη (πχ ως απόβλητα σφαγείων). Η εξαγωγή του ελαίου από τους σπόρους γίνεται μηχανικά ή χημικά. Το βιοντήζελ έχει θερμογόνο δύναμη 15% μικρότερη από αυτή του πετρελαίου. Με την

υπάρχουσα τεχνολογία τα έλαια (τριγλυκερίδια) μετατρέπονται με μια απλή διαδικασία σε εστέρες των τριγλυκεριδίων, με μεθανόλη ή και αιθανόλη. Οι καθαροί εστέρες των τριγλυκεριδίων είναι άριστα υποκατάστατα του πετρελαίου χωρίς να χρειάζεται καμία μετατροπή στον κινητήρα. Μια από τις σχετικά φθηνές μετατροπές στη μηχανή είναι δυνατόν να
χρησιμοποιηθεί και καθαρό βιοέλαιο. Ένα γενικό σχήμα της παραγωγικής αλυσίδας βιοντήζελ δίνεται στο παρακάτω σχήμα.



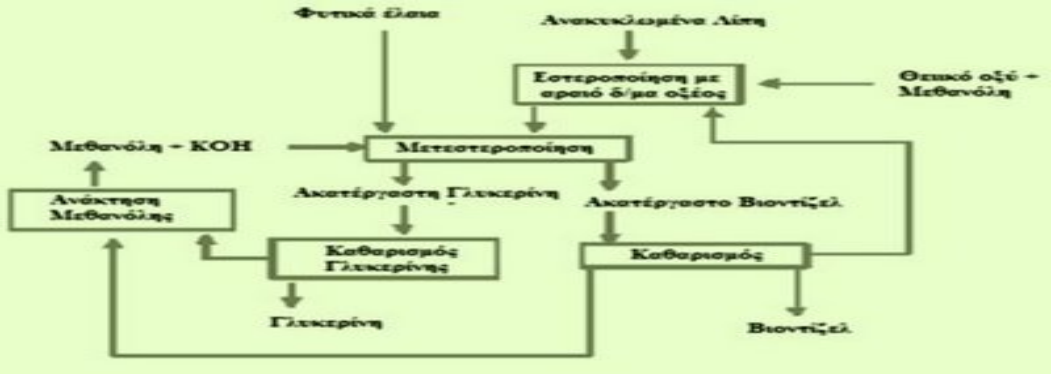
Σχήμα 9.4: Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγή βιοντήζελ,
Πηγή: http://bioenergynews.blogspot.com

Στον Πίνακα 9.2 δίνεται η σύσταση των τριγλυκεριδίων ορισμένων γνωστών φυτικών ελαίων και ζωικών λιπών

Έλαια και Λίπη	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	22:1
Σογιέλαιο	-	6-10	2-5	20-30	50-60	5-11	-	-
Καλαμποκέλαιο	1-2	8-12	2-5	19-49	34-62	ίχνη	-	-
Φυστικέλαιο	-	8-9	2-3	50-65	20-30	-	-	-
Ελαιόλαδο	-	9-10	2-3	73-84	10-12	ίχνη	-	-
Βαμβακέλαιο	0-2	20-25	1-2	23-35	40-50	ίχνη	-	-
Safflower(1)	-	5.9	1.5	8.8	83.8	-	-	-
Safflower(2)	-	4.8	1.4	74.1	19.7	-	-	-
Κραμβέλαιο(2)	-	4.3	1.3	59.9	21.1	13.2	-	-
Κραμβέλαιο(3)	-	3.0	0.8	13.1	14.1	9.7	7.4	50.7
Βούτυρο	7-10	24-26	10-13	28-31	1-2.5	.2-.5	-	-
Λαρδί	1-2	28-30	12-18	40-50	7-13	0-1	-	-
Tallow	3-6	24-32	20-25	37-43	2-3	-	-	-
Linseed Oil	-	4-7	2-4	25-40	35-40	25-60	-	-
Κίτρινο Λίπος	2.43	23.24	12.96	44.32	6.97	0.67	-	-

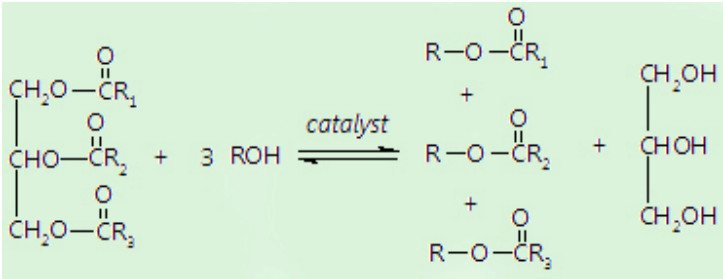
Πίνακας 9.2 . Τυπική σύσταση διαφόρων ελαίων και λιπών, Πηγή: ΚΑΠΕ

<u>Τα Στάδια της παραγωγικής διαδικασίας συνοψίζονται στα εξής:</u>
1.Εξευγενισμός πρώτης ύλης
2. Μετεστεροποίηση πρώτης ύλης
3. Καθαρισμός βιοντήζελ (πλύσεις)
4. Εξευγενισμός γλυκερίνης
5. Ανάκτηση μεθανόλης



Σχήμα 9.5: Στάδια της παραγωγικής διαδικασίας του βιοντήζελ,
Πηγή: http://bioenergynews.blogspot.com

Ως αλκοόλη χρησιμοποιείται συνήθως η μεθανόλη λόγω του χαμηλού κόστους και των φυσικών και χημικών πλεονεκτημάτων που διαθέτει. Ειδικοί καταλύτες (βάσεις, οξέα και ένζυμα) βοηθούν την αντίδραση, η οποία πραγματοποιείται σε χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες. Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης μετεστεροποίησης τα λιπαρά τμήματα του τριγλυκεριδίου αντικαθίστανται από το υδροξύλιο της αλκοόλης οπότε παράγονται αλκυλεστέρες λιπαρών οξέων και ως ενδιάμεσα διγλυκερίδια και μονογλυκερίδια, τα οποία με τη σειρά τους δίνουν νέους αλκυλεστέρες. Στο τέλος της αντίδρασης έχουν παραχθεί οι αλκυλεστέρες των λιπαρών οξέων (μεθυλεστέρες εφόσον ως αλκοόλη έχει χρησιμοποιηθεί η μεθανόλη), οι οποίοι αποτελούν το βιοντήζελ, και γλυκερίνη ως παραπροϊόν. Ακολουθεί κατάλληλος διαχωρισμός των προϊόντων και καθαρισμός του παραγόμενου βιοντήζελ. Στο Σχήμα 9.6 φαίνεται συνοπτικά η αντίδραση μετεστεροποίησης τριγλυκεριδίου με αλκοόλη.



Τριγλυκερίδιο Αλκοόλη Εστέρες Γλυκερίνη

Σχήμα 9.6: ***Αντίδραση Μετεστεροποίησης Τριγλυκεριδίου,***
Πηγή: http://bioenergynews.blogspot.com

<u>Διαδικασία μετεστεροποίησης για την παραγωγή βιοντήζελ</u>

Κατά την παραγωγική διαδικασία τα άνυδρα έλαια (τριγλυκερίδια) θερμαίνονται με μεθανόλη σε αλκαλικό περιβάλλον (με βασικό καταλύτη) και προκύπτει μίγμα μεθυλεστέρων και γλυκερίνης που ανακτάται σαν πολύτιμο παραπροϊόν. Το υδροξείδιο νατρίου και το μεθοξείδιο του νατρίου χρησιμοποιούνται ευρέως ως καταλύτες, όμως η χρήση επαναχρησιμοποιούμενου καταλύτη λιπάσης και υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα είναι περισσότερο φιλική προς το περιβάλλον.

Τα βασικά παραπροϊόντα της βιομηχανικής παραγωγής είναι γλυκερίνη και κέικ (πρωτεϊνούχος κτηνοτροφική πίτα που χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή). Η γλυκερίνη έχει υψηλή αξία διότι χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων, την ποτοποιία, την βιομηχανία καλλυντικών, τη φαρμακοβιομηχανία και σαπωνοποιία κ.α. Η

κτηνοτροφική πίτα έχει επίσης μεγάλη αξία ως ζωοτροφή διότι είναι πλούσια σε πρωτεΐνες (10-45%).

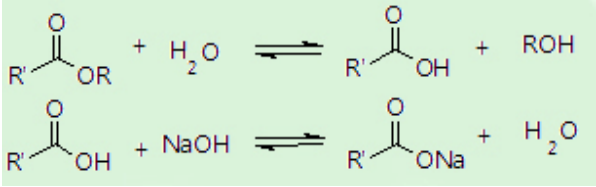
Πρέπει να αναφερθεί ότι το βιοντήζελ είναι πολύ εύκολο να παρασκευαστεί και σε επίπεδο ατομικό, δηλαδή ως οικιακό βιοντήζελ. Είναι διαθέσιμος στην αγορά φθηνός εξοπλισμός παραγωγής βιοντήζελ (αξίας 1500 ευρώ περίπου) ώστε είναι δυνατή η παραγωγή σε επίπεδο φάρμας. Έτσι μπορεί ο κάθε γεωργός που καλλιεργεί ενεργειακά φυτά (πχ ελαιοκράμβη, ηλίανθο) να παρασκευάζει το δικό του καύσιμο για την κίνηση των γεωργικών μηχανημάτων και οχημάτων, μία πρακτική που χρησιμοποιείται κατά κόρον από τους αμερικανούς αγρότες.

Κατάλυση μετεστεροποίησης

Το είδος του καταλύτη που χρησιμοποιείται στην αντίδραση μετεστεροποίησης είναι σημαντικός παράγοντας, αφού καθορίζει την ποιότητα που πρέπει να έχουν οι πρώτες ύλες. Οι συνθήκες της αντίδρασης (θερμοκρασία, πίεση και αναλογίες των ποσοτήτων των αντιδραστηρίων) καθώς και τα στάδια διαχωρισμού των προϊόντων επίσης καθορίζονται από την ποιότητα των πρώτων υλών σε συνδυασμό με το είδος του καταλύτη. Οι διεργασίες στις οποίες βασίζεται η έως τώρα ανάπτυξη των μονάδων παραγωγής βιοντήζελ πρώτης γενιάς σε ολόκληρο τον κόσμο χρησιμοποιούν ως καταλύτες κυρίως ισχυρές βάσεις (NaOH ή KOH , CH_3ONa κ.ά.), οι οποίες διαλύονται στη μεθανόλη, σπανίως δε ισχυρά οξέα (πυκνό H_2SO_4)

Μηχανισμοί της βασικής και της όξινης ομογενούς κατάλυσης

Στην περίπτωση των υδροξειδίων η αντίδραση γίνεται κοντά στο σημείο ζέσης της μεθανόλης, σε θερμοκρασίες 60° έως 64°C, οπότε η πίεση στο χώρο της αντίδρασης δεν υπερβαίνει το 1 bar , ο χρόνος που απαιτείται είναι περίπου μία (1) ώρα, ενώ η μοριακή αναλογία μεθανόλης / λαδιού που προτείνεται είναι ίση με 6/1. Ένα αδύνατο σημείο της διεργασίας αυτής είναι η παρουσία των καταλυτών στο μίγμα. Η έκπλυση των δύο φάσεων αυξάνει το κόστος παραγωγής και δημιουργεί απόβλητα. Ακόμα, η φάση της γλυκερίνης αποκτά σκούρο καστανό χρώμα και απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία για την παραγωγή διαυγούς γλυκερίνης υψηλής αξίας. Ένα επιπλέον πρόβλημα σχετικό με τη χρήση των υδροξειδίων αποτελεί η αντίδραση του καταλύτη με τα ελεύθερα οργανικά (λιπαρά) οξέα (FFAs) τα οποία περιέχονται κυρίως σε έλαια χαμηλής ποιότητας (όπως είναι τα απόβλητα έλαια βιομηχανιών ραφιναρίσματος λαδιών και τα τηγανέλαια) ή δημιουργούνται από την υδρόλυση των τριγλυκεριδίων λόγω του νερού που περιέχεται στα έλαια αυτά, με αποτέλεσμα να παράγονται σαπούνια (Σχήμα 9.7). Η παραγωγή σαπουνιών προκαλεί το σχηματισμό τζελ, αύξηση του ιξώδους του προϊόντος και σημαντική αύξηση του κόστους διαχωρισμού και καθαρισμού.



Σχήμα 9.7: Υδρόλυση εστέρων και σαπωνοποίησή τους,
Πηγή: http://bioenergynews.blogspot.com

Έτσι απαιτείται προεπεξεργασία των ελαίων αυτών με σκοπό την απομάκρυνση της περιεχόμενης υγρασίας και την όξινη εστεροποίηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων πριν οδηγηθούν στη βασική μέθοδο παραγωγής βιοντήζελ (Σχήμα 9.8).

$$RCOOH + R'OH \rightleftharpoons RCOOR' + H_2O$$

Σχήμα 9.8: Όξινη εστεροποίηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων,
Πηγή: http://bioenergynews.blogspot.com

Εστεροποίηση ελεύθερων λιπαρών οξέων

Συνεπώς, η χρήση ισχυρών ομογενών βάσεων απαιτεί σχετικά καθαρή πρώτη ύλη, δηλ. λάδι με πάρα πολύ χαμηλή οξύτητα (περιεκτικότητα σε ελεύθερα λιπαρά οξέα μικρότερη από 0,5% κ.β.) και απαλλαγμένο από υγρασία, η οποία όχι μόνο στο λάδι αλλά και στον καταλύτη και στην χρησιμοποιούμενη αλκοόλη πρέπει συνολικά (δηλ. στο αντιδρών μίγμα) να βρίσκεται σε ποσοστό μικρότερο του 0,1-0,3% κ.β., κάτι που αυξάνει σημαντικά το κόστος του παραγόμενου βιοντήζελ, το οποίο στην περίπτωση αυτή οφείλεται κατά 70% περίπου στο κόστος της πρώτης ύλης (ραφιναρισμένα ή στη χειρότερη περίπτωση εξουδετερωμένα έλαια). Στην περίπτωση των ισχυρών οξέων δεν εμφανίζεται το πρόβλημα της παραγωγής σαπουνιών, η αντίδραση γίνεται στους 60° έως 64°C , αλλά απαιτεί περίπου 50 ώρες για να ολοκληρωθεί, ενώ χρειάζεται μοριακή αναλογία μεθανόλης / λαδιού ίση με 30/1.

Μέθοδος	Θερμοκρασία	FFAs*	Χρόνος αντίδρασης	Μοριακή αναλογία Μεθανόλης / ελαίου
Βασική	60 - 65 ^{o}C	>0.5%κ.β.	1 - 1.5h	6 / 1
Όξινη	60 - 65 ^{o}C	<0.5%κ.β.	40 - 50h	30 / 1

*FFAs : Free Fatty Acids (Ελεύθερα Λιπαρά Οξέα)

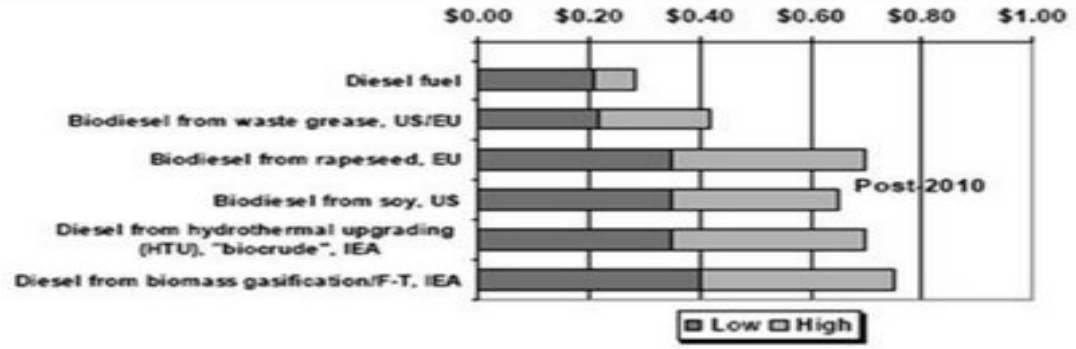
Πίνακας 9.3: Μέθοδοι, θερμοκρασίες, ελεύθερα λιπαρά οξέα, χρόνοι αντίδρασης, μοριακή αναλογία μεθανόλης/ελαίου, της βασικής και της όξινης ομογενούς κατάλυσης, Πηγή: http://bioenergynews.blogspot.com

Παρόλο, λοιπόν, που οι συμβατικές διεργασίες απαιτούν χαμηλές θερμοκρασίες για την αντίδραση, η συνεχής κατανάλωση του καταλύτη που επιβαρύνει οικονομικά τη διεργασία και συμβάλλει στη ρύπανση του περιβάλλοντος, η απαίτηση για συνεχή καθαρισμό του ρεύματος παραγωγής και οι χαμηλές αποδόσεις προϊόντων όταν χρησιμοποιούνται όξινα έλαια, οδήγησαν την έρευνα στην ανεύρεση νέων, οικονομικά αποδοτικών και ευέλικτων διεργασιών παραγωγής βιοντήζελ, οι οποίες χρησιμοποιούν στερεούς ετερογενείς καταλύτες για τη μετεστεροποίηση, δημιουργώντας έτσι μια νέα εποχή για την τεχνολογία παραγωγής βιοντήζελ.

Κόστος παραγωγής βιοντήζελ

Σχετικά με το κόστος παραγωγής του βιοντήζελ, τα δεδομένα ποικίλουν ανάλογα με την πρώτη ύλη και τη μέθοδο παραγωγής. Το βιοντήζελ από ζωικά λίπη είναι έχει το χαμηλότερο κόστος παραγωγής που κυμαίνεται από 0.4 έως 0.5 $ ανά ισοδύναμο L πετρελαίου κίνησης (το βιοντήζελ έχει θερμογόνο δύναμη περίπου 15% μικρότερη από αυτή του πετρελαίου). Το βιοντήζελ που παράγεται από καλλιέργειες (ελαιούχοι σπόροι) έχει αντίστοιχο κόστος 0.6-0.8 $ ενώ αναμένεται να μειωθεί μελλοντικά κατά 0.1-0.3 $ *[http://bioenergynews.blogspot.com].* Το βιοντήζελ δεύτερης γενιάς που παράγεται από βιομάζα έχει προς το παρόν υψηλό κόστος παραγωγής, 0.9 $ ανά ισοδύναμο L πετρελαίου κίνησης, με το κόστος τα επόμενα χρόνια να διαμορφώνεται σε 0.7- 0.8 $. Το κόστος παραγωγής του βιοντήζελ στις χώρες της Ε.Ε. είναι περίπου 0,5 €/l (15 €/GJ) ενώ προβλέπεται μακροπρόθεσμα μείωσή του κατά 0,2 €/l (6 €/GJ) συμπεριλαμβανομένης της αξίας των υποπροϊόντων του (γλυκερίνη, πίτα) *[http://bioenergynews.blogspot.com]*. Για την Ε.Ε. το παραγόμενο βιοντήζελ γίνεται ανταγωνιστικό έναντι του πετρελαίου κίνησης σε τιμές πετρελαίου περίπου 60 ευρώ ανά βαρέλι. Το κόστος παραγωγής της καλλιέργειας αντιπροσωπεύει περίπου το 80% του τελικού κόστους παραγωγής του βιοντήζελ στην Ευρώπη. Η υψηλή τιμή του βιοντήζελ σε σχέση με το «φθηνό» ντίζελ, είναι το σημαντικότερο εμπόδιο στην ανάπτυξη της αγοράς του στις Η.Π.Α. Σήμερα το γαλόνι κοστίζει 1 $ ακριβότερα σε

σχέση με το ντίζελ κίνησης στα πρατήρια, ενώ η συνεχώς αυξανόμενες τιμές της σόγιας δρουν αρνητικά. Η πλέον ελπιδοφόρος προσέγγιση για τη μείωση του κόστους παραγωγής βιοντήζελ στο κοντινό μέλλον, είναι η χρησιμοποίηση πιο φτηνής πρώτης ύλης όπως για παράδειγμα να χρησιμοποιηθούν οι ποσότητες της χαλασμένης σόγιας, το ζωικό λίπος του βοδινού και χοιρινού κρέατος, το τηγανισμένο λίπος και τα χρησιμοποιημένα λάδια εστιατορίων και άλλα παρόμοια υποπροϊόντα. Σ' αυτή την περίπτωση όμως παρουσιάζονται προβλήματα συλλογής, αποθήκευσης και ομοιογένειας της πρώτης ύλης. Κλείνοντας, μία εκτίμηση για **τη** διαμόρφωση του κόστους παραγωγής βιοντήζελ μετά το 2010 παρουσιάζεται στο παρακάτω ραβδόγραμμα



Σχήμα 9.9: Εκτίμηση για τη διαμόρφωση του κόστους παραγωγής βιοντήζελ μετά το 2010, η δεύτερη , τρίτη, τέταρτη και τελευταία ράβδος αναφέρονται στο κόστος παραγωγής βιοντήζελ από λίπη (Ε.Ε. & ΗΠΑ), ελαιοκράμβη (Ε.Ε.), σόγια (ΗΠΑ) και βιομάζα (με τη μέθοδο Fischer-Tropsch), αντίστοιχα., Πηγή IEA.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6

ΠΑΡΑΓΩΓΗ – ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ - ΚΟΣΤΟΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ

Παραγωγή βιοαιθανόλης

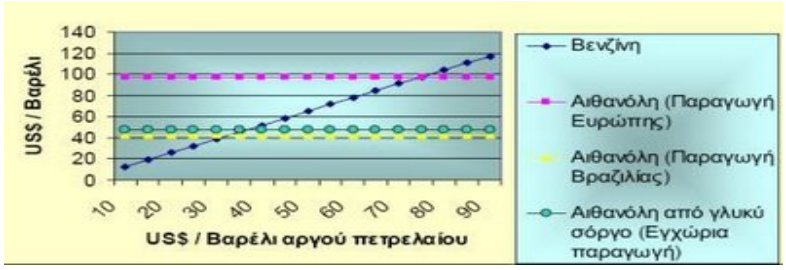
Για την παραγωγή της βιοαιθανόλης χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο στη Βραζιλία, αραβόσιτος στις ΗΠΑ, δημητριακά (σιτάρι, κριθάρι κ.α.) και ζαχαρότευτλα στην Ε.Ε. Επίσης το γλυκό σόργο είναι μια νέα και πολλά υποσχόμενη καλλιέργεια για παραγωγή βιοαιθανόλης και παραγώγων της μέσω ζύμωσης των σακχάρων που περιέχονται στο φυτικό χυμό του. Αυτό αποκτά ιδιαίτερη αξία για περιοχές μη τροπικές όπου το ζαχαροκάλαμο δεν ευδοκιμεί, όπως είναι η Ευρώπη. Στον πίνακα 9.4 αναφέρεται το κόστος παραγωγής της βιοαιθανόλης από διάφορες πρώτες ύλες.

ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ	ΚΟΣΤΟΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ (€/m³)
Ζαχαρότευτλα	230 - 530
Ζαχαροκάλαμο	170 - 200
Γλυκό Σόργο	155 - 230
Καλαμπόκι	210 - 320
Σιτάρι	600
Λιγνοκυτταρινούχες	140 - 350
Πατάτα	760

Πίνακας 9.4: Εκτιμώμενο κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης από διάφορες πρώτες ύλες, Πηγή: http://bioenergynews.blogspot.com

Το κόστος παραγωγής αιθανόλης από καλαμπόκι στις ΗΠΑ είναι 0,21 ευρώ/L και στα πρατήρια καυσίμων, η τιμή πώλησης του καυσίμου Ε85 (85% αιθανόλη + 15%

βενζίνη) είναι 0,50 ευρώ/L όταν η αντίστοιχη τιμή της βενζίνης είναι 0,58 ευρώ/L (Ιούλιος 2007) [*http://bioenergynews.blogspot.com/2008/03/blog-post_21.html*]. Επειδή η αιθανόλη έχει 67% του ενεργειακού περιεχομένου (θερμογόνου δύναμης, κατ' όγκο) της βενζίνης, το κόστος της αιθανόλης που ισοδυναμεί με ένα L βενζίνης είναι 0,71 ευρώ/L. Η Βραζιλία παράγει ακόμη φθηνότερη βιοαιθανόλη, με κόστος παραγωγής 0,17 ευρώ/L Η λιανική τιμή πώλησης της αιθανόλης είναι 0,55 ευρώ/L όταν η αντίστοιχη τιμή της βενζίνης είναι 0,94 ευρώ/L (Ιούλιος 2007) [*http://bioenergynews.blogspot.com/2008/03/blog-post_21.html*]**.** Το κόστος της αιθανόλης που ισοδυναμεί με ένα L βενζίνης είναι 0,74 ευρώ/L. Η Βραζιλία είναι η μοναδική χώρα παγκοσμίως όπου πλέον η βιοαιθανόλη που παράγεται από ζαχαροκάλαμο είναι ήδη ανταγωνιστική έναντι των ορυκτών υγρών καυσίμων.
Για την Ε.Ε. όπου η βιομηχανία αιθανόλης είναι λιγότερο αναπτυγμένη, η παραγόμενη βιοαιθανόλη γίνεται ανταγωνιστική της βενζίνης για τιμές πετρελαίου 90 € ανά βαρέλι, ενώ υπολογίζεται ότι η έρευνα και η τεχνολογική ανάπτυξη στον τομέα των βιοκαυσίμων θα επιφέρει μείωση κόστους κατά 30% μετά το έτος 2010 [*http://bioenergynews.blogspot.com/2008/03/blog-post_21.html*]. Οι κύριες παραγωγοί αιθανόλης είναι η Ισπανία και η Σουηδία, με τον Ισπανικό όμιλο Abengoa να ηγείται στην Ευρώπη. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών βενζίνης και αιθανόλης ως συνάρτηση της τιμής αργού πετρελαίου (σχήμα 9.10).



Σχήμα 9.10: Η σύγκριση των τιμών βενζίνης και αιθανόλης ως συνάρτηση της τιμής αργού πετρελαίου, Πηγή: http://bioenergynews.blogspot.com

Προς το παρόν, η βιομηχανία αιθανόλης είναι ανύπαρκτη στην Ελλάδα, ενώ αναμένονται εξελίξεις σχετικά με τη μετατροπή από ζαχαρουργεία σε εργοστάσια βιοαιθανόλης, των εργοστασίων της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης σε Λάρισα και Ξάνθη. Το δυναμικό παραγωγής βιοαιθανόλης των καλλιεργειών στην Ελλάδα, παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί:

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ (κιλά/στρέμμα)	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ (λίτρα/στρέμμα)
ΣΙΤΑΡΙ	150 - 800	45 - 240
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	900	270
ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΟ	6.000	600
ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ	7.000 – 10.000	675 - 900

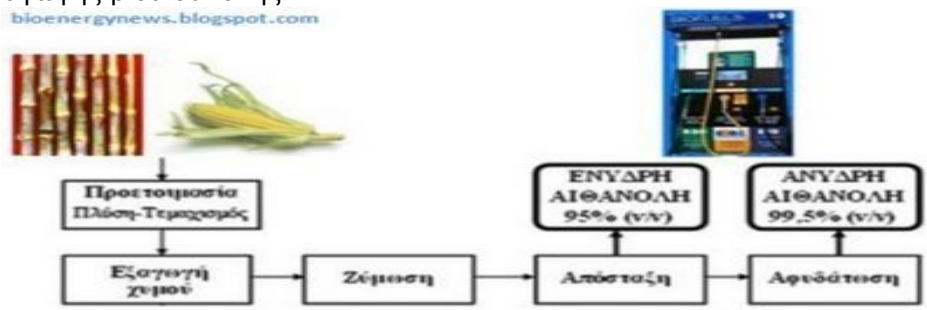
Πηγή: ΚΑΠΕ

Πίνακας 9.5: Το δυναμικό παραγωγής βιοαιθανόλης των καλλιεργειών στην Ελλάδα, Πηγή: ΚΑΠΕ

Στη Βραζιλία, ένα στρέμμα ζαχαροκάλαμου παράγει 570-760L βιοαιθανόλης. Το γλυκό σόργο μπορεί να γίνει στο κοντινό μέλλον, το ζαχαροκάλαμο της Μεσογείου, διότι με χρήση νέων τεχνικών η στρεμματική απόδοση σε βιοαιθανόλη μπορεί να ξεπεράσει τα 1.100L [*http://bioenergynews.blogspot.com/2008/03/blog-post_21.html*]**.**

Η διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης

Η παραγωγή αιθανόλης από άμυλο (δημητριακά, καλαμπόκι) ή σάκχαρα (ζαχαροκάλαμο, ζαχαρότευτλα, γλυκό σόργο) είναι απλή και γίνεται μέσω αλκοολικής ζύμωσης. Τα εργοστάσια παραγωγής βιοαιθανόλης είναι ουσιαστικά τεράστια αποστακτήρια. Στην περίπτωση που πρώτη ύλη είναι το ζαχαροκάλαμο ή το γλυκό σόργο, τα στελέχη τους (καλάμια) θρυμματίζονται και στο αλεσμένο προϊόν γίνεται αποχύμωση (μηχανικά με πίεση) και με την προσθήκη ζεστού νερού γίνεται εκχύλιση και συλλογή του υδατικού σακχαρούχου διαλύματος. Σε αντίθεση με το ζαχαροκάλαμο και το σόργο που λαμβάνεται απευθείας ο σακχαρούχος χυμός των βλαστών, στα σιτηρά (σιτάρι, κριθάρι, καλαμπόκι) απαιτείται προσθήκη ακριβών ενζύμων (αμυλάσες) για τη διάσπαση (υδρόλυση) του αμύλου σε σάκχαρα. Οι σπόροι των σιτηρών αλέθονται, αναμιγνύονται με νερό και ακολουθεί θέρμανση και ζύμωση σε αλκοόλη. Η ζύμωση του σακχαρούχου διαλύματος γίνεται σταδιακά σε τεράστιες δεξαμενές (ζυμωτήρες) με την προσθήκη κατάλληλων σακχαρομυκήτων, συνήθως στελέχη του Saccharomyces cerevisiae. Στο τελικό προϊόν της ζύμωσης γίνεται καθαρισμός με φυγοκέντριση ή διήθηση και το υγρό οδηγείται στην τελική δεξαμενή όπου γίνεται διαχωρισμός και ανάκτηση της καθαρής αιθανόλης. Ανάλογα με το σκοπό, η αιθανόλη ως τελικό προϊόν μπορεί να είναι ένυδρη (95% v/v) ή άνυδρη (99,5% v/v). Η διαδικασία παραλαβής της αιθανόλης είναι το τελευταίο στάδιο παραγωγής και περιλαμβάνει απόσταξη και αφυδάτωση με θέρμανση. Το τελευταίο αυτό στάδιο είναι από τα πλέον ενεργοβόρα άρα και πιο δαπανηρά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και αποτελεί κρίσιμο παράγοντα της βιομηχανικής παραγωγής βιοαιθανόλης.



Σχήμα 9.11 : Διάγραμμα ροής της παραγωγής αιθανόλης,
Πηγή: http://bioenergynews.blogspot.com

Τα απόβλητα της βιομηχανίας αιθανόλης έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο και είναι δύσκολα επεξεργάσιμα. Στη Βραζιλία έχουν υιοθετηθεί δύο πρακτικές για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων της βιομηχανικής παραγωγής αιθανόλης από ζαχαροκάλαμο. Η πρώτη μέθοδος αφορά τη συλλογή των αποβλήτων σε δεξαμενές και εξάτμιση του νερού. Κατά τη δεύτερη πρακτική γίνεται διασπορά τους με ψεκασμό σε καλλιέργειες ζαχαροκάλαμου ως αζωτούχος λίπανση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7
ΚΟΣΤΟΣ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Είδος βιοκαυσίμου	Κόστος σε σταθμό διανομής ($€_{2004}$/1000L)			
	Πρώτη Ύλη	**Χαμηλή Τιμή**	**Μέση Τιμή**	**Υψηλή Τιμή**
Βιοαιθανόλη	Σακχαρούχα Φυτά	875	1.265	1.855
	Αμυλούχα Φυτά	809	1.173	1.572
	Ζαχαρότευτλα από Βραζιλία	117	294	351
Βιοντήζελ	Ελαιούχα Φυτά	755	945	1.092
	Χρησιμοποιημένα Λάδια	354	454	545

Πίνακας 9.6: Κόστος Βιοκαυσίμων βάσει τωρινών δεδομένων (2004), Ryan et.al., 2005

Είδος βιοκαυσίμου	Κόστος σε σταθμό διανομής ($€_{2004}$/1000L)			
	Πρώτη Ύλη	**Χαμηλή Τιμή**	**Μέση Τιμή**	**Υψηλή Τιμή**
Βιοαιθανόλη	Σακχαρούχα Φυτά	671	954	1.432
	Αμυλούχα Φυτά	653	963	1.287
Βιοντήζελ	Ελαιούχα Φυτά	753	888	1.068
	Χρησιμοποιημένα Λάδια	317	395	504

Πίνακας 9.7: Κόστος Βιοκαυσίμων βάσει μελλοντικών δεδομένων (>2010), Ryan et.al., 2005

Είδος βιοκαυσίμου	Πιθανότερο μέσο κόστος σε σταθμό διανομής ($€_{2004}$/1000L)			
	Πρώτη Ύλη	**Βιοκαύσιμο**	**Ορυκτό Καύσιμο**	**Διαφορά**
Βιοαιθανόλη	Σακχαρούχα Φυτά	1.265	366	899
	Αμυλούχα Φυτά	1.173	366	807
	Ζαχαρότευτλα από Βραζιλία	294	366	-72
Βιοντήζελ	Ελαιούχα Φυτά	945	386	559
	Χρησιμοποιημένα Λάδια	454	386	68

Πίνακας 9.8: Σύγκριση Κόστους Βιοκαυσίμων σε Συμβατικό Πετρέλαιο (2004), Ryan et.al., 2005

Είδος βιοκαυσίμου	Μείωση εκπομπών CO_{2eq}. (g/km)			
	Πρώτη Ύλη	**Χαμηλή Τιμή**	**Μέση Τιμή**	**Υψηλή Τιμή**
Βιοαιθανόλη	Σακχαρούχα Φυτά	50	90	169
	Αμυλούχα Φυτά	-50	30	70
	Ζαχαρότευτλα από Βραζιλία	169	212	254
Βιοντήζελ	Ελαιούχα Φυτά	30	82	115

Πίνακας 9.9: Μείωση εκπομπών CO_{2eq}. με τη χρήση βιοκαυσίμων, συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα (2004), Ryan et.al., 2005