

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

# ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΜΟΛΥΒΔΗΣ ΒΕΝΖΙΝΗΣ

Χαψιάς Χρήστος

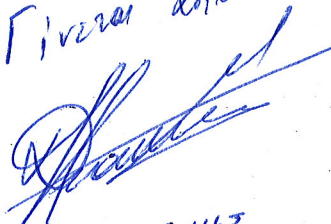
Υπεύθυνος: Δ. Καρώνης

Οκτώβριος 2004

25 97604

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

Γίνετα κηροδωμή



Δ. ΚΑΡΩΝΗΣ

5/10/2004

Μέθοδος: 'Καύσιμα 5' Αιθαλιού'

Προσάρτημα Επιτροπής:

Καρόνης

Λόυς

Ζαννίους

## ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΜΟΛΥΒΔΗΣ ΒΕΝΖΙΝΗΣ

Χαψιάς Χρήστος



Υπεύθυνος: Δ. Καρόνης

Οκτώβριος 2004



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ



ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1 Χρήση Οξυγονούχων Συστατικών στα Υγρά Καύσιμα	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ BENZΙΝΗΣ	5
2.1 Αντικροτική Ικανότητα	5
2.2 Πτητικότητα	6
2.3 Τάση Ατμών	7
2.4 Απόσταξη	8
2.5 Λόγος Ατμών-Υγρού	9
2.6 Προδιαγραφές Βενζινών στην Ελληνική Αγορά	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΙΘΑΝΟΛΗ	11
3.1. Παραγωγή Αιθανόλης	11
3.1.1. Η πρώτη ύλη	11
3.1.2. Τεχνολογίες παραγωγής βιοαιθανόλης	12
3.1.3. Διαχωρισμός της αιθανόλης	14
3.1.4. Προβλήματα Αποβλήτων κι Αξιοποίηση Παραπροϊόντων	16
3.2. Ιδιότητες Αιθανόλης κι Επίδραση της σε Μίγματα Αιθανόλης-Βενζίνης	17
3.2.1. Επίδραση Νερού σε Αιθανόλη	17
3.2.2. Επίδραση της Αιθανόλης στην Αντικροτική Ικανότητα της Βενζίνης	18
3.2.3. Θερμικό Περιεχόμενο	19
3.2.4. Συμβατότητα με άλλα Υλικά	19
3.2.5. Διαπερατότητα	20
3.2.6. Επίδραση της Αιθανόλης στην Τάση ατμών της Βενζίνης	20
3.2.7 Επίδραση της Αιθανόλης στην Καμπύλη Απόσταξης	20
3.2.8. Επίδραση της Αιθανόλης στον Λόγο Ατμών-Υγρού	21
3.3. Επίδραση της Αιθανόλης στο Περιβάλλον	21

3.3.1. Καυσαέρια	21
3.3.2. Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου	22
3.4. Οικονομική Ανάλυση της Παραγωγής Βιοαιθανόλης	23
3.4.1. Κόστος Πρώτων Υλών	24
3.4.2. Κόστος Παραγωγής Βιοαιθανόλης	25
3.4.3. Τιμή Πετρελαίου	26
3.4.4. Σύγκριση Τιμής Βενζίνης-Βιοαιθανόλης	27
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	29
1.1. Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΑΣΗ ΑΤΜΩΝ	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΣΤΑΣΗ	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΡΟΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ



Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της αιθανόλης ως πρόσθετο στην αμόλυβδη βενζίνη ώστε να φανερωθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της καθώς και αν το τελικό μείγμα εναρμονίζεται με τις προδιαγραφές της ελληνικής αγοράς.

Αρχικά γίνεται εκτενής αναφορά στην παραγωγή της αιθανόλης από φυτική βιομάζα, στις ιδιότητες της και στην επίδραση της προσθήκης της σε βενζίνη δίνοντας σημασία και στον οικονομικό και περιβαλλοντικό παράγοντα. Τα πλεονεκτήματά της είναι η χαμηλή πτητικότητα, η καλύτερη αντικροτική ικανότητα, η δυνατότητα παραγωγής της από ανανεώσιμες πηγές και η μειωμένη εκπομπή καυσαερίων. Κύριο μειονέκτημά της είναι το υψηλό κόστος παραγωγής της.

Κατά την πειραματική διαδικασία μετρήθηκαν οι ιδιότητες 8 δειγμάτων αμόλυβδης βενζίνης 95 RON καθώς και μειγμάτων τους με αιθανόλη μέχρι 5% κ.ό. Οι ιδιότητες που μελετήθηκαν είναι η τάση ατμών, η απόσταξη, η σύσταση κι αντικροτική ικανότητα και παρατηρήθηκε αν τα αποτελέσματα ικανοποιούν τις προδιαγραφές των βενζινών της ελληνικής αγοράς. Γενικά, παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη αιθανόλης αύξησε την τάση ατμών με αποτέλεσμα πολλά δείγματα να είναι εκτός προδιαγραφών για την θερινή περίοδο και μόνο. Στην απόσταξη, η μείωση της  $T_{50}$ , δηλαδή της θερμοκρασίας όπου έχουμε ανάκτηση 50%, που προκαλεί η προσθήκη της αιθανόλης δεν μας δημιούργησε κανένα πρόβλημα. Η αντικροτική ικανότητα της βενζίνης αυξήθηκε σημαντικά παρατηρώντας συνήθως αύξηση του RON κατά 2 μονάδες. Τέλος, κατά την μέτρηση της σύστασης το μόνο πρόβλημα που δημιουργήθηκε ήταν η αύξηση της συγκέντρωσης του ολικού οξυγόνου που σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνούσε το όριο των προδιαγραφών.



ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή



### 1.1. Χρήση Οξυγονούχων Συστατικών στα Υγρά Καύσιμα

Η χρήση οξυγονούχων συστατικών, στα οποία ανήκει και η αιθανόλη, έχει αρχίσει από τη δεκαετία του '20 για την αύξηση του αριθμού οκτανίου των βενζινών. Η χρήση τους περιορίστηκε σημαντικά μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, αλλά επανήλθε μετά τις πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του '70 μαζί με τη χρήση των αιθέρων. Ο ρόλος τους σαν συστατικά ανάμειξης είναι ιδιαίτερης σημασίας στην παραγωγή βενζινών χωρίς μόλυβδο γιατί με τη χρήση τους μπορεί να επιτευχθεί ο απαιτούμενος αριθμός οκτανίου.

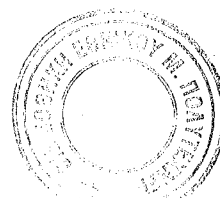
Οι ενώσεις που χρησιμοποιούνται σε σημαντικές ποσότητες για την παραγωγή βενζίνης είναι αλκοόλες κι αιθέρες. Οι αλκοόλες που χρησιμοποιούνται είναι: μεθανόλη (MeOH), αιθανόλη (EtOH), ισοπροπανόλη (IPA), τριτοταγής βουτανόλη (TBA) και μίγματα τους. Οι αιθέρες που χρησιμοποιούνται είναι: μεθυλο-τριτοταγής βουτυλαιθέρας (MTBE), τριτοταγής-αμυλο-μεθυλαιθέρας (TAME), αιθυλο-τριτοταγής βουτυλαιθέρας (ETBE) και μίγματά τους.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που έχει η χρήση οξυγονούχων συστατικών έναντι των συμβατικών καυσίμων είναι οι περιορισμένες τους εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα καθώς και η δυνατότητά τους να προέλθουν από ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η έρευνα πάνω στην παρασκευή οξυγονούχων συστατικών από ανανεώσιμες φυσικές πρώτες ύλες.

Η χρήση οξυγονούχων συστατικών στη βενζίνη βρίσκεται εντός συγκεκριμένων ορίων για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος είναι η μείωση της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου λόγω της παρουσίας οξυγόνου κι ο δεύτερος οι αλληλεπιδράσεις τους με τα υλικά του συστήματος τροφοδοσίας του καυσίμου.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση επιτρέπεται η χρήση οξυγονούχων συστατικών που έχουν σημείο ζέσης κατώτερο από την προδιαγραφή του τελικού σημείου ζέσης των βενζινών. Η επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε οξυγονούχα συστατικά εξαρτάται από τον τύπο του οξυγονούχου και κυμαίνεται στην περιοχή 3% κ.ό. (μεθανόλη) ως 10% κ.ό. (αιθέρες).

Η χρήση οξυγονούχων συστατικών σε αναλογίες μεγαλύτερες από τις προαναφερθείσες απαιτεί τροποποιήσεις των οχημάτων. Αυτές οι τροποποιήσεις περιλαμβάνουν μεταβολές στο σύστημα τροφοδοσίας ώστε να λαμβάνεται σοβαρά





υπόψη το οξυγόνο του καυσίμου καθώς και στα υλικά κατασκευής ώστε να μην παρατηρούνται προβλήματα προσβολής τους από τα οξυγονούχα συστατικά.

Τέλος, σύμφωνα με την οδηγία 30 του 2003 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2010 το 10% των καυσίμων πρέπει να προέρχεται από ανανεώσιμες πρώτες ύλες ώστε να έχουμε μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου και της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίηση αυτής της οδηγίας θα παίξει η χρήση της βιοαιθανόλης.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΕΝΖΙΝΗΣ

### 2.1. Αντικροτική Ικανότητα

Η αντικροτικότητα των βενζινών, εκφράζει την ικανότητα που έχουν να αντιστέκονται στο κτύπημα του κινητήρα καθώς καίγονται στο θάλαμο καύσης. Πριν το 1929, η αντικροτικότητα των βενζινών μετριόταν σε κινητήρες με μεταβλητή σχέση συμπίεσης μεταξύ 2,7:1 και 8:1. Κάθε καύσιμο δοκιμαζόταν σε διαφορετικές σχέσεις αέρα-καυσίμου και χρονισμούς ανάφλεξης μέχρι να επιτευχθούν συνθήκες για μέγιστη παραγωγή ισχύος και σημειωνόταν η μέγιστη σχέση συμπίεσης στην οποία δεν παρατηρούταν κτύπημα κι απώλεια ισχύος. Σαν καύσιμο αναφοράς χρησιμοποιούταν το τολουόλιο.

Η κλίμακα του αριθμού οκτανίου προτάθηκε το 1926 από τον Graham Edgar και καθιερώθηκε σαν επίσημη μέθοδος το 1929. Στο ισοοκτανίο (2,2,4 τριμεθυλο-πεντάνιο) που έχει πολύ καλή αντικροτική συμπεριφορά δόθηκε η τιμή 100, ενώ στο κ-επτάνιο που έχει άσχημη συμπεριφορά η τιμή 0. Ο αριθμός οκτανίου ενός καυσίμου είναι το επί τοις εκατό κατ' όγκο ποσοστό ισοοκτανίου σε μίγμα του με κ-επτάνιο που παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά με το υπό δοκιμή καύσιμο όταν δοκιμαστεί στον πρότυπο κινητήρα CFR. Για καύσιμα με αριθμό οκτανίου μεγαλύτερο από 100 χρησιμοποιούνται μίγματα ισοοκτανίου με τετρααιθυλιούχο μόλυβδο.

Για να μπορέσουν να εξαχθούν πιο αξιόπιστα συμπεράσματα αναφορικά με την αντικροτικότητα των βενζινών, ο αριθμός οκτανίου μετριέται με δύο διαφορετικές μεθόδους (Research και Motor), καθώς επίσης και σε μικρότερα θερμοκρασιακά κλάσματα του καυσίμου. Ο αριθμός οκτανίου με την ερευνητική μέθοδο (Research Octane Number, RON) σχετίζεται καλύτερα με ήπιες συνθήκες οδήγησης και χαμηλές στροφές, ενώ με τη μέθοδο κινητήρα (Motor Octane Number, MON) με υψηλές στροφές και μεταβατικές συνθήκες λειτουργίας. Στις Η.Π.Α. ορίζεται ο Δείκτης Αντικροτικότητας (Antiknock Index, AI) ως:

$$AI = 0,5 \cdot (RON + MON)$$

Στην Ευρώπη συνήθως αναφέρονται χωριστά RON και MON. Ο διαχωρισμός των βενζινών για τις ανάγκες της αγοράς γίνεται μέσω του RON. Η διαφορά μεταξύ RON και MON ονομάζεται ευαισθησία της βενζίνης. Αντιπροσωπεύει την ευαισθησία της αντικροτικής ικανότητας του καυσίμου στις μεταβολές των συνθηκών λειτουργίας του κινητήρα.

Η κατανομή του αριθμού οκτανίου σε κλάσματα του καυσίμου έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως στην Ευρώπη. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να φανεί κατά πόσο το καύσιμο έχει ομοιόμορφη αντικροτική ικανότητα σε όλη του τη μάζα ή αποτελείται από κλάσματα που διαφέρουν σημαντικά. Η σημασία της κατανομής του αριθμού οκτανίου φαίνεται κατά την απότομη επιτάχυνση, όταν αναρροφάται μεγάλη ποσότητα καυσίμου, αλλά μόνο τα ελαφρύτερα κλάσματα εξατμίζονται και εισέρχονται στο θάλαμο καύσης. Αν αυτά τα κλάσματα έχουν κακή αντικροτική συμπεριφορά θα παρατηρηθεί κτύπημα μέχρι να μπορέσουν να εισέλθουν τα υψηλής αντικροτικότητας βαρύτερα κλάσματα. Η κατανομή του αριθμού οκτανίου μετριέται συνήθως αποστάζοντας το κλάσμα του καυσίμου μέχρι τους 100°C, και προσδιορίζοντας κατόπιν τον αριθμό οκτανίου του (R100°C). Η διαφορά μεταξύ R100°C και RON του καυσίμου ονομάζεται ΔRON100°C.

Συνήθως ο αριθμός οκτανίου προβλέπει ικανοποιητικά τη συμπεριφορά μιας βενζίνης σε πραγματικές συνθήκες. Σε πρόσφατη έρευνα αναφέρεται ότι η πρόβλεψη ήταν πολύ καλή για την περίπτωση βενζινών με υψηλή περιεκτικότητα σε αρωματικά, ενώ λιγότερο καλή σε καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε ολεφίνες. Στην περίπτωση χρήσης οξυγονούχων συστατικών η πρόβλεψη ήταν πολύ καλή για το MTBE αλλά αισιόδοξη για τη μεθανόλη και την αιθανόλη.

## 2.2. Πτητικότητα

Η πτητικότητα είναι μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες των βενζινών. Επειδή μια βενζίνη περιέχει πολλές διαφορετικές ενώσεις, δεν έχει ένα συγκεκριμένο σημείο βρασμού, αλλά μια καμπύλη στην οποία το αρχικό από το τελικό σημείο διαφέρουν κατά 170°C περίπου. Η περιοχή βρασμού της βενζίνης εξαρτάται από την σύστασή της. Οι βενζίνες περιέχουν πολλά συστατικά (περίπου 400) κι έτσι εμφανίζουν ομαλές καμπύλες βρασμού, ακόμη κι αν χρησιμοποιηθεί στήλη με υψηλό βαθμό διαχωρισμού. Σημειώνεται ότι δεν έχει πολύ μεγάλη σημασία ο «τέλειος» διαχωρισμός των συστατικών μιας βενζίνης, καθώς η συμπεριφορά της σε έναν κινητήρα δεν έχει να κάνει με αυτόν καθαυτό το διαχωρισμό, αλλά με το σύνολο των συστατικών.

Η πτητικότητα του καυσίμου μπορεί να επηρεάσει σε πολλούς τομείς την απόδοση του οχήματος. Η βενζίνη που έχει χαμηλή πτητικότητα προκαλεί δύσκολη ψυχρή εκκίνηση και χαμηλή οδηγισιμότητα κατά την θέρμανση του κινητήρα. Επίσης προκαλούν αποθέσεις στο θάλαμο καύσης, στο στροφαλοθάλαμο και στον





σπινθηριστή. Η βενζίνη που είναι πολύ πτητική εξατμίζεται εύκολα και σε υψηλές θερμοκρασίες πριν φτάσει στο θάλαμο καύσης. Αν σχηματιστεί υπερβολικός ατμός μπορεί να προκληθεί μείωση της ροής καυσίμου στη μηχανή προκαλώντας συμπτώματα ατμόφραξης όπως απώλεια ισχύος, δυσλειτουργία του κινητήρα ή τερματισμό της λειτουργίας του. Επίσης έχουμε μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου και πιθανή αύξηση των εκπομπών εξάτμισης.

Για να βεβαιωθούμε ότι βενζίνη έχει τη σωστή πτητικότητα τα διυλιστήρια την προσαρμόζουν ανάλογα με την εποχή. Το χειμώνα πρέπει να είναι πιο πτητική ώστε να έχουμε ευκολότερη ψυχρή εκκίνηση και καλύτερη απόδοση κατά την διάρκεια της θέρμανσης της μηχανής. Το καλοκαίρι πρέπει να είναι λιγότερο πτητική ώστε να αποφευχθεί η ατμόφραξη και να μην επιβαρύνουμε το περιβάλλον με τους ρύπους εξάτμισης. Η σύσταση της βενζίνης προσαρμόζεται και ανάλογα με το υψόμετρο καθώς σε μεγάλο υψόμετρο οι βενζίνες γίνονται πιο πτητικές.

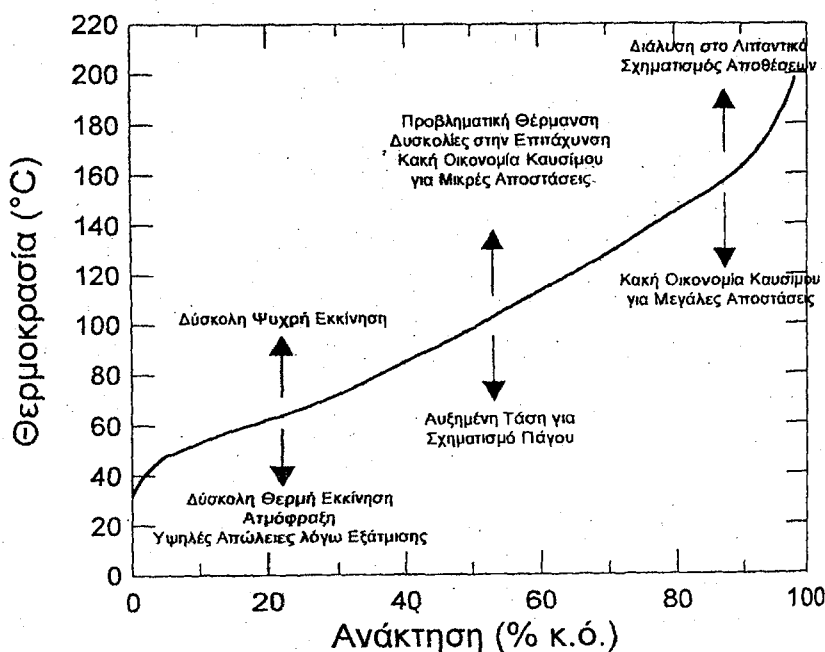
Η πτητικότητα των καυσίμων μετριέται με 4 παραμέτρους. Την τάση ατμών, την καμπύλη απόσταξης, τον λόγο ατμών-υγρού και τον δείκτη οδηγησιμότητας.

### 2.3. Τάση Ατμών

Η τάση ατμών πρέπει να είναι αρκετά υψηλή ώστε να έχουμε ευκολότερη εκκίνηση αλλά όχι πολύ ψηλή για να μην προκληθούν ατμόφραξη και αύξηση των εκπεμπόμενων ρύπων. Επειδή η βενζίνη είναι μίγμα πολλών συστατικών, δεν μπορεί να προσδιοριστεί η τάση ατμών της όπως σε μία απλή ένωση. Για τις βενζίνες προσδιορίζεται η τάση ατμών κατά Reid (ASTM D-323). Στη μέθοδο αυτή ο λόγος ατμών-υγρού είναι 4:1 και η θερμοκρασία 37,8°C (100°F). Το δείγμα αφού έχει ψυχθεί τοποθετείται σε μεταλλικό υποδοχέα και συνδέεται με το θάλαμο της αέριας φάσης που είναι συνδεδεμένος με μανόμετρο. Η συσκευή τοποθετείται σε θερμοστατημένο λουτρό κι ανακινείται περιοδικά μέχρι να σταθεροποιηθεί η ένδειξη του μανομέτρου κι αναφέρεται σαν τάση ατμών κατά Reid (Reid Vapor Pressure, RVP). Τα τελευταία χρόνια, η τάση ατμών προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-5191, η οποία δίνει αποτελέσματα σε πολύ μικρότερο χρόνο, με μικρότερη ποσότητα δείγματος και χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερος χειρισμός του δείγματος πριν τη μέτρηση.

## 2.4. Απόσταξη

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την απόσταξη των βενζινών είναι η ASTM D-86. Με τη μέθοδο αυτή η κλασμάτωση που επιτυγχάνεται αντιστοιχεί σε μια θεωρητική βαθμίδα. 100 ml από το καύσιμο θερμαίνονται κάτω από τις από τις συνθήκες που αναφέρει η μέθοδος και καταγράφονται οι θερμοκρασίες στις οποίες αποστάζουν συγκεκριμένα ποσοστά του καυσίμου. Μπορεί επίσης να σημειωθεί και το ποσοστό του καυσίμου που έχει εξατμιστεί ή έχει συλλεχθεί σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία.



Σχήμα 2.1. Τυπική καμπύλη απόσταξης βενζίνης

Οι καμπύλες απόσταξης των βενζινών δεν είναι πάντα ίδιες, καθώς το σχήμα της καμπύλης εξαρτάται από τη σύσταση της βενζίνης. Υπάρχει περίπτωση η βενζίνη να περιέχει συστατικά που αποστάζουν σε μια στενή περιοχή, οπότε η καμπύλη παρουσιάζει απότομη αύξηση περίπου στο μέσο της. Η συμπεριφορά στην οδήγηση βενζινών που εμφανίζουν τέτοιες μη τυπικές καμπύλες απόσταξης, μπορεί να διαφέρει σημαντικά από αυτή των τυπικών βενζινών.

Το σχήμα 2.1 δείχνει πώς επηρεάζει η πτητικότητα μιας βενζίνης τη συμπεριφορά της μέσα στο θάλαμο καύσης. Η μετωπική πτητικότητα, δηλαδή τα συστατικά που έχουν σημείο βρασμού μέχρι τους 70°C, επηρεάζει την ευκολία εκκίνησης ενός κινητήρα, καθώς και τυχόν προβλήματα ατμόσφαιξης σε θερμές κλιματολογικές συνθήκες. Η πτητικότητα του μέσου κλάσματος επηρεάζει τη συμπεριφορά του

κινητήρα σε χαμηλές θερμοκρασίες και το χρόνο θέρμανσης του κινητήρα. Επηρεάζει επίσης και την τάση για σχηματισμό πάγου στον εξαεριοτή σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και υψηλής υγρασίας. Η πτητικότητα ουράς περιλαμβάνει τα συστατικά που έχουν υψηλά σημεία βρασμού και υψηλό θερμικό περιεχόμενο κι επηρεάζουν έτσι την οικονομία καυσίμου όταν ο κινητήρας έχει θερμανθεί. Όμως μερικά από αυτά τα συστατικά μπορεί να περάσουν μέσω των ελατηρίων στην ελαιολεκάνη και να αλλάξουν προς το χειρότερο τις ιδιότητες του λιπαντικού. Επίσης μερικά από αυτά τα συστατικά μπορεί να μην καούν πλήρως και να αυξήσουν τις αποθέσεις στο θάλαμο καύσης.

Από το σχήμα 2.1 φαίνεται ότι όλη η καμπύλη απόσταξης θα πρέπει να βρίσκεται εντός συγκεκριμένων ορίων ώστε να μην παρατηρούνται προβλήματα στη λειτουργία του κινητήρα τόσο σε χαμηλές όσο και σε υψηλές θερμοκρασίες. Η καμπύλη απόσταξης της βενζίνης θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι δεν θα γίνεται υπερβολική εξάτμιση του καυσίμου σε υψηλές θερμοκρασίες και να εξασφαλίζει την εξάτμιση της απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου ώστε να επιτευχθεί γρήγορη θέρμανση του κινητήρα σε χαμηλές θερμοκρασίες.

## 2.5. Λόγος Ατμών-Υγρού

Ο λόγος ατμών-υγρού προσδιορίζει τον όγκο της βενζίνης που εξατμίζεται από συγκεκριμένη ποσότητα υγρού σε ατμοσφαιρική πίεση και σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Ο λόγος ατμών-υγρού χρησιμοποιείται για την αποφυγή της ατμόφραξης λόγω της πτητικότητας της βενζίνης και επηρεάζεται από το κλίμα και το υψόμετρο. Χρησιμοποιείται η μέθοδος ASTM D-2533. Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται κυρίως η θερμοκρασία στην οποία επιτυγχάνεται λόγος ατμών-υγρού ίσος με 20:1. Οι βενζίνες που θα χρησιμοποιηθούν την καλοκαιρινή περίοδο πρέπει να εμφανίζουν το λόγο αυτό σε μεγαλύτερη θερμοκρασία ενώ η θερμοκρασία των βενζινών που θα χρησιμοποιηθούν την χειμερινή περίοδο πρέπει να είναι χαμηλότερη.



## 2.6. Προδιαγραφές Βενζινών στην Ελληνική Αγορά

Οι προδιαγραφές των βενζινών στην ελληνική αγορά αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα. Στην παρούσα διπλωματική θα μας απασχολήσουν οι προδιαγραφές της αμόλυβδης βενζίνης 95 RON.

Ιδιότητες	Αμόλυβδη		LRP	Μολυβδωμένη	
	95 RON	Super Plus	96 RON	Super	Απλή
Πυκνότητα (g/ml, 15°C)	0.720-0.775	0.790 μέγ.	0.720-0.775	0.720-0.770	0.700-0.750
Τάση Αιμών Reid (kPa, 100°F) μεγ. α. Κλάση 1: 1/5 ως 30/9 β. Κλάση 3: 1/10 ως 30/4 α. Κλάση 1: 1/4 ως 31/10 β. Κλάση 3: 1/11 ως 31/3	45-60 50-80	35-70 45-80	45-60 50-80	62 80	65 80
Απόσταξη (% κ.ό.) Ανάκτηση στους 70 °C (%) α. Κλάση 1: 1/5 ως 30/9 β. Κλάση 3: 1/10 ως 30/4 Ανάκτηση στους 70 °C ελάχ. (%) Ανάκτηση στους 100 °C (%) Ανάκτηση στους 150 °C ελάχ. (%) Ανάκτηση στους 180 °C ελάχ. (%) Τέλος Απόσταξης (°C) μεγ. Υπόλειμμα Απόσταξης (% κ.ό.) μεγ.	20-48 22-50 46-71 75 210 2	10 35 ελάχ. 85 210 2	20-48 22-50 46-71 75 210 2	10 30-65 85 215 2	10 30-65 85 215 2
Δείκτης Αιμόφραξης (VLI) μεγ. (°) α. Κλάση 1: 1/5 ως 30/9 β. Κλάση 3: 1/10 ως 30/4 α. Κλάση 1: 1/4 ως 31/10 β. Κλάση 3: 1/11 ως 31/3	1050	900 1000	1050		
Θείο (mg/kg) μεγ.	150	150	150	1000	1500
Μόλυβδος (g/l) μεγ.	0.005	0.005	0.005	0.15	0.40
Αριθμός Οκτανίου (ελάχ.) RON MON	95 85	98 86	96 85	96-98	90
Διάβρωση Χαλκού (ASTM No.) μεγ.	1	1	1	1	1
Υπάρχοντα Κορμιώδη (g/100 ml) μεγ.	5	5	5	4	4
Σταθερότητα στην Οξειδωση (min) ελάχ.	360	360	360	360	480
Βενζόλιο (% κ.ό.) μεγ.	1	1	1	1	4
Αρωματικά (% κ.ό.)	42 μέγ.		42 μέγ.	Αναφορά	Αναφορά
Ολεφίνες (% κ.ό.)	18 μέγ.		18 μέγ.	Αναφορά	Αναφορά
Φωσφόρος	∅	∅			
Κινιζαρίνη (mg/l)	6	∅			
Χρώμα	-	-	Πράσινο	Πράσινο	Κίτρινο
Οξυγόνο (% κ.β.) μέγ.	2.7	2.7	2.7		
Οξυγονούχο Συστατικό (% κ.ό.) μέγ. Μεθανόλη Αιθανόλη Ισοπροπανόλη i-Βουτανόλη t-Βουτανόλη Αιθέρες (με 5 ή περισσότερα άτομα C) Λοιπά Οξυγονούχα	3 5 10 10 7 15 10	3 5 10 10 7 15 10	3 5 10 10 7 15 10		

Πίνακας 2.1. Προδιαγραφές Βενζινών της Ελληνικής Αγοράς

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΙΘΑΝΟΛΗ

### 3.1. Παραγωγή Αιθανόλης

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούμε στην παραγωγή της αιθανόλης από φυτική πρώτη ύλη. Θα περιγράψουμε τις πρώτες ύλες και τα στάδια παραγωγής της.

#### 3.1.1. Η πρώτη ύλη

Ανάλογα με το είδος των υδατανθράκων που περιέχει χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες:

α) Τα σάκχαρούχα προϊόντα (μελάσα, σακχαροκάλαμο, σακχαρότευτλα, κ.ά.) στα οποία οι υδατάνθρακες βρίσκονται σε μορφή μονο- ή oligo- σακχαριτών. Από αυτά με απλές φυσικές διεργασίες παράγεται το σακχαροδιάλυμα που θα ζυμωθεί τελικά προς αλκοόλη. Περιοριστικοί παράγοντες για την χρήση των προϊόντων αυτών στην παραγωγή αιθανόλης είναι η υψηλή τιμή τους, η ανταγωνιστική χρήση τους σε βιομηχανίες τροφίμων, ο περιορισμένος όγκος παραγωγής τους και οι ιδιαίτερες κλιματολογικές και εδαφολογικές συνθήκες που απαιτεί η καλλιέργειά τους.

β) Τα αμυλούχα προϊόντα (πατάτα, αραβόσιτος, δημητριακά, κ.ά.) στα οποία οι υδατάνθρακες βρίσκονται με τη μορφή αμύλου. Η προκατεργασία του προϊόντος εξαρτάται από την αναλογία των διαφορετικών μορφών αμύλου που περιέχει. Το άμυλο βρίσκεται στη μορφή ενός γραμμικού πολυμερούς της γλυκόζης, την αμυλόζη, που εύκολα υδρολύεται προς απλά σάκχαρα (γλυκόζη, μαλτόζη) και στη μορφή ενός διακλαδούμενου πολυμερούς της γλυκόζης, την αμυλοπηκτίνη, που υδρολύεται δυσκολότερα. Η τιμή των αμυλούχων προϊόντων είναι μικρότερη αυτής των σακχαρούχων, αλλά αν προστεθεί το κόστος προκατεργασίας (συνήθως θερμικής) και της υδρόλυσης (με αμυλάσες ή οξέα), το συνολικό κόστος του παραγόμενου προς ζύμωση σακχαροδιαλύματος αυξάνει σημαντικά. Περιοριστικός παράγοντας για τη χρήση των αμυλούχων προϊόντων είναι ακόμη η ανταγωνιστική χρησιμοποίησή τους σε βιομηχανίες τροφίμων και ζωοτροφών.

γ) Τα κυτταρινούχα υλικά (ξύλο, άχυρο, στελέχη φυτών, αγροτικά παραπροϊόντα, κ.ά.), όπου οι υδατάνθρακες βρίσκονται στη μορφή της κυτταρίνης. Σημαντικό ρόλο για το είδος και το κόστος των προκατεργασιών παίζει ο βαθμός κρυσταλλικότητας της κυτταρίνης καθώς και το ποσοστό των ημικυτταρινούχων και της λιγνίνης που συνυπάρχουν στα κυτταρινούχα προϊόντα. Η τιμή της πρώτης ύλης ιδιαίτερα στην



περίπτωση των αγροτικών παραπροϊόντων, είναι χαμηλή. Όμως οι αναγκαίες προκατεργασίες (μηχανικές, θερμικές, με αλκάλι ή οξέα ή αλκοόλες), η απομάκρυνση ημικυτταρινών και λιγνίνης και στη συνέχεια η υδρόλυση της κυτταρίνης προς απλά σάκχαρα (με οξέα ή ένζυμα), αυξάνουν το κόστος του προς ζύμωση σακχαροδιαλύματος σε επίπεδα υψηλότερα του συνολικού κόστους αυτών που παράγονται από τις δύο προηγούμενες κατηγορίες φυτικής πρώτης ύλης. Επιπλέον μειονεκτήματα είναι ότι το σακχαροδιάλυμα που προκύπτει είναι αραιό (3-5% απλά σάκχαρα) και πρέπει προηγουμένως να συμπυκνωθεί διαφορετικά αυξάνεται το συνολικό κόστος της βιομετατροπής, και ότι κατά την χημική κατεργασία και την όξινη υδρόλυση παράγονται τοξικά για τους μικροοργανισμούς προϊόντα. Παρόλα αυτά στη στρατηγική χρήσης της βιομάζας ως πρώτης ύλης για την παραγωγή ενέργειας τα κυτταρινούχα προϊόντα κατέχουν πρωτεύουσα θέση και αυτό επειδή δεν απαιτούν ειδική καλλιέργεια, αποτελούν το σημαντικότερο παραπροϊόν του μεγαλύτερου όγκου της αγροτικής παραγωγής και δεν υπάρχει ανταγωνιστική χρήση τους στη βιομηχανία, κυρίως στη βιομηχανία τροφίμων. Στις μέρες μας η έρευνα στο πεδίο αυτό συγκεντρώνεται κυρίως στην αξιοποίηση των κυτταρινούχων υλικών.

Παρά τις όποιες βελτιώσεις στα προηγούμενα της βιομετατροπής στάδια (καλλιέργειας, συλλογής, μεταφοράς, αποθήκευσης και προκατεργασίας της βιομάζας) το κόστος της πρώτης ύλης (στη τελική μορφή των ζυμώσιμων σακχάρων) συμμετέχει σε ποσοστό 50- 70% του συνολικού κόστους παραγωγής της αιθανόλης.

### **3.1.2. Τεχνολογίες παραγωγής βιοαιθανόλης**

Η παραδοσιακή τεχνολογία παραγωγής αιθανόλης χρησιμοποιούσε αποκλειστικά τεχνικές διαλείποντος έργου. Η χαμηλή όμως παραγωγικότητα της τεχνικής διαλείποντος έργου (3g αιθανόλης / λίτρο /ώρα) αυξάνει το κόστος παραγωγής του προϊόντος. Η εφαρμογή της τεχνικής συνεχούς έργου σε αντιδραστήρες πλήρους ανάδευσης είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας, τη μείωση του κόστους παραγωγής κατά 4% περίπου και τη μείωση του ύψους της επένδυσης κατά 5,5%. Η τεχνική της συνεχούς παραγωγής βελτιώθηκε με την ανακύκλωση μέρους των παραγομένων κυττάρων στον βιοαντιδραστήρα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συνεχή φυγοκέντρηση του προϊόντος και την επιστροφή του “πυκνού” κλάσματος στον αντιδραστήρα. Ο λόγος ανακύκλωσης (ογκομετρική παροχή ρεύματος ανακύκλωσης / ογκομετρική παροχή ρεύματος τροφοδοσίας) φτάνει τη τιμή 0.5. Με τον τρόπο αυτό

επιταχύνεται σημαντικά η ζύμωση, ενώ η παραγωγικότητα της αλκοόλης με την χρησιμοποίηση της ζύμης *Saccharomyces Cerevisiae* αυξάνεται σε 75-100 g αιθανόλης / λίτρο / ώρα, ανάλογα με το υπόστρωμα και το λόγο ανακύκλωσης. Με την εφαρμογή της ίδιας τεχνικής όταν χρησιμοποιήθηκε το βακτήριο *Zygomonas mobilis* η παραγωγικότητα έφτασε τα 120 g αιθανόλης / λίτρο / ώρα. Η εφαρμογή της τεχνικής συνεχούς έργου με ανακύκλωση σε αντιδραστήρες πλήρους ανάδευσης μειώνει το κόστος παραγωγής σε σχέση με αυτό της τεχνικής διαλείποντος έργου κατά 8-9% και το κόστος επένδυσης κατά 17-29%. Στα ίδια επίπεδα κυμαίνεται και το κόστος παραγωγής όταν η ζύμωση πραγματοποιείται σε αντιδραστήρα εμβολικής ροής με ανακύκλωση ενώ μειώνεται συνεχώς το κόστος επένδυσης.

Η ζύμωση συνεχούς έργου σε αντιδραστήρες πλήρους ανάδευσης παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι λειτουργούν σε υψηλές συγκεντρώσεις αλκοόλης, όπου παρουσιάζονται φαινόμενα παρεμπόδισης με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγικότητας. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό έχει δοκιμασθεί η ζύμωση σε σειρά πολλαπλών αντιδραστήρων συνεχούς λειτουργίας με πλήρη ανάδευση. Στην περίπτωση δύο αντιδραστήρων σε σειρά ο πρώτος λειτουργεί σε μία ενδιάμεση συγκέντρωση αλκοόλης με μεγάλη ειδική ταχύτητα παραγωγής και ο δεύτερος στην τελική συγκέντρωση της αιθανόλης. Αν και με την χρησιμοποίηση αντιδραστήρων σε σειρά μειώνεται ο όγκος των βιοαντιδραστήρων και αυξάνεται η παραγωγικότητα, εντούτοις το κόστος παραγωγής μειώνεται ελάχιστα. Στη λογική της συνεχούς παραγωγής σε πολλαπλούς αντιδραστήρες σε σειρά δοκιμάστηκε και η παραγωγή σε στήλη χωρισμένη σε πολλούς ορόφους, σχεδιασμένη κατάλληλα, ώστε να επιτρέπεται η ροή του σακχαροδιαλύματος από όροφο σε όροφο, αλλά όχι της ζύμης. Το κόστος παραγωγής σε στήλη τεσσάρων ορόφων αυξάνεται λίγο αλλά μειώνεται το ύψος της επένδυσης.

Σε εξέλιξη βρίσκεται στις μέρες μας και η τεχνική αλκοολικής ζύμωσης σε στήλες ακινητοποιημένων κυττάρων. Η τεχνική αυτή έχει δοκιμασθεί με επιτυχία σε εργαστηριακή κλίμακα και πιλοτικές μονάδες. Με τη χρήση στήλης ακινητοποιημένων κυττάρων υπολογίζεται περαιτέρω μείωση του κόστους παραγωγής. Όμως παρουσιάζονται ακόμη σημαντικά τεχνικά προβλήματα για την μεταφορά της διαδικασίας αυτής σε βιομηχανικό επίπεδο. Στη περίπτωση που τα κύτταρα του μικροοργανισμού ακινητοποιούνται επιφανειακά στο αδρανές υλικό-φορέα δημιουργούνται προβλήματα αποκόλλησης και επομένως σταθερότητας και ελέγχου της λειτουργίας. Όταν τα κύτταρα παγιδεύονται στους πόρους του φορέα ή στο

εσωτερικό υλικών που επιτρέπουν τη μεταφορά υποστρώματος και αιθανόλης, παρουσιάζονται προβλήματα στη μεταφορά μάζας τόσο του υποστρώματος και της αιθανόλης όσο και του παραγόμενου CO<sub>2</sub>.

Σημαντικός παράγοντας στη διαμόρφωση του κόστους παραγωγής βιοαιθανόλης είναι η συγκέντρωση του υποστρώματος (σακχάρων) καθώς και η συγκέντρωση του παραγόμενου προϊόντος. Η συγκέντρωση των σακχάρων στον βιοαντιδραστήρα επιδρά στο κόστος της ζύμωσης επειδή από αυτή εξαρτάται η παραγωγικότητα της διεργασίας, οι όγκοι των αντιδραστήρων -επομένως το ύψος της επένδυσης- και τα λειτουργικά έξοδα (αποστειρώσεις, διαχωρισμοί, κλπ). Η συγκέντρωση της αιθανόλης εξαρτάται άμεσα με αυτή των σακχάρων και επιδρά με δύο τρόπους στο κόστος παραγωγής. Αύξηση της αιθανόλης πάνω από 6-7% κ.β. δημιουργεί φαινόμενα επιβράδυνσης της ζύμωσης με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγικότητας. Για τη ζύμη *Saccharomyces Cerevisiae* η μέγιστη παραγωγικότητα επιτυγχάνεται σε αρχική συγκέντρωση αιθανόλης περίπου 10% κ.β. και συνεπώς τελική συγκέντρωση αιθανόλης περίπου 5% κ.β. Συγχρόνως όμως όσο αραιότερο είναι το τελικό προϊόν σε αιθανόλη τόσο υψηλότερο είναι το κόστος διαχωρισμού της (συνήθως με απόσταξη). Από την άποψη του συνολικού κόστους του τελικού προϊόντος (αιθανόλη 95%) οι άριστες συνθήκες λειτουργίας είναι 15-16% κ.β. αρχικής συγκέντρωσης σακχάρων.

Στη περίπτωση των σακχαρούχων φυτών είναι εύκολο με κατάλληλες συνθήκες εκχύλισης να επιτευχθεί αρχική συγκέντρωση σακχαροδιαλύματος 15-16% κ.β.. Όταν όμως η πρώτη ύλη είναι λιγνοκυτταρινούχα υλικά, τότε η συγκέντρωση των σακχάρων μετά την υδρόλυση (όξινη ή ενζυμική) είναι 3-4% κ.β.. Το κόστος της συμπύκνωσης του υδρολύματος επιβαρύνει σημαντικά το κόστος της πρώτης ύλης και κατά συνέπεια το συνολικό κόστος παραγωγής.

Αύξηση της παραγωγικότητας επιτυγχάνεται και με τη συνεχή απομάκρυνση της αιθανόλης κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Τεχνική συνεχούς απομάκρυνσης της αλκοόλης έχει εφαρμοστεί με τη δημιουργία κενού, ενώ σε πειραματικό στάδιο βρίσκονται άλλες τεχνικές εκχύλισης ή επιλεκτικών μεμβρανών. Υπολογίζεται ότι με την τεχνική της συνεχούς απομάκρυνσης της αιθανόλης υπό κενό το κόστος παραγωγής μειώνεται κατά 4-6% περίπου.

### 3.1.3. Διαχωρισμός της αιθανόλης

Οι διεργασίες διαχωρισμού της αλκοόλης (95% κ.ό.) και στη συνέχεια αφυδάτωσης του προϊόντος (99.5% κ.ό.), αποτελούν τα πλέον δαπανηρά σε ενέργεια στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Με τη χρήση των παραδοσιακών μεθόδων απόσταξης το



συνολικό ισοζύγιο ενέργειας για την παραγωγή της αιθανόλης είναι αρνητικό αν συνυπολογισθούν και τα καταναλισκόμενα ποσά ενέργειας για την καλλιέργεια, συγκομιδή, μεταφορά και προκατεργασία της πρώτης ύλης. Στη στρατηγική χρήσης της βιομάζας ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας με τη βιομετατροπή της σε αιθανόλη το ισοζύγιο αυτό πρέπει να είναι θετικό. Με τη χρήση νέων αριστοποιημένων τεχνικών απόσταξης σε πολλαπλούς αποστακτήρες (HOECST) και τη συμπύκνωση σε κενό (ALFA LAVAL) επιτεύχθηκε 50-60% εξοικονόμηση ενέργειας.

Όπως προαναφέρθηκε για να παραμείνει η αιθανόλη στον αντιδραστήρα σε χαμηλές συγκεντρώσεις (μικρότερες από 4-5% κ.β.) εφαρμόζονται τεχνικές απομάκρυνσής της κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Η πλέον επιτυχημένη τεχνική είναι η απομάκρυνση με την εφαρμογή κενού. Επειδή η εφαρμογή κενού στον αντιδραστήρα θα είχε σαν αποτέλεσμα την ταυτόχρονη απομάκρυνση και μεγάλων όγκων CO<sub>2</sub> (5 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> / kg αιθανόλης), οπότε αυξάνει σημαντικά το ενεργειακό κόστος (λειτουργία αντλιών), δοκιμάστηκαν με επιτυχία νέες τροποποιημένες τεχνικές. Μέρος του υγρού της ζύμωσης οδηγείται συνεχώς σε παράλληλο δοχείο, όπου με την εφαρμογή χαμηλής πίεσης διαχωρίζεται η αιθανόλη και στη συνέχεια ανακυκλώνεται στο βιοαντιδραστήρα. Η εκλεκτική απομάκρυνση της αιθανόλης με τη χρήση μεμβρανών που επιτρέπουν την ταχύτερη διέλευση της αιθανόλης από το νερό βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο, από την άλλη η χρήση διαλυτών για την εκχύλιση της αιθανόλης κατά τη διάρκεια της ζύμωσης δεν έχει δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, αφού οι καλύτεροι διαλύτες της αιθανόλης παρουσιάζουν έστω και μικρή διαλυτότητα στο νερό με τοξικές επιπτώσεις στους μικροοργανισμούς. Σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας έχει επιτευχθεί και στη διεργασία αφυδάτωσης της αλκοόλης (από 95% σε 99.5% κ.ό.) με την χρήση νέων τεχνικών (π.χ. μοριακών κόσκινων) αντί της παραδοσιακής μεθόδου αφυδάτωσης με βενζόλιο ή κυκλοεξάνιο.

Με την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών το συνολικό ισοζύγιο ενέργειας για την παραγωγή της αιθανόλης είναι πλέον θετικό. Ο λόγος της ενέργειας που περιέχεται ανά λίτρο άνυδρης αιθανόλης 99.5% κ.ό. ( 5170 Kcal/Lt) ως προς την συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια για την παραγωγή της (συμπεριλαμβανομένων όλων των σταδίων παραγωγής από την καλλιέργεια μέχρι τον τελικό διαχωρισμό και αφυδάτωση) κυμαίνεται από 1.25 έως 5, ανάλογα με την πρώτη ύλη, το τεχνολογικό επίπεδο και την ενεργειακή αξιοποίηση αποβλήτων και παραπροϊόντων.

### 3.1.4. Προβλήματα Αποβλήτων κι Αξιοποίηση Παραπροϊόντων

Ο όγκος και η φύση των παραπροϊόντων κι αποβλήτων από την βιομετατροπή της βιομάζας σε αιθανόλη εξαρτάται από το είδος της φυτικής πρώτης ύλης. Η αξιοποίηση των παραπροϊόντων και των αποβλήτων γίνεται είτε ενεργειακά, ώστε να αυξηθεί το ενεργειακό ισοζύγιο, είτε με την παραγωγή νέων εμπορεύσιμων προϊόντων ώστε να βελτιωθεί η οικονομική απόδοση της όλης διαδικασίας. Και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να ικανοποιείται η ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος, στόχος που ενυπάρχει στην όλη στρατηγική εκμετάλλευσης της βιομάζας.

Το σημαντικότερο περιβαλλοντολογικό πρόβλημα προέρχεται από τα απόβλητα που παράγονται κατά τη διεργασία της απόσταξης τα οποία περιέχουν ρυπαντικό φορτίο της τάξης μερικών χιλιάδων BOD. Ανάλογα με τη σύσταση τους τα απόβλητα αυτά συμπυκνώνονται και χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφές και λίπασμα. Τεχνικές αναερόβιας χώνευσης έχουν ήδη αναπτυχθεί και το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών της εγκατάστασης βελτιώνοντας σημαντικά το ισοζύγιο. Τα στερεά απόβλητα συνήθως χρησιμοποιούνται και αυτά σαν καύσιμα. Με την ενεργειακή αξιοποίηση των παραπροϊόντων και των αποβλήτων η ενεργειακή απόδοση της διεργασίας (παραγόμενη ενέργεια / καταναλισκόμενη σε όλες τις φάσεις ενέργεια) κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5. Χαρακτηριστικά αναφέρονται μονάδες που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη μελάσα, σακχαροκάλαμο και γλυκύ σόργο, που λειτουργούν αυτοδύναμα ενεργειακά αξιοποιώντας τα παραπροϊόντα και τα απόβλητα.

Εκτός από τα υγρά και στερεά απόβλητα, κατά την διάρκεια της βιομετατροπής παράγονται μεγάλες ποσότητες CO<sub>2</sub> το οποίο σε ορισμένες βιομηχανικές μονάδες συμπιέζεται και διατίθεται στο εμπόριο σε στερεά ή υγρή μορφή.

Στην περίπτωση των λιγνοκυτταρινούχων υλικών στην διάρκεια των χημικών προκατεργασιών παράγονται ως παραπροϊόντα λιγνίνη, ημικυτταρίνες καθώς και φουρφουράλη και υδρόξυμεθυλ-φουρφουράλη, προϊόντα αποικοδόμησης των πεντοζών και των εξοζών αντίστοιχα. Η λιγνίνη που παράγεται σε ίση ποσότητα με την αιθανόλη αξιοποιείται μερικά στη χημική βιομηχανία, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις καίγεται. Για τις ημικυτταρίνες η λύση φαίνεται να είναι η ζυμωτική τους αξιοποίηση με την χρησιμοποίηση μικροοργανισμών, που τις υδρολύουν με συστήματα ημικυτταρινασών και στη συνέχεια ζυμώνουν τις παραγόμενες πεντόζες προς αλκοόλη. Τα προϊόντα αποικοδόμησης των σακχάρων βρίσκουν μερική αξιοποίηση στη χημική βιομηχανία αλλά η προσπάθεια στρέφεται στην επιλογή κατάλληλων συνδυασμών



φυσικών και χημικών προκατεργασιών και ενζυμικής υδρόλυσης, ώστε να ελαχιστοποιείται η παραγωγή των τοξικών αυτών παραπροϊόντων.

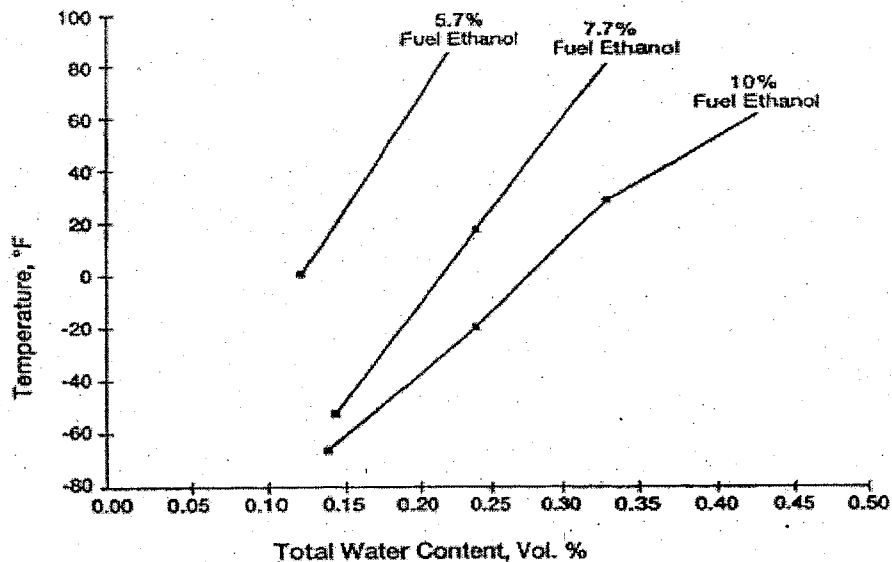
### **3.2. Ιδιότητες Αιθανόλης κι Επίδραση της σε Μίγματα Αιθανόλης-Βενζίνης**

Πολλές ιδιότητες της αιθανόλης παρουσιάζουν διαφορές με εκείνες της βενζίνης. Για αυτό το λόγο απαιτούνται ιδιαίτερες διαδικασίες για την χρησιμοποίησή της, μπορεί να χρειαστούν κάποιες αλλαγές στην βενζίνη στην οποία θα προστεθεί και δημιουργούν προβληματισμούς στους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Οι πιο σημαντικές από αυτές τις ιδιότητες περιγράφονται στη συνέχεια.

#### **3.2.1. Επίδραση Νερού σε Αιθανόλη**

Η αιθανόλη απορροφά την υγρασία και είναι πλήρως διαλυτή στο νερό. Η ιδιότητά της αυτή δημιουργεί προβλήματα στη μεταφορά μέσω σωληνώσεων αιθανόλης ή μίγματός της με βενζίνη. Αν η αιθανόλη έρθει σε επαφή με νερό στις σωλίνες μπορεί να προκληθεί διαχωρισμός φάσεων με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να είναι εκτός προδιαγραφών και πολύ πιθανόν και μόλυνση άλλων προϊόντων που θα έρθουν σε επαφή με την αιθανόλη. Ο διαχωρισμός δίνει μία κάτω στοιβάδα πλούσια σε αιθανόλη και μία πάνω στοιβάδα που αποτελείται μόνο από την βενζίνη. Τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα αυτού του διαχωρισμού είναι μείωση του αριθμού οκτανίου της βενζίνης και ο σχηματισμός μίγματος αιθανόλης-νερού χαμηλότερης πυκνότητας από την βενζίνη που εισέρχεται ευκολότερα στην δεξαμενή καυσίμου του οχήματος και μπορεί να τροφοδοτηθεί στον κινητήρα σταματώντας την λειτουργία του. Για αυτό το λόγο μεταφέρεται στο τελικό σημείο προορισμού με άλλα μέσα μεταφοράς και η ανάμειξή της με την βενζίνη γίνεται κατευθείαν στο φορτηγό που θα μεταφέρει το μίγμα στο εμπόριο. Το μέγιστο ποσό νερού που μπορεί να περιέχει ένα μίγμα βενζίνης-αιθανόλης χωρίς να προκληθεί διαχωρισμός φάσεων φαίνεται στο διάγραμμα 3.1.

Κατά την αποθήκευσή του μίγματος στα πρατήρια καυσίμων πρέπει πρώτα να απομακρύνεται η υγρασία από τις δεξαμενές καυσίμων. Όταν γίνει η απομάκρυνση αυτή το νερό δεν είναι πλέον πρόβλημα. Αυτό συμβαίνει γιατί η αιθανόλη που περιέχεται στο μίγμα απομακρύνει κάθε ίχνος υγρασίας από το σύστημα.



**Διάγραμμα 3.1. Ανοχή νερού σε μίγματα βενζίνης-αιθανόλης**

Διαχωρισμός φάσεων σε όχημα μπορεί να συμβεί πολύ σπάνια. Όταν συμβαίνει οφείλεται συνήθως στην παρουσία νερού στο ντεπόζιτο.

Επίσης είναι πολύ δύσκολο το μίγμα να απορροφήσει αρκετή υγρασία από την ατμόσφαιρα ώστε να προκληθεί διαχωρισμός. Για να γίνει κάτι τέτοιο σε ατμόσφαιρα σχετικής υγρασίας 70% χρειάζονται εκατοντάδες μέρες.

Η διαλυτότητα της αιθανόλης στο νερό βλέπουμε ότι επιβάλλει ιδιαίτερη προσοχή στην χρήση της. Ευτυχώς όμως υπάρχουν πλέον οι κατάλληλες διαδικασίες που εξουδετερώνουν αυτό το πρόβλημα και κάνουν την αιθανόλη εμπορικά βιώσιμη.

### 3.2.2. Επίδραση της Αιθανόλης στην Αντικροτική Ικανότητα της Βενζίνης

Ένας από τους κύριους λόγους της προσθήκης αιθανόλης στην βενζίνη είναι η ικανότητά της να αυξάνει τον αριθμό οκτανίων της βενζίνης. Αυτό επιτυγχάνεται αυξάνοντας κυρίως τον αριθμό RON και σε μικρότερο ποσοστό τον αριθμό MON. Η διαφορά αυτή στο ποσοστό αύξησης των δύο αριθμών οδηγεί στην ανεπιθύμητη αύξηση της ευαισθησίας της βενζίνης. Έτσι, ενώ δύο καύσιμα έχουν τον ίδιο αριθμό RON μπορεί να μην έχουν την ίδια αντικροτική ικανότητα καθώς δεν υπολογίζουμε την ευαισθησία της βενζίνης που πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.



### 3.2.3. Θερμικό περιεχόμενο

Η αιθανόλη περιέχει λιγότερη ενέργεια από την βενζίνη. Το θερμικό περιεχόμενο της βενζίνης έχει μέση τιμή 31,2 MJ/l. Η αντίστοιχη τιμή της αιθανόλης είναι 21,2 MJ/l δηλαδή περιέχει 32,1% λιγότερη ενέργεια. Σε ένα μίγμα 5% αιθανόλης σε βενζίνη θα έχουμε μείωση του θερμικού περιεχομένου κατά 1,61%. Η μειωμένη αυτή οικονομία αντισταθμίζεται από τον αυξημένο βαθμό απόδοσης λόγω καύσης σε περιοχή φτωχότερου μίγματος και από την αυξημένη πυκνότητα ανάμειξης των οξυγονούχων συστατικών.

### 3.2.4. Συμβατότητα με άλλα Υλικά

Το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου των οχημάτων αποτελείται από διάφορα υλικά που μπορούμε γενικά να τα κατηγοριοποιήσουμε σε μέταλλα, ελαστομερή και σύνθετα. Τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι κράματα αλουμινίου ή μαγνησίου, χαλκός, ψευδάργυρος κι ατσάλι. Τα ελαστομερή είναι γενικά μαλακά, λαστιχένια μίγματα όπως τα φθοροελαστομερή. Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από δύο ή περισσότερα υλικά που συνδέονται μεταξύ τους ή επιστρώνεται το ένα στο άλλο συνδυάζοντας με αυτό τον τρόπο τις ιδιότητες των υλικών αυτών. Τέτοια υλικά βρίσκουμε σε πολυστρωματικές δεξαμενές συνεκβολής και σε πολυστρωματικούς σωλήνες όπου στο εξωτερικό στρώμα έχουμε ακρυλικό ελαστομερές, στο μεσαίο στρώμα ίνες άνθρακα και στο εσωτερικό φθοροελαστομερή.

Συμβατότητα είναι η ικανότητα ενός υλικού να διατηρεί όλες ή τις περισσότερες ιδιότητες του όταν έρχεται σε επαφή με μία συγκεκριμένη ουσία. Για παράδειγμα, αν ένας σωλήνας από φθοροελαστομερές δοκιμαζόταν με μίγμα βενζίνης-αιθανόλης και διατηρούσε τις ιδιότητές του σε αρκετό βαθμό ώστε να επιτυγχάνει τον σκοπό του θα λέγαμε ότι είναι συμβατός για χρήση με το συγκεκριμένο καύσιμο. Οι αλλαγές που γίνανε στην σύνθεση της βενζίνης επέφεραν και αλλαγές στα υλικά του συστήματος τροφοδοσίας ώστε να είναι αυτά συμβατά. Επίσης νέα υλικά χρησιμοποιήθηκαν ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές εξάτμισης.

Το 1985 οι αυτοκινητοβιομηχανίες άρχισαν να χρησιμοποιούν συστήματα ψεκασμού καυσίμου. Τα ελαστομερή τμήματα αυτών των συστημάτων φτιάχνονται κυρίως από φθοροελαστομερή που είναι συμβατά με την αιθανόλη, τις βενζίνες με

υψηλό ποσοστό αρωματικών και με άλλα οξυγονούχα συστατικά. Γενικά, τα περισσότερα υλικά είναι συμβατά με τις σημερινές συστάσεις των βενζινών.

Παρομοίως, δεν υπάρχουν προβλήματα συμβατότητας με τα χρησιμοποιούμενα μέταλλα. Αυτό συμβαίνει υπό την προϋπόθεση ότι η περιεκτικότητα αιθανόλης στην βενζίνη δεν υπερβαίνει το 10% κ.ό. κι ότι ο βαθμός διάβρωσης του μίγματος είναι συγκρίσιμος με εκείνον των βενζινών.

### **3.2.5. Διαπερατότητα**

Η αιθανόλη προκαλεί αύξηση του ποσοστού διαπερατότητας πολλών ελαστομερών υλικών. Αυτό συμβαίνει γιατί η αιθανόλη είναι πολική ένωση όπως πολλά ελαστομερή και πλαστικά (π.χ. νάιλον). Επίσης, το μόριο της αιθανόλης είναι μικρότερο από εκείνο των τυπικών υδρογονανθράκων προκαλώντας έτσι αύξηση της διαπερατότητας.

### **3.2.6. Επίδραση της Αιθανόλης στην Τάση ατμών της Βενζίνης**

Η τάση ατμών της αιθανόλης είναι μόνο 15,86 KPa. Όταν όμως η αιθανόλη προστίθεται στην βενζίνη σε μικρό ποσοστό σχηματίζει αζεότροπα με τους ελαφρούς υδρογονάνθρακες της βενζίνης και το μίγμα που δημιουργείται έχει μεγαλύτερη τάση ατμών κι από τα δύο αρχικά υγρά. Η ακριβής αύξηση εξαρτάται από την τάση ατμών και την σύνθεση της αρχικής βενζίνης. Στις βενζίνες που περιέχονται λιγότερα αρωματικά έχουμε ελαφρώς μεγαλύτερη αύξηση. Η αύξηση αυτή μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα την καλοκαιρινή περίοδο κυρίως όπου η βενζίνη πρέπει να έχει μικρότερη τάση ατμών. Σαν αποτέλεσμα, ίσως χρειαστεί να αφαιρεθεί από την σύστασή της βουτάνιο ή πεντάνιο αυξάνοντας το κόστος του μίγματος. Προσπάθειες έχουν γίνει ώστε να βρεθεί πρόσθετο ικανό να μειώσει ή να εξουδετερώσει την αύξηση της τάσης ατμών κατά την προσθήκη αιθανόλης. Κανένα όμως δεν έχει βρεθεί ακόμα που να είναι αποτελεσματικό σε χαμηλές συγκεντρώσεις, κυρίως κάτω από 1% κ.ό..

### **3.2.7. Επίδραση της Αιθανόλης στην Καμπύλη Απόσταξης**

Όταν προστίθεται αιθανόλη στην βενζίνη μεταβάλλεται η καμπύλη απόσταξης και ειδικά μειώνεται η  $T_{50}$ , η θερμοκρασία όπου επιτυγχάνεται ανάκτηση κατά 50% κ.ό.. Αν η  $T_{50}$  της καθαρής βενζίνης είναι ήδη χαμηλή, η προσθήκη της αιθανόλης μπορεί να μειώσει την  $T_{50}$  τόσο πολύ ώστε το τελικό μίγμα να είναι εκτός προδιαγραφών.

### 3.2.8. Επίδραση της Αιθανόλης στον Λόγο Ατμών-Υγρού

Καθώς η αιθανόλη έχει χαμηλότερο σημείο ζέσεως από τα περισσότερα συστατικά της βενζίνης προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας στην οποία επιτυγχάνεται ο μέγιστος λόγος ατμών-υγρού 20:1. Η μείωση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης ατμόφραξης.

### 3.3. Επίδραση της Αιθανόλης στο Περιβάλλον

Η προσθήκη της αιθανόλης στην βενζίνη προκαλεί μεταβολή στην εκπομπή καυσαερίων και μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η επίδραση αυτή περιγράφεται με λεπτομέρειες στην συνέχεια.

#### 3.3.1. Καυσαέρια

Οι μεταβολές στην εκπομπή των καυσαερίων με την προσθήκη της αιθανόλης στην βενζίνη παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΡΗΠΟΙ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ
Ακεταλδεϋδη	Αύξηση
Βενζόλιο	Μείωση
1,3-Βουταδιένιο	Μείωση
Φορμαλδεϋδη	Αύξηση
CO	Μείωση
NO <sub>x</sub>	Αύξηση
Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOC) Προερχόμενες από Καύση	Μείωση
Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOC) Προερχόμενες από Εξάτμιση	Αύξηση
Ολικές Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOC)	Αύξηση
Σωματίδια	Μείωση
Peroxyacetyl nitrate (PAN)	Αύξηση
Ισοβουτένιο	Μείωση
Τολουόλιο	Μείωση
Ευλόλιο	Μείωση

Πίνακας 3.1. Μεταβολή Εκπομπής Ρίπων



Παρατηρούμε ότι η προσθήκη αιθανόλης στην βενζίνη μειώνει τις πτητικές οργανικές ενώσεις που απελευθερώνονται μετά την καύση. Όμως, η ολική εκπομπή VOC αυξάνεται καθώς η μείωση που αναφέραμε είναι αποτέλεσμα της αύξησης της εκπομπής VOC λόγω εξάτμισης που οφείλεται στην άνοδο της τάσης ατμών κατά την προσθήκη της αιθανόλης. Η μείωση στην εκπομπή CO και NO<sub>x</sub> οφείλεται στο προστιθέμενο οξυγόνο. Η μεγάλη αύξηση που παρουσιάζεται στην εκπομπή ακεταλδεϋδης δεν είναι σημαντική συγκρινόμενη με τους άλλους τοξικούς ρίπους. Η μείωση στις άλλες εκπομπές, όπως στο βενζόλιο, βουταδιένιο, τολουόλιο και ξυλόλιο οφείλεται κυρίως στην αραίωση της βενζίνης.

### 3.3.2. Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας προκαλεί αυξανόμενη ανησυχία στην παγκόσμια κοινότητα. Η καύση απέραντων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων που πραγματοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών έχει απελευθερώσει τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Αυτό το εκτενές στρώμα διοξειδίου του άνθρακα παγιδεύει την θερμότητα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας όπως ένα θερμοκήπιο. Περίπου το 35% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται για ενεργειακή χρήση στις ΗΠΑ οφείλεται στον τομέα μεταφορών.

Υπάρχουν κι άλλα αέρια εκτός του CO<sub>2</sub> που προκαλούν την θέρμανση του πλανήτη. Τα κυριότερα είναι CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O, που δεν προκαλούν μόλυνση του αέρα, και CO, VOC και NO<sub>x</sub>, που προκαλούν μόλυνση.

Η αιθανόλη που παράγεται από καλαμπόκι ή κυτταρίνη δημιουργεί λιγότερα αέρια θερμοκηπίου (GreenHouse Gases) από την βενζίνη. Η βιοαιθανόλη μειώνει τις εκπομπές άνθρακα στην ατμόσφαιρα καθώς το CO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται κατά την διάρκεια της καύσης προέρχεται από το CO<sub>2</sub> που απορροφούν τα φυτά-πρώτες ύλες από το περιβάλλον κατά την ανάπτυξή τους. Η μείωση της εκπομπής αερίων θερμοκηπίου (GHG) από αιθανόλη προερχόμενη από καλαμπόκι είναι μέτρια. Η χρήση όμως της αιθανόλης από κυτταρίνη μπορεί να απελευθερώσει μηδαμινές ποσότητες GHG καθώς κατά την διαδικασία μετατροπής της βιομάζας σε αιθανόλη γίνεται εκτεταμένη χρήση ανανεώσιμης ενέργειας.

Για να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε σωστά το ποσό του άνθρακα που απελευθερώνεται με την χρήση ενός συγκεκριμένου καυσίμου πρέπει να λάβουμε

υπόψη μας ολόκληρο τον κύκλο του καυσίμου. Για την βιοαιθανόλη ο κύκλος περιλαμβάνει την παραγωγή της πρώτης ύλης, τη μετατροπή της αιθανόλης, τη μεταφορά της πρώτης ύλης και της αιθανόλης και την καύση του καυσίμου. Η βιοαιθανόλη είναι ανανεώσιμο καύσιμο και ο άνθρακας που απελευθερώνεται κατά την καύση του καυσίμου προέρχεται από την βιόσφαιρα κατά την διάρκεια της ανάπτυξης του φυτού- πρώτης ύλης. Σαν αποτέλεσμα, η καύση της βιοαιθανόλης που πραγματοποιείται στα οχήματα δεν αυξάνει το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα. Όμως, τόσο η γεωργική παραγωγή όσο και η μετατροπή της αιθανόλης παράγουν αέρια θερμοκηπίου.

Μία σημαντική διαφορά μεταξύ της μετατροπής αιθανόλης από κυτταρίνη κι από καλαμπόκι είναι η πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν. Η παραγωγή αιθανόλης από καλαμπόκι εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από ορυκτές πηγές. Στην παραγωγή αιθανόλης από κυτταρίνη για την παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιείται η λιγνίνη που βρίσκεται μέσα στα φυτά. Επειδή οι περισσότερες ενεργειακές απαιτήσεις που σχετίζονται με την κυτταρινική αιθανόλη ικανοποιούνται με την χρήση ανανεώσιμων πηγών, η διαδικασία μετατροπής παράγει μηδενικές ποσότητες CO<sub>2</sub>.

Η διαδικασία παραγωγής αιθανόλης προσφέρει κι άλλα προϊόντα εκτός από αιθανόλη. Η κυτταρινική αιθανόλη παράγει ηλεκτρική ενέργεια ενώ η αιθανόλη καλαμποκιού ζωοτροφές, σιρόπι καλαμποκιού και γλυκαντικά κι αντικαθιστούν άλλες μεθόδους παραγωγής στις οποίες έχουμε απελευθέρωση CO<sub>2</sub>.

### **3.4. Οικονομική Ανάλυση της Παραγωγής Βιοαιθανόλης**

Διάφοροι περιοριστικοί παράγοντες, που δεν έχουν σχέση με την σημερινή τεχνολογία, είχαν σταματήσει μέχρι πρότινος την ανάπτυξη της βιομηχανίας βιοαιθανόλης. Οι παράγοντες αυτοί είναι η τιμή της πρώτης ύλης, το κόστος παραγωγής της αιθανόλης, η τιμή του πετρελαίου και η φορολογία των ενεργειακών προϊόντων. Αν και η τεχνολογία παραγωγής ενέργειας από γεωργικά προϊόντα βελτιώνεται γρήγορα, το κόστος παραγωγής δεν μπορεί να συναγωνιστεί εκείνο των ορυκτών καυσίμων. Η σύγκριση του κόστους και των τιμών που θα γίνει μεταξύ βιοαιθανόλης και βενζίνης θα γίνει περιλαμβάνοντας έναν ακόμα παράγοντα, το θερμικό τους περιεχόμενο. Η μέση τιμή για την βενζίνη είναι 31,2 MJ/l και 21,2 MJ/l για την βιοαιθανόλη οπότε 1 l βενζίνης μας προσφέρει την ενέργεια 1,472 l βιοαιθανόλης.



### 3.4.1. Κόστος Πρώτων Υλών

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της βιοαιθανόλης είναι η δυνατότητα παραγωγής της από διάφορους τύπους γεωργικών προϊόντων, με τα περισσότερα να καλλιεργούνται ήδη. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η τεχνολογία της παραγωγής, της συγκομιδής, της ξήρανσης και της αποθήκευσης είναι ήδη διαθέσιμη.

Η παρακάτω οικονομική ανάλυση βασίζεται σε δύο κύριες πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την παραγωγή βιοαιθανόλης, στα σιτηρά και στα ζαχαρότευτλα. Επίσης, λόγω της δυνατότητάς τους να χρησιμοποιούνται εναλλακτικά για τη μείωση του κόστους παραγωγής της βιοαιθανόλης, θα δίνονται και πληροφορίες για τις λιγνοκυτταρινικές πρώτες ύλες όπως άχυρο, γρασίδι και ξύλο.

#### Κόστος σιτηρών

Μετά από μία πενταετή περίοδο χαμηλών τιμών των δημητριακών το 1999 η τιμή του σιταριού ανέκαμψε ελαφρά κι έφτασε στην Ευρωπαϊκή Ένωση την μέση τιμή των 120 €/t. Με βάση αυτή την τιμή και για απόδοση 350 l βιοαιθανόλης/ t σιταριού το κόστος των σιτηρών ως πρώτη ύλη είναι 343 €/ 1000 l βιοαιθανόλης. Το κόστος αυτό, με την βοήθεια επιχορηγήσεων και ειδικών μέτρων, μπορεί να μειωθεί στα 220 €/ 1000 l βιοαιθανόλης.

#### Κόστος ζαχαρότευτλων

Η τιμή των ζαχαρότευτλων είναι 32,42 €/t και με απόδοση 100 l βιοαιθανόλης/ t ζαχαρότευτλων το τελικό κόστος είναι 342,2 €/ 1000 l βιοαιθανόλης.

Η τιμή όμως των ζαχαρότευτλων είναι διαπραγματεύσιμη με αποτέλεσμα οι παραγωγοί βιοαιθανόλης να αγοράζουν την πρώτη ύλη από τους γεωργούς με πολύ χαμηλότερη τιμή από την προαναφερόμενη. Μπορεί με αυτό τον τρόπο το κόστος να πέσει στα 200 €/ 1000 l βιοαιθανόλης.

Το κόστος όλων των πρώτων υλών παρουσιάζεται στον πίνακα 3.2. Βλέπουμε ότι το κόστος παραγωγής αιθανόλης εξαρτάται κατά 60% από το κόστος της πρώτης ύλης στην περίπτωση των σιτηρών και κατά 50% στην περίπτωση των ζαχαρότευτλων. Άρα η μείωση του κόστους παραγωγής βιοαιθανόλης μπορεί να επιτευχθεί κυρίως με την

μείωση των τιμών των πρώτων υλών. Ο στόχος αυτός μπορεί να επιτευχθεί βελτιώνοντας την παραγωγικότητα ή χρησιμοποιώντας χαμηλού κόστους πρώτες ύλες όπως λιγνοκυτταρινική βιομάζα.

#### Κόστος λιγνοκυτταρινικών υλικών

Η δυνατότητα παραγωγής βιοαιθανόλης από χαμηλού κόστους βιομάζα μπορεί να κάνει την βιοαιθανόλη ανταγωνιστική με την βενζίνη. Για την συγκεκριμένη οικονομική ανάλυση θα εξετάσουμε μόνο το άχυρο, το οποίο είναι σημαντικό γεωργικό απόβλητο. Το συνολικό του κόστος είναι περίπου 240 €/ 1000 l βιοαιθανόλης. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι στις αγροτικές περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης το άχυρο που παίρνουμε μετά από την συγκομιδή των δημητριακών καίγεται με αποτέλεσμα την απελευθέρωση CO<sub>2</sub> και την πρόκληση πυρκαγιών. Η χρησιμοποίησή του στην παραγωγή βιοαιθανόλης θα εξαλείψει την προηγούμενη πρακτική.

	Κόστος Πρώτης Ύλης	Κόστος Επεξεργασίας	Παραπροϊόντα	Συνολικό Κόστος Παραγωγής
Σιτάρι	343 Υψηλό 220 Χαμηλό	284	145	482 Υψηλό 359 Χαμηλό
Ζαχαρότευτλο	324 Υψηλό 200 Χαμηλό	218	3	539 Υψηλό 415 Χαμηλό
Άχυρο	240	355	38	557

**Πίνακας 3.2. Κόστος Παραγωγής Βιοαιθανόλης (€/1000 l βιοαιθανόλης)**

#### **3.4.2. Κόστος Παραγωγής Βιοαιθανόλης**

Το κόστος επεξεργασίας εξαρτάται από την κλίμακα και τον σχεδιασμό του εργοστασίου, τα εργατικά κι ενεργειακά κόστη με αποτέλεσμα οι τιμές που παρουσιάζονται σε διάφορες μελέτες να διαφέρουν σημαντικά. Το συνολικό κόστος παραγωγής ανάλογα με την πρώτη ύλη εμφανίζεται στον πίνακα 3.2.

Το κόστος παραγωγής από ζαχαρότευτλα εκμεταλλεύεται τη υπάρχουσα βιομηχανία ζάχαρης και οινοπνευματωδών ποτών με αποτέλεσμα το χαμηλότερο κόστος επεξεργασίας. Η παραγωγή βιοαιθανόλης από άχυρο δεν υλοποιείται σε βιομηχανική

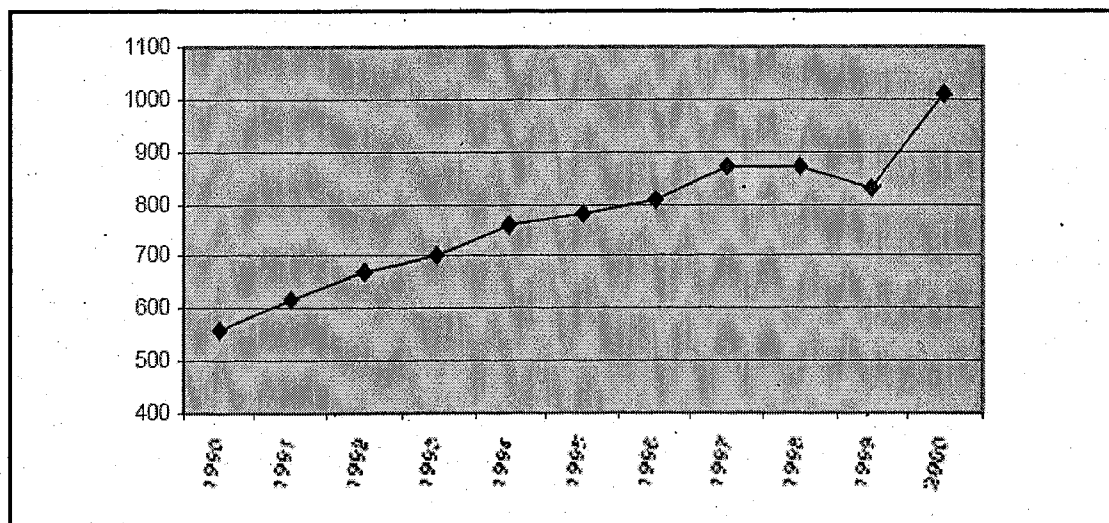
κλίμακα προς το παρόν και οι τιμές που παρουσιάζονται αναφέρονται σε πιλοτικά προγράμματα.

Στο άμεσο μέλλον, υπολογίζεται μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής, για όλες τις πρώτες ύλες, κατά 0,150 €/l.

### 3.4.3. Τιμή Πετρελαίου

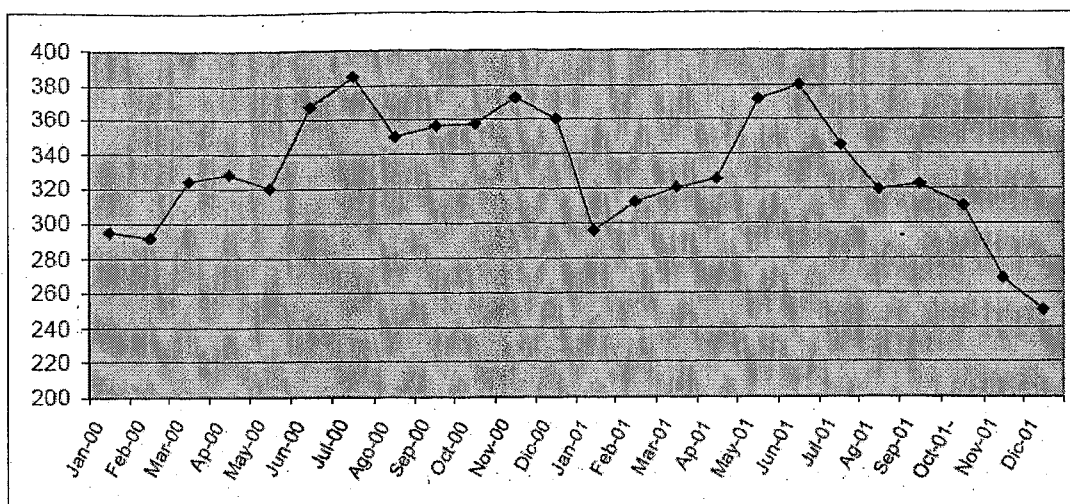
Οι χαμηλές τιμές παραγωγής του πετρελαίου, συγκρινόμενες με εκείνες της βιοαιθανόλης, είναι ο κύριος παράγοντας που εμποδίζει την ανάπτυξη της παραγωγής βιοαιθανόλης. Η αύξηση όμως των τιμών του πετρελαίου τα τελευταία χρόνια μείωσε την διαφορά αυτή, οδηγώντας στην ανάπτυξη της βιοαιθανόλης.

Η εξέλιξη των τιμών της βενζίνης του εμπορίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



Source: Eurostat

**Διάγραμμα 3.2. Τιμή Αμόλυβδης Βενζίνης 95 RON Συμπεριλαμβανομένων των Φόρων (€/1000 l)**



Source: European Commission Directorate General for Energy and Transport. Oil Bulletin

**Διάγραμμα 3.3. Τιμή Αμόλυβδης Βενζίνης 95 RON χωρίς Φόρους και Δασμούς (€/1000 l)**

Η μέση τιμή της αμόλυβδης βενζίνης 95 RON, χωρίς τους φόρους, μεταξύ των ετών 2000 και 2001 είναι 330 €/1000 l.

#### 3.4.4. Σύγκριση Τιμής Βενζίνης-Βιοαιθανόλης

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται σύγκριση του κόστους παραγωγής της βενζίνης και της βιοαιθανόλης σύμφωνα με την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται και χωρίς να υπολογίσουμε φόρους και δασμούς. Στην πρώτη στήλη έχουμε το κόστος παραγωγής 1000 λίτρων και στην δεύτερη στήλη το κόστος 1472 λίτρων βιοαιθανόλης ώστε να έχουμε την ίδια θερμότητα δύναμη με 1000 λίτρα βενζίνης. Το κόστος παραγωγής σε κάθε περίπτωση το πήραμε από τον πίνακα 3.2.

	€/1000 l	€/1000 l (Θερμικό περιεχόμενο 1000 l Βενζίνης)
Βενζίνη	330	330
Σιτάρι Υψηλού Κόστους	482	710
Σιτάρι Χαμηλού Κόστους	359	528
Ζαχαρότευτλο Υψηλού Κόστους	539	793
Ζαχαρότευτλο Χαμηλού Κόστους	415	611
Αχυρο	557	820

**Πίνακας 3.3. Κόστος Παραγωγής Βενζίνης και Βιοαιθανόλης**

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή

### 1.1. Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας

Κατά την πειραματική διαδικασία μετρήθηκαν οι ιδιότητες 8 δειγμάτων αμόλυβδης βενζίνης 95 RON καθώς και μειγμάτων τους με αιθανόλη μέχρι 5% κ.ό. Η σύστασή του κάθε δείγματος (% κ.ό.) παρουσιάζεται στον πίνακα 1.1. Οι ιδιότητες που μελετήθηκαν είναι η τάση ατμών, η απόσταξη, η σύσταση και η αντικροτική ικανότητα των δειγμάτων και των μειγμάτων τους. Τέλος, παρατηρείται αν τα αποτελέσματα ικανοποιούν τις προδιαγραφές των βενζινών της ελληνικής αγοράς που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 2.1.

Συστατικό	1	2	3	4	5	6	7	8
Reformate	35	34	33	32	20	25	25	25
FCC Gsl	36	35	35	35	40	20	30	25
Alkylate	6	6	5	5	5	10	5	10
Dimate	6	6	7	7	5	10	10	10
Isomerate	15	17	17	20	25	30	30	25
MTBE	2	2	3	1	5	5	5	5

**Πίνακας 1.1. Σύσταση Δειγμάτων**

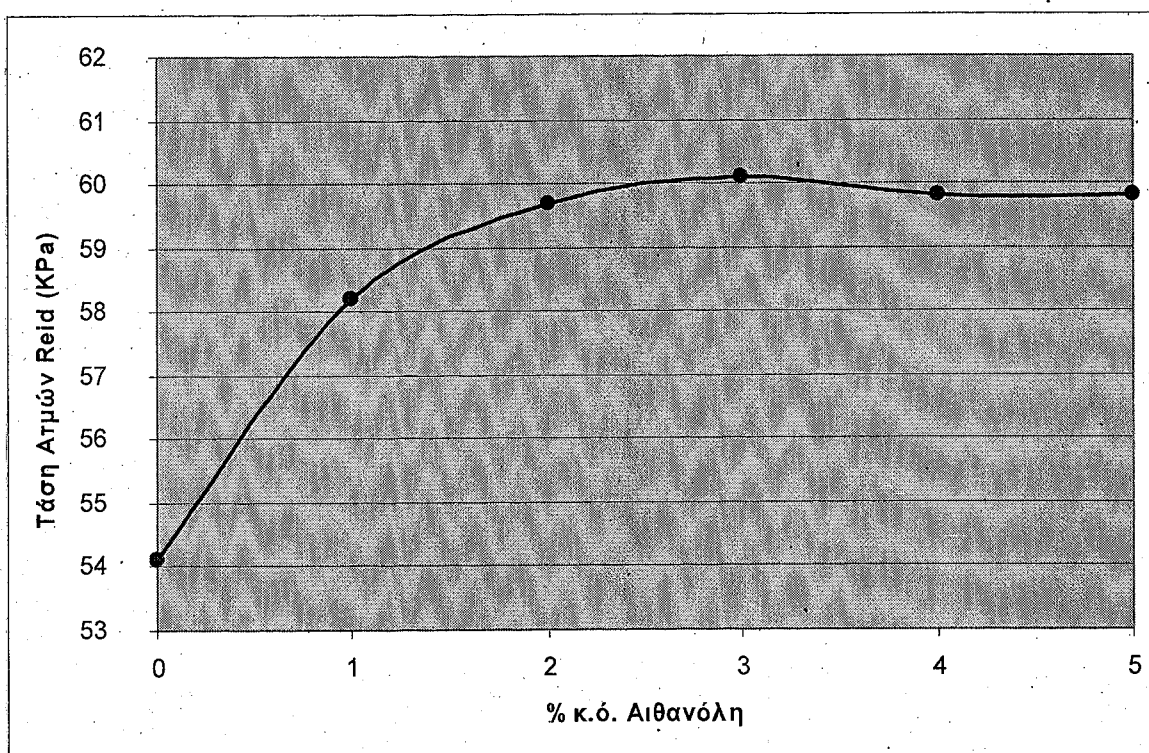
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΑΣΗ ΑΤΜΩΝ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της τάσης ατμών Reid σε KPa παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα. Με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα αποτελέσματα που είναι εκτός προδιαγραφών.

### ΔΕΙΓΜΑ 1

% κ.ό. EtOH	0	1	2	3	4	5
Τάση Ατμών	54,1	58,2	59,7	60,1	59,8	59,8

**Πίνακας 2.1. Αποτελέσματα Μετρήσεων**



**Διάγραμμα 2.1. Μεταβολή της τάσης Ατμών Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

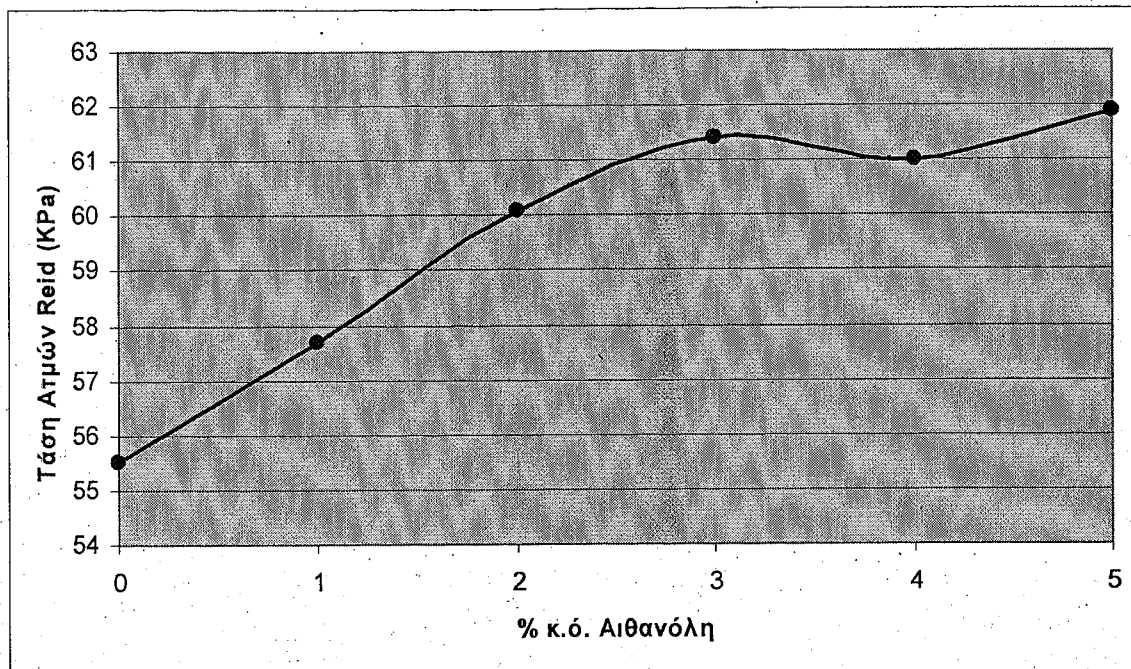
Παρατηρείται ότι για συγκέντρωση αιθανόλης από 2% κ.ό. και μεγαλύτερη η τάση ατμών βρίσκεται σε οριακό σημείο για την θερινή περίοδο. Για την χειμερινή περίοδο δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα.



ΔΕΙΓΜΑ 2

% κ.ό. EtOH	0	1	2	3	4	5
Τάση Ατμών	55,5	57,7	60,1	61,4	61,0	61,9

**Πίνακας 2.2. Αποτελέσματα Μετρήσεων**



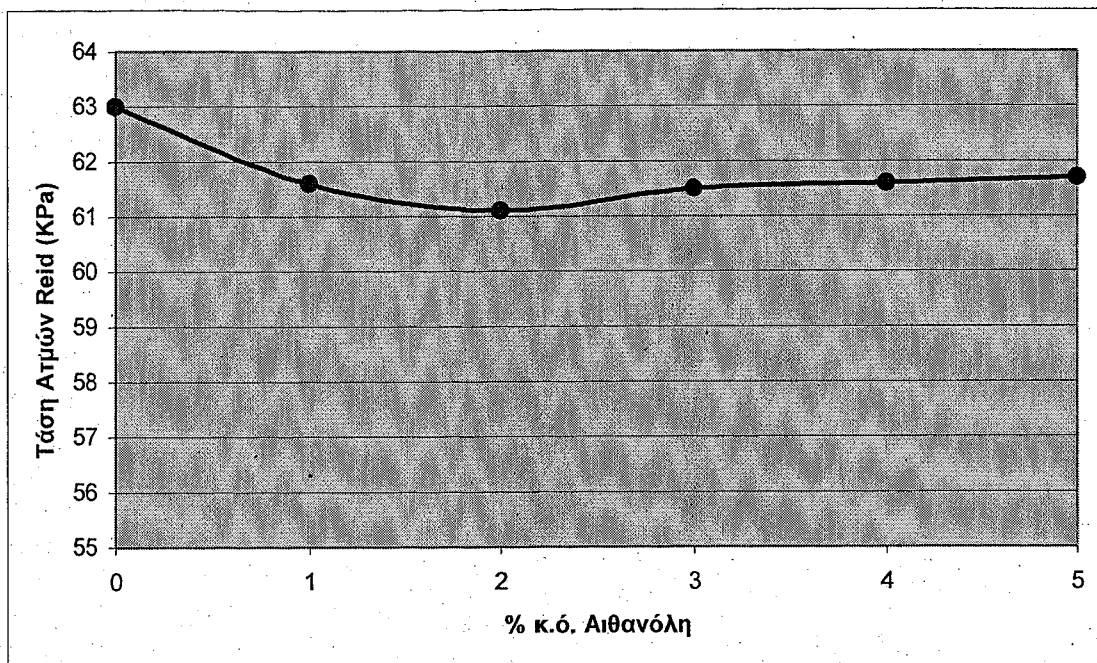
**Διάγραμμα 2.2. Μεταβολή της τάσης Ατμών Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

Παρατηρείται ότι για συγκέντρωση αιθανόλης από 2% κ.ό. και μεγαλύτερη η τάση ατμών βρίσκεται εκτός προδιαγραφών για την θερινή περίοδο. Για την χειμερινή περίοδο δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα.

### ΔΕΙΓΜΑ 3

% κ.ό. EtOH	0	1	2	3	4	5
Τάση Ατμών	63,0	61,6	61,1	61,5	61,6	61,7

Πίνακας 2.3. Αποτελέσματα Μετρήσεων



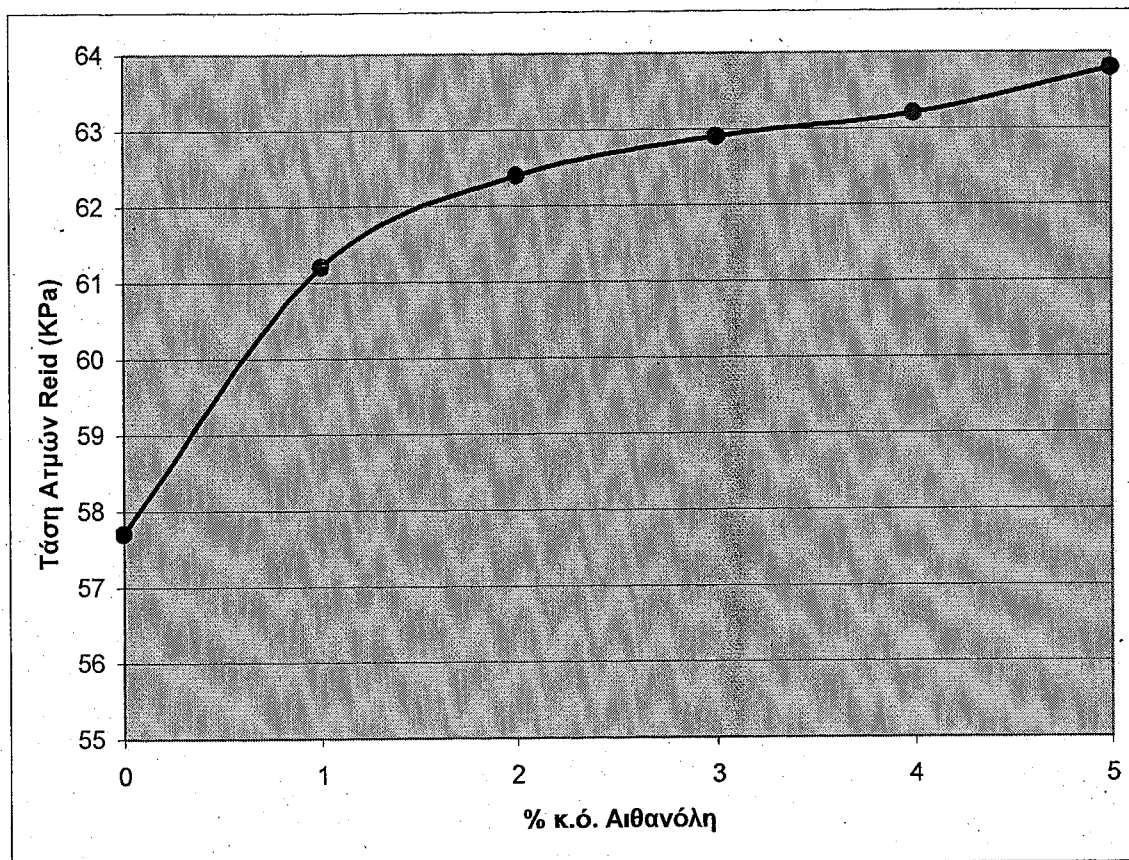
Διάγραμμα 2.3. Μεταβολή της τάσης Ατμών Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης

Παρατηρείται ότι τόσο το αρχικό δείγμα όσο και τα μείγματά του είναι εκτός προδιαγραφών για την θερινή περίοδο. Για την χειμερινή περίοδο δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα. Επίσης, είναι το μοναδικό δείγμα που η προσθήκη αιθανόλης προκαλεί μείωση της τάσης ατμών.

#### ΔΕΙΓΜΑ 4

% κ.ό. EtOH	0	1	2	3	4	5
Τάση Ατμών	57,7	61,2	62,4	62,9	63,2	63,8

Πίνακας 2.4. Αποτελέσματα Μετρήσεων



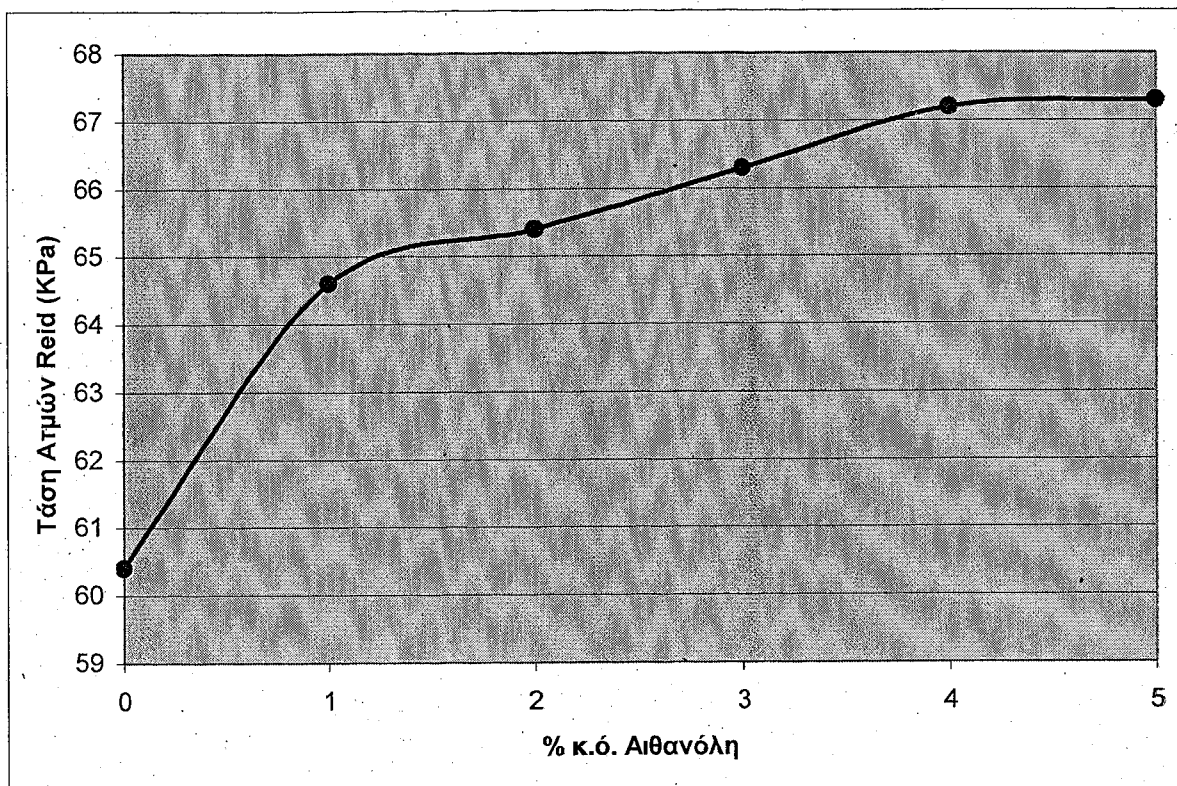
Διάγραμμα 2.4. Μεταβολή της τάσης Ατμών Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης

Παρατηρείται ότι για συγκέντρωση αιθανόλης από 1% κ.ό. και μεγαλύτερη η τάση ατμών βρίσκεται εκτός προδιαγραφών για την θερινή περίοδο. Για την χειμερινή περίοδο δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα.

### ΔΕΙΓΜΑ 5

% κ.ό. EtOH	0	1	2	3	4	5
Τάση Ατμών	60,4	64,6	65,4	66,3	67,2	67,3

Πίνακας 2.5. Αποτελέσματα Μετρήσεων



Διάγραμμα 2.5. Μεταβολή της τάσης Ατμών Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης

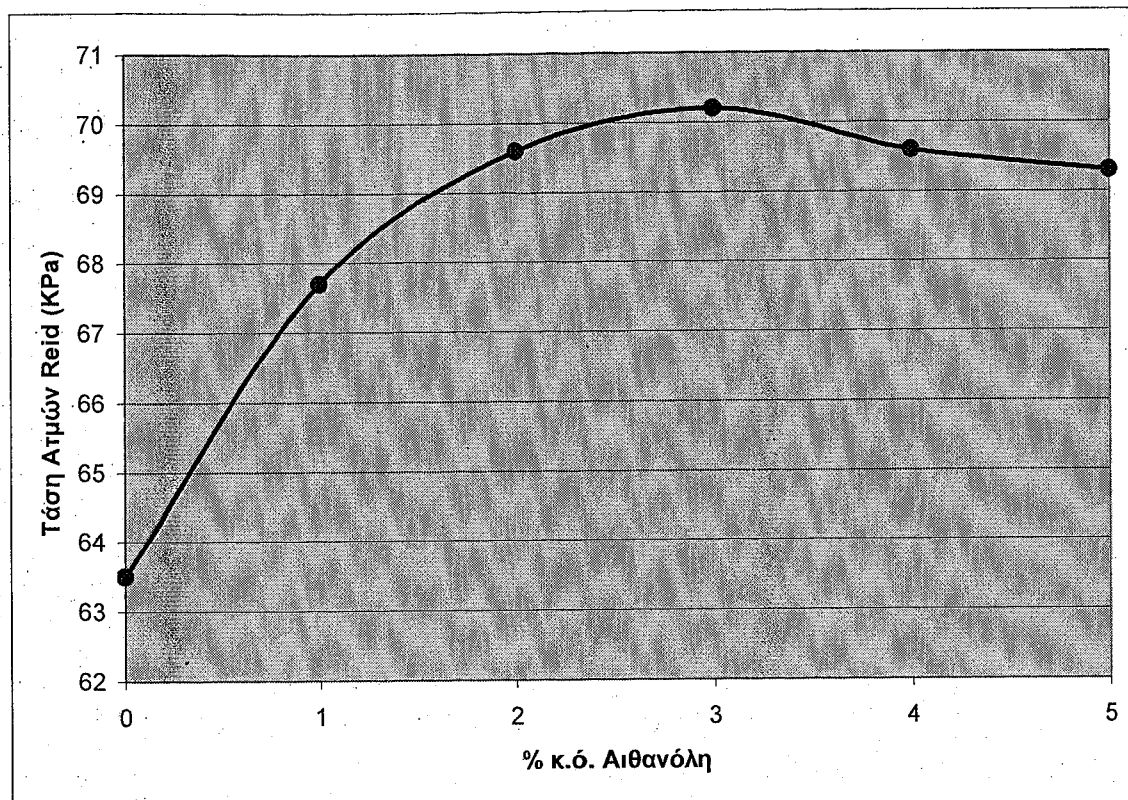
Παρατηρείται ότι τόσο το αρχικό δείγμα όσο και τα μείγματά του είναι εκτός προδιαγραφών για την θερινή περίοδο. Για την χειμερινή περίοδο δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα.



### ΔΕΙΓΜΑ 6

% κ.ό. EtOH	0	1	2	3	4	5
Τάση Ατμών	63,5	67,7	69,6	70,2	69,6	69,3

Πίνακας 2.6. Αποτελέσματα Μετρήσεων



Διάγραμμα 2.6. Μεταβολή της τάσης Ατμών Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης

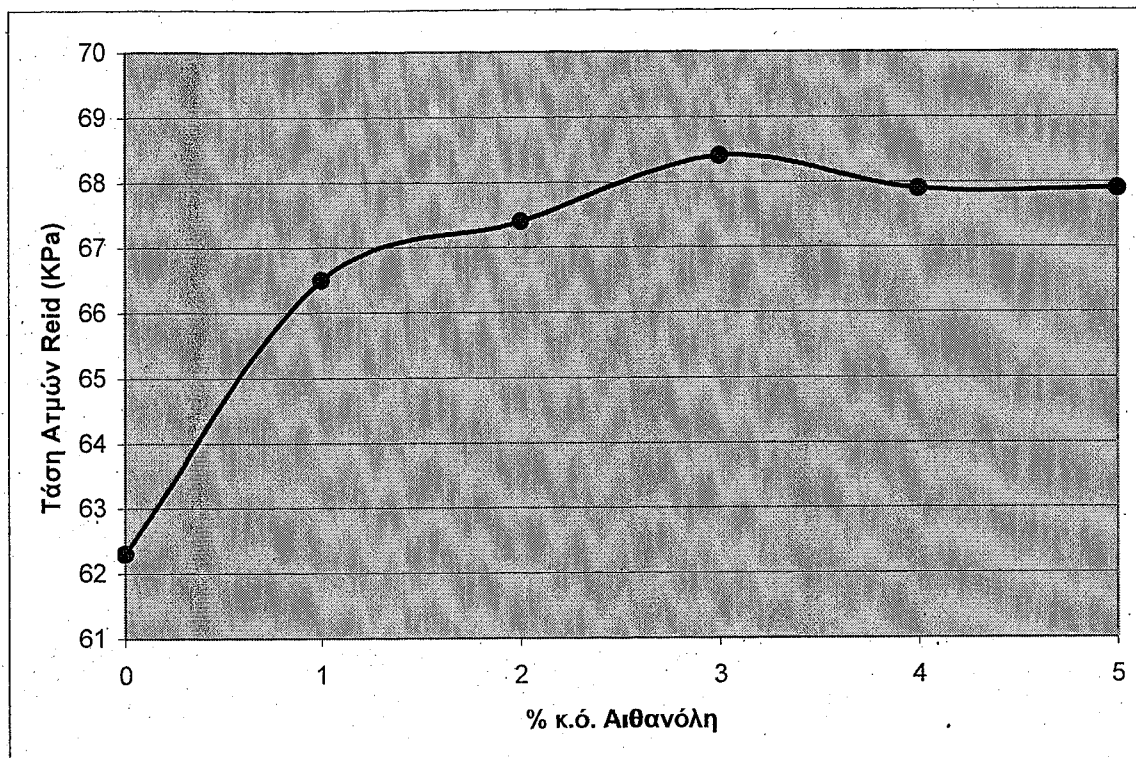
Παρατηρείται ότι τόσο το αρχικό δείγμα όσο και τα μείγματά του είναι εκτός προδιαγραφών για την θερινή περίοδο. Για την χειμερινή περίοδο δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα.



### ΔΕΙΓΜΑ 7

% κ.ό. EtOH	0	1	2	3	4	5
Τάση Ατμών	62,3	66,5	67,4	68,4	67,9	67,9

Πίνακας 2.7. Αποτελέσματα Μετρήσεων



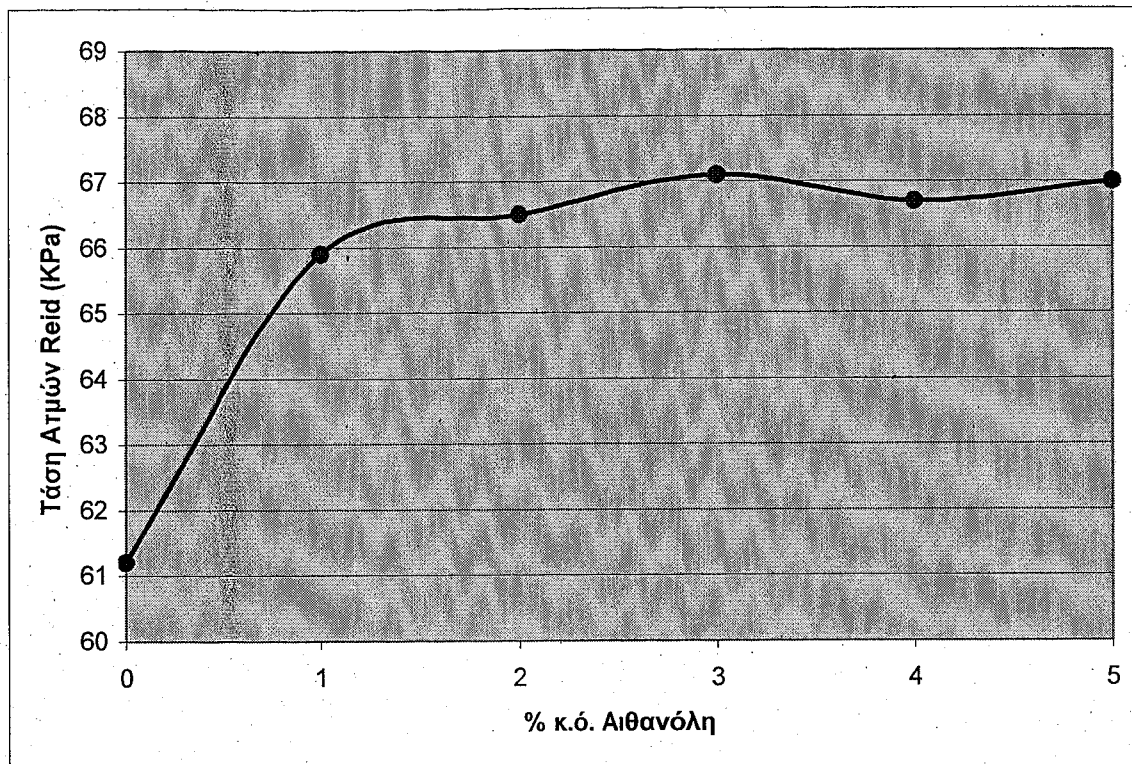
Διάγραμμα 2.7. Μεταβολή της τάσης Ατμών Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης

Παρατηρείται ότι τόσο το αρχικό δείγμα όσο και τα μείγματά του είναι εκτός προδιαγραφών για την θερινή περίοδο. Για την χειμερινή περίοδο δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα.

### ΔΕΙΓΜΑ 8

% κ.ό. EtOH	0	1	2	3	4	5
Τάση Ατμών	61,2	65,9	66,5	67,1	66,7	67,0

Πίνακας 2.8. Αποτελέσματα Μετρήσεων



Διάγραμμα 2.8. Μεταβολή της τάσης Ατμών Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης

Παρατηρείται ότι τόσο το αρχικό δείγμα όσο και τα μείγματά του είναι εκτός προδιαγραφών για την θερινή περίοδο. Για την χειμερινή περίοδο δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα.



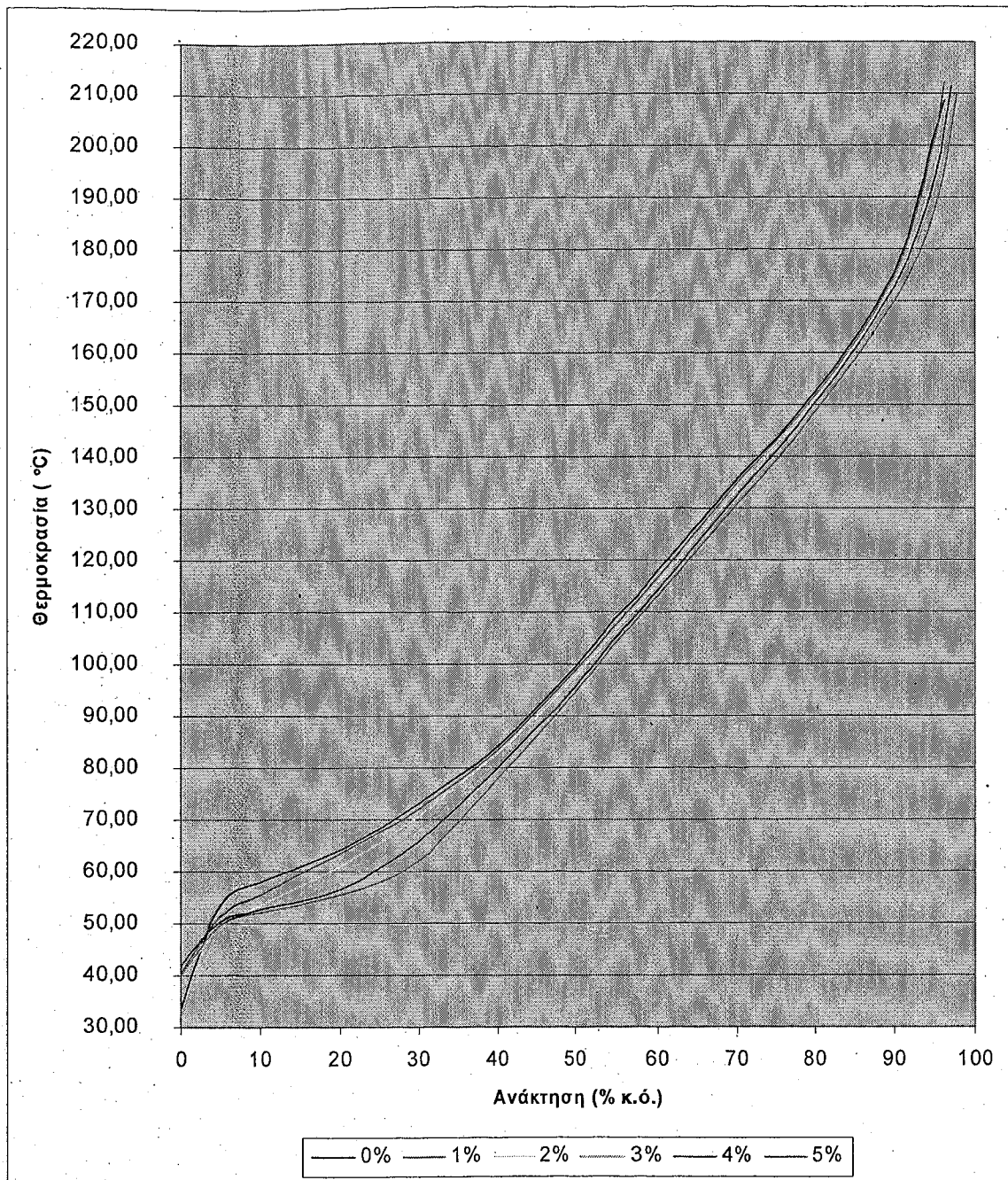
### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΣΤΑΞΗ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της απόσταξης παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα. Με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα αποτελέσματα που είναι εκτός προδιαγραφών.

#### ΔΕΙΓΜΑ 1

Ανάκτηση	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
IBP	33,6	40,5	39,9	32,1	41,6	40,1
5	53,5	51,4	49,3	49,3	50,2	49,7
10	57,8	55,5	53,3	52,4	52,6	52,1
20	64,1	63,3	61,0	58,1	56,4	55,6
30	73,1	72,2	70,7	68,3	65,8	62,2
40	84,3	83,6	82,8	80,9	80,0	77,8
50	99,3	98,7	97,7	95,9	95,6	94,4
60	117,9	116,7	115,4	114,3	114,0	113,0
70	135,4	134,8	133,5	132,5	132,3	130,7
80	152,5	151,8	151,0	149,9	150,5	148,5
90	175,5	175,0	173,3	171,8	172,7	169,9
95	202,7	201,5	195,6	191,5	194,0	188,3
EP	208,6	212,2	209,2	207,5	211,5	209,9
Τελ. Όγκος	96,3	96,3	96,9	97,4	97,0	97,7

**Πίνακας 3.1. Αποτελέσματα Μετρήσεων**



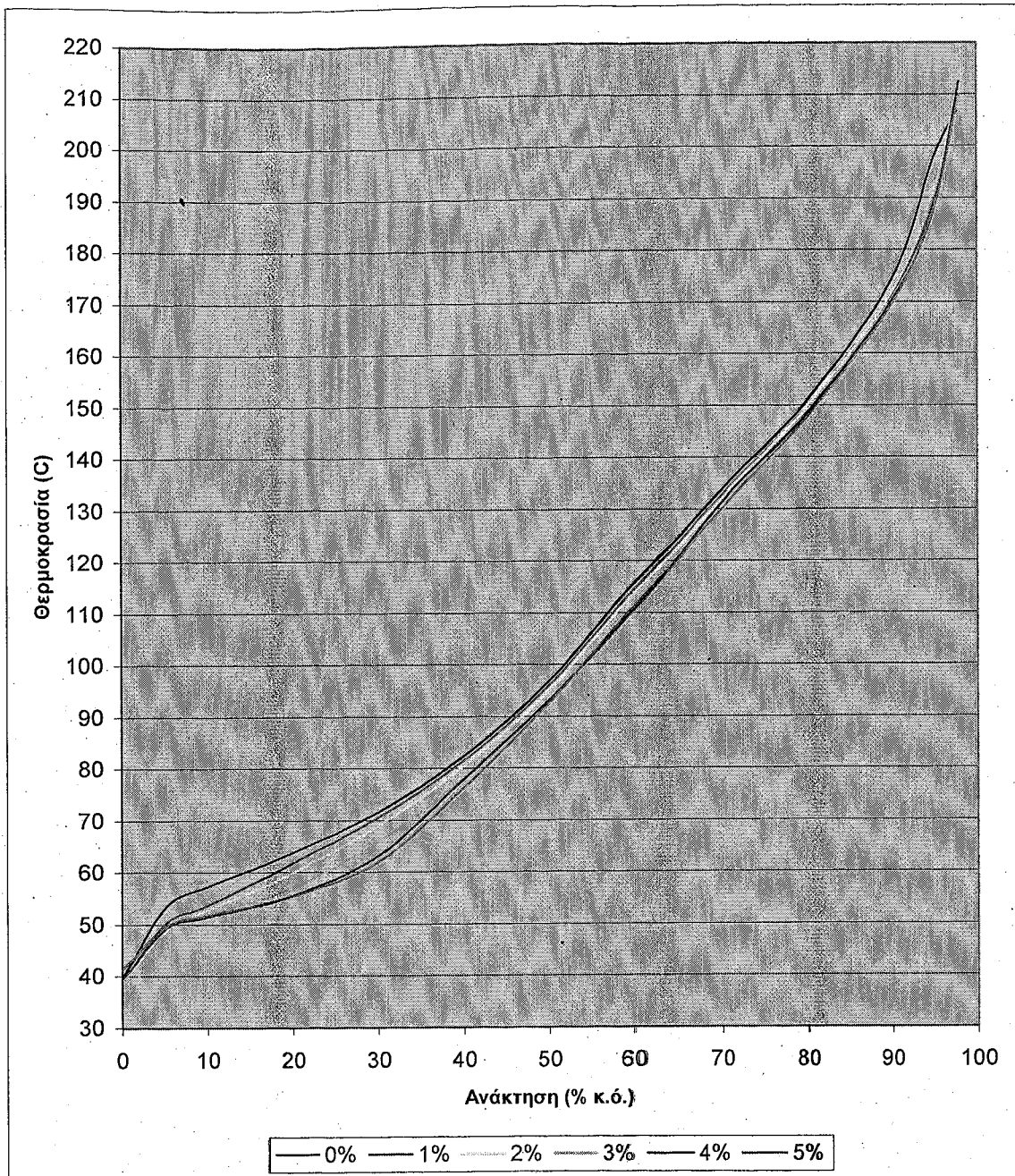
**Διάγραμμα 3.1. Μεταβολή της Καμπύλης Απόσταξης Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

Το μόνο πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι στα μείγματα 1% και 4% όπου το τέλος της απόσταξης είναι μεγαλύτερο από 210°C.

ΔΕΙΓΜΑ 2

Ανάκτηση	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
IBP	39,7	39	39,3	33,3	39,5	41,4
5	53,3	50,2	48,9	49,2	49,2	49,6
10	57,3	53,7	52,8	52	51,4	51,8
20	63,8	61,8	59,9	57	55,6	55,5
30	71,6	70,6	69	65,9	63,2	62
40	82,4	81,5	80,5	78	77,9	76,2
50	96,8	95,9	95	92,3	93,1	92,6
60	115,4	114,2	113,6	110,2	110,3	111
70	133,7	132,6	131,9	129,4	131,2	130
80	150,9	149,8	149,7	147,2	148,4	147,7
90	174	171,3	171,5	169,1	170	169,3
95	197,7	189	191,4	185,1	187,6	188
EP	206,7	209,1	209,7	205,7	212,4	209,7
Τελ. Όγκος	97,7	97,8	97,6	98,4	98	98

**Πίνακας 3.2. Αποτελέσματα Μετρήσεων**



**Διάγραμμα 3.2. Μεταβολή της Καμπύλης Απόσταξης Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

Το μόνο πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι στο μείγμα 4% όπου το τέλος της απόσταξης είναι μεγαλύτερο από 210°C.

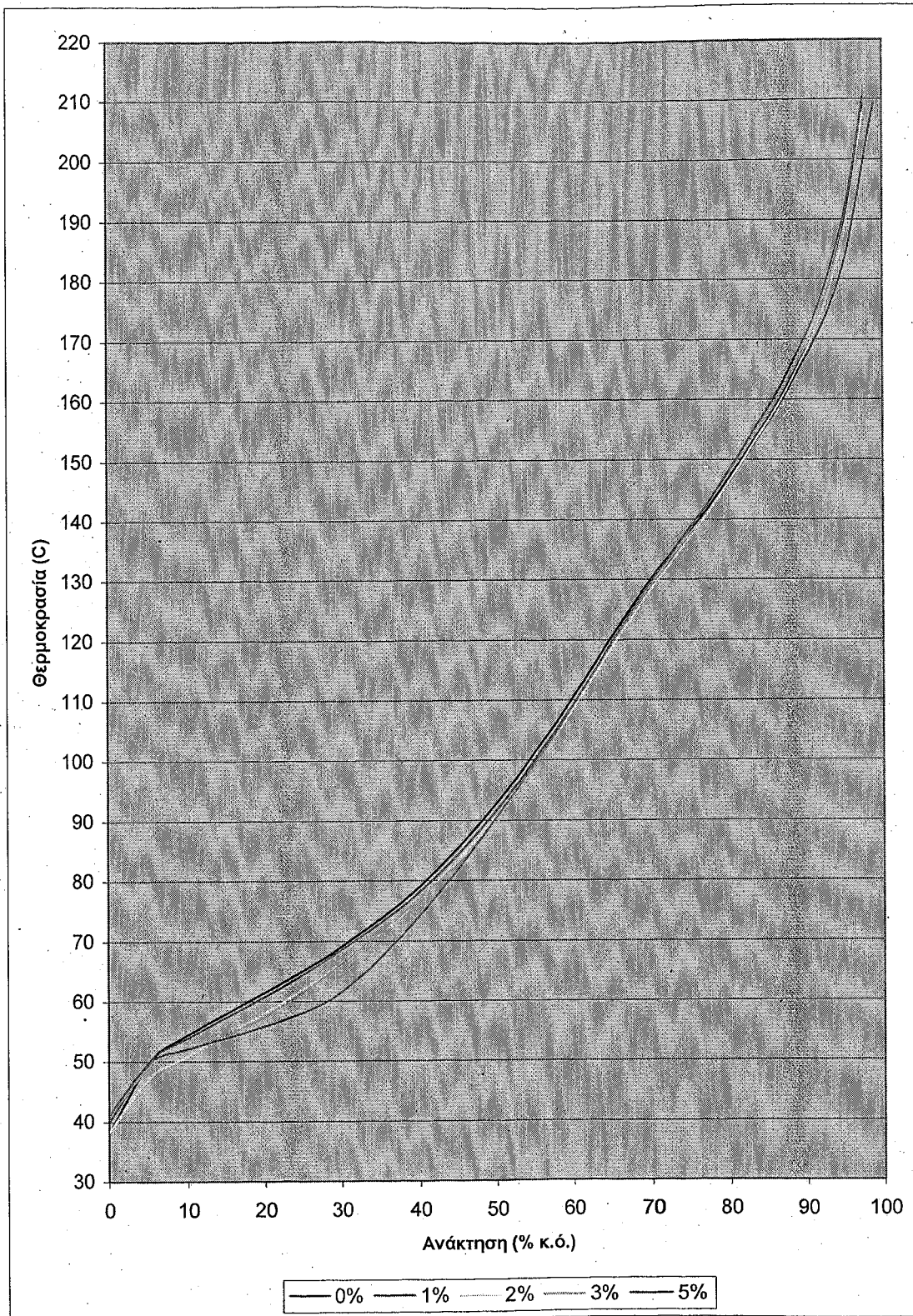


ΔΕΙΓΜΑ 3

Ανάκτηση	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	5% EtOH
IBP	38,1	39,9	38,3	41	41
5	49,9	50,1	47,3	49,2	49,8
10	54,4	53,9	50,9	52	52,1
20	61,5	60,8	58,1	57,5	55,9
30	69,1	68,5	66,4	66,2	61,5
40	79	78,1	77	77,1	74,2
50	92,8	91,6	90,7	89,4	90,4
60	110,4	109,1	108,5	109,1	109
70	130	128,6	128,4	129,3	129,7
80	146,9	146,2	146,3	148,1	148,2
90	168,3	167,1	168	168,9	170,6
95	188,6	182,6	187,3	188	190,5
EP	209,1	209,3	207,7	207,1	210,4
Τελ. Όγκος	97,5	98,9	97,5	97,8	97,5

**Πίνακας 3.3. Αποτελέσματα Μετρήσεων**





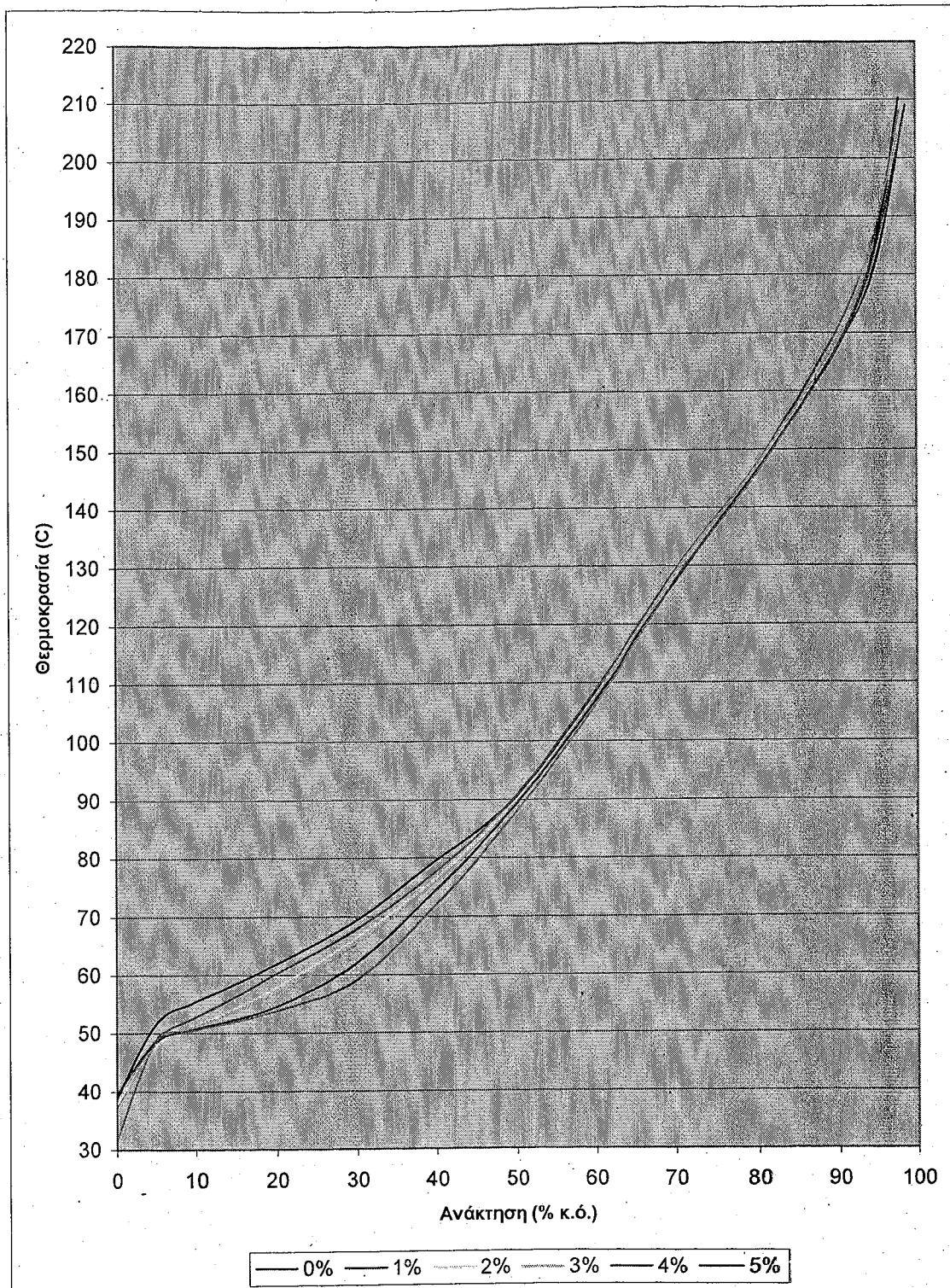
**Διάγραμμα 3.3. Μεταβολή της Καμπύλης Απόσταξης Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

Το μόνο πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι στο μείγμα 5% όπου το τέλος της απόσταξης είναι μεγαλύτερο από 210°C.

ΔΕΙΓΜΑ 4

Ανάκτηση	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
IBP	38,9	37,5	37,9	36,4	39,6	31,7
5	51,5	48,9	47,8	48,4	48,5	48,5
10	55,4	52,8	51,4	51,3	50,8	50,6
20	61,9	60,3	57,9	56,9	54,6	53,8
30	69,4	67,9	66,4	65,2	62,1	59,1
40	79,6	77,7	76,6	76	74,6	72
50	90,5	90,7	89,9	89,6	89,2	87,9
60	108,1	108,7	107,7	107,5	106,9	106,1
70	127,2	129,2	128,6	128,7	127,3	127,4
80	146,5	147,6	147,1	147,4	146,2	146,1
90	167,6	170,7	168,2	169,3	167,6	167,9
95	186,4	188,8	186,1	189,3	183	186
EP	210,4	208	205,8	204,1	209,1	205,9
Τελ. Όγκος	97,9	97,9	98,1	97,7	98,7	98,4

**Πίνακας 3.4. Αποτελέσματα Μετρήσεων**



**Διάγραμμα 3.4. Μεταβολή της Καμπύλης Απόσταξης Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

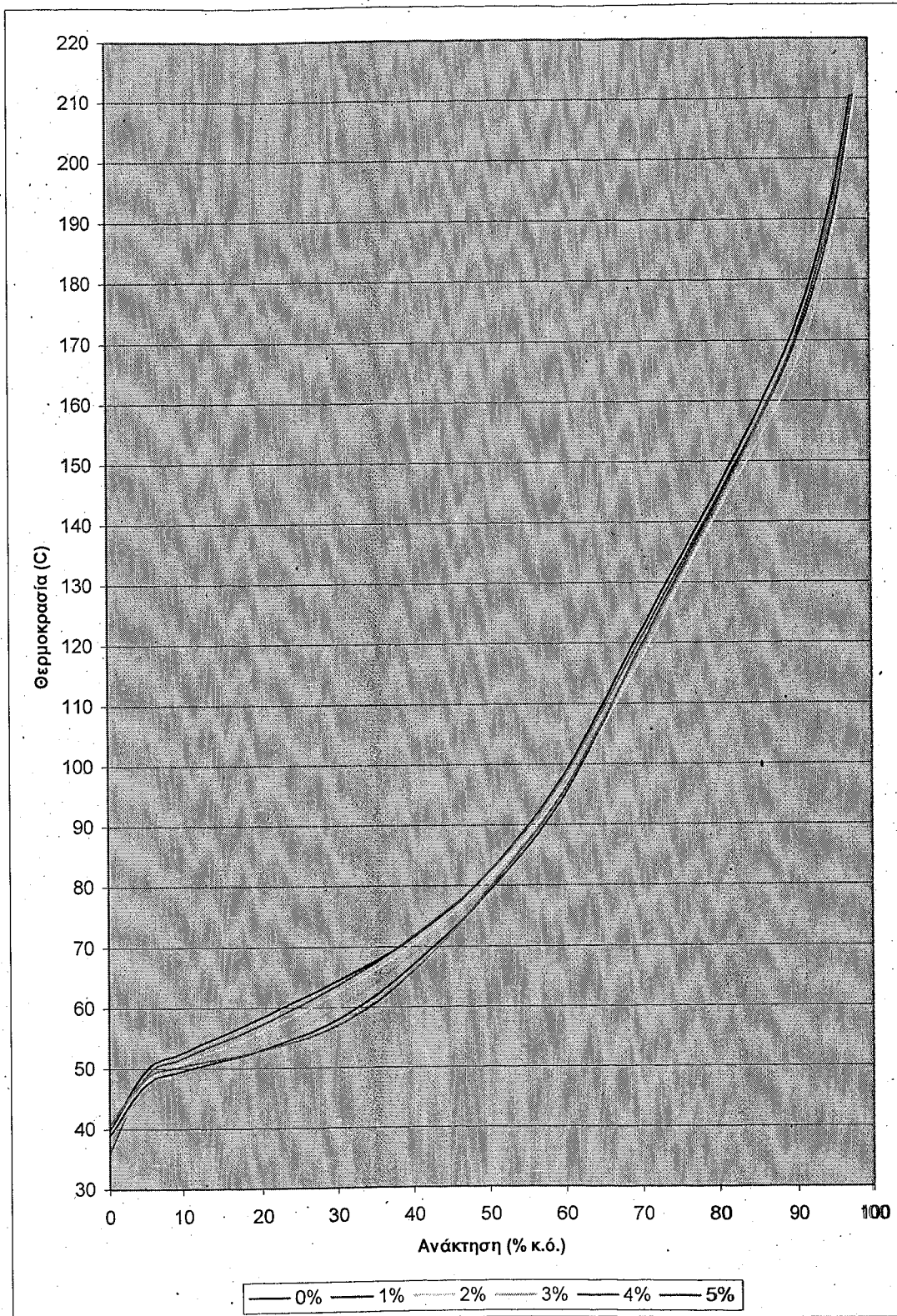
Το μόνο πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι στο καθαρό δείγμα όπου το τέλος της απόσταξης είναι μεγαλύτερο από 210°C.



ΔΕΙΓΜΑ 5

Ανάκτηση	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
IBP	39,6	36	39,3	38,8	38,9	40,6
5	49,8	48,8	47,9	46,2	47,4	48,5
10	52,6	51,7	50,9	48,9	49,5	50,3
20	58,4	57,2	56	53,6	53	52,9
30	64,3	63,5	62,5	59,9	57,9	56,9
40	71,5	71,7	70,4	68,7	66,9	65,9
50	82,3	82,2	81	79,9	79,1	79,5
60	98,5	98	96,3	95,6	94,9	95,8
70	122	120,8	117,3	118,9	119,4	119
80	145,1	143,6	141,2	142,2	143	142,6
90	172	169,5	165,3	169,5	169,2	170
95	193	189,6	186	188,8	188,8	191,6
EP	210,4	206,1	213,8	205,8	210,5	210,2
Τελ. Όγκος	97,6	97,7	98,6	98,1	97,9	97,8

**Πίνακας 3.5. Αποτελέσματα Μετρήσεων**



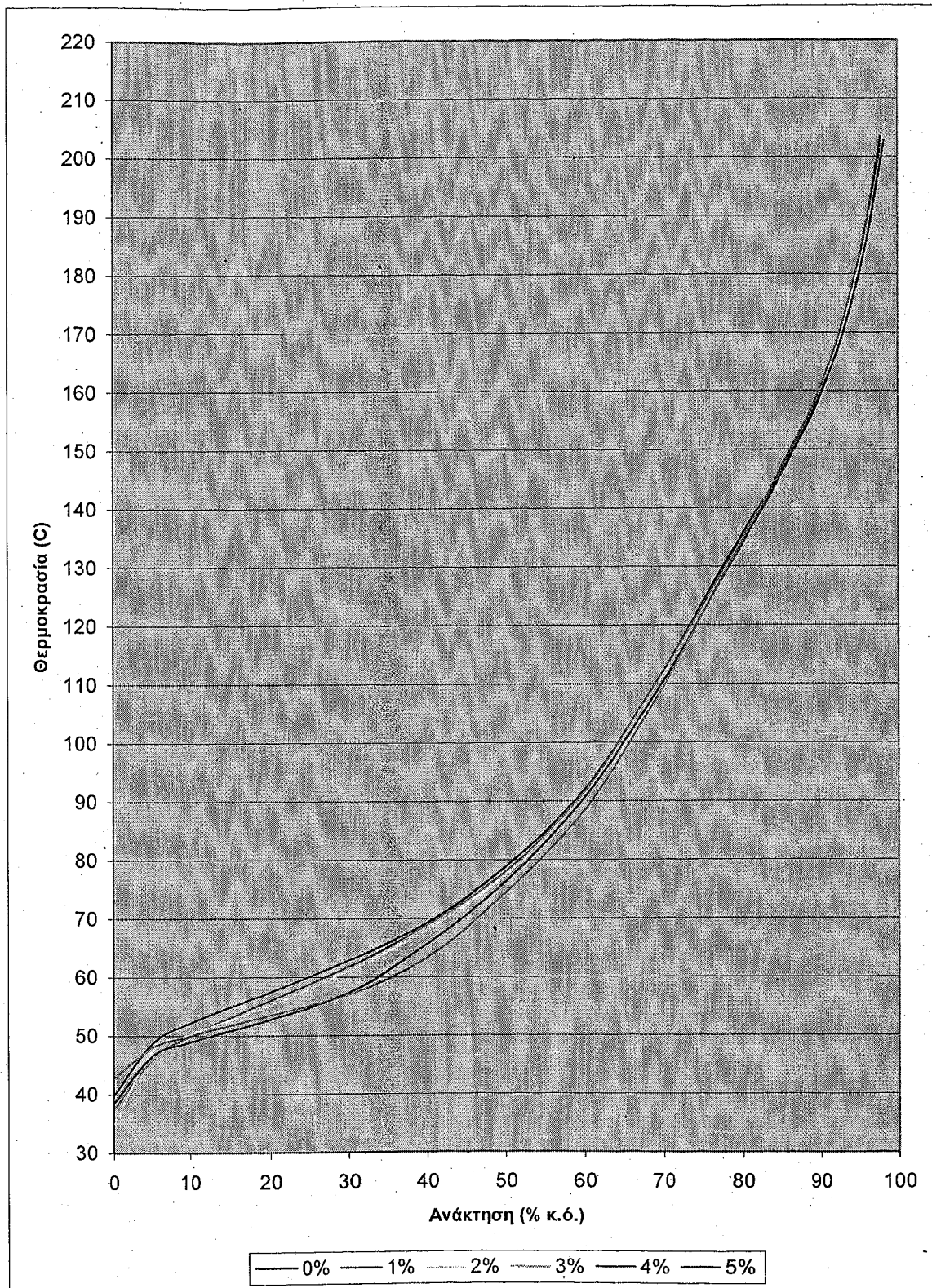
**Διάγραμμα 3.5. Μεταβολή της Καμπύλης Απόσταξης Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

Το μόνο πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι στο καθαρό δείγμα και στα μείγματα 2%, 4%, 5% όπου το τέλος της απόσταξης είναι μεγαλύτερο από 210°C.

ΔΕΙΓΜΑ 6

Ανάκτηση	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
IBP	39,9	37,6	35	39,1	38,6	42,7
5	48,8	46,1	47,6	46,2	46,7	48,1
10	52,2	49,9	50,2	48,8	48,9	49,9
20	57,5	56	55,2	53,2	52,8	53,5
30	62,9	61,8	61,1	58,8	57,4	57
40	69,3	68,9	68,1	66,7	65,7	63,3
50	78,8	78	77,4	76,9	76,3	74,4
60	91,9	91,6	90	90	90,5	88,4
70	112,2	112,2	110,1	110,5	110,4	109,5
80	135,3	134,7	134,4	134,1	133,7	134,3
90	158,8	160,5	160,3	160,6	159,3	160,4
95	181,2	180,2	180,8	182,1	179,1	182,2
EP	201,3	203,5	206,5	199,6	202,8	201,3
Τελ. Όγκος	97,8	97,8	98,6	97,7	98,3	97,6

**Πίνακας 3.6. Αποτελέσματα Μετρήσεων**



**Διάγραμμα 3.6. Μεταβολή της Καμπύλης Απόσταξης Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

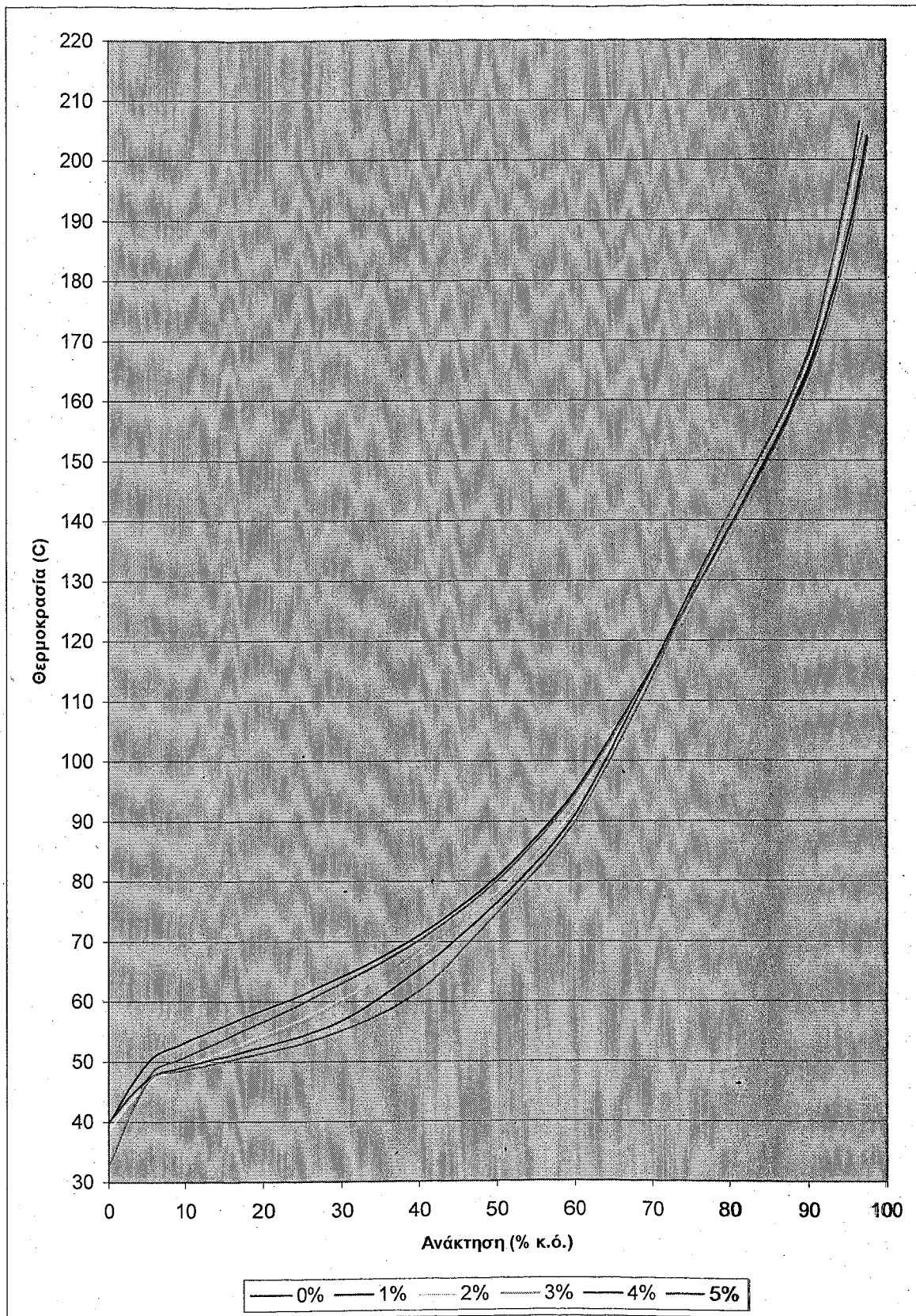
Όλα τα δείγματα πληρούν τις προδιαγραφές.

ΔΕΙΓΜΑ 7

Ανάκτηση	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
IBP	39,9	32,7	38,8	33,1	40	32,7
5	49,8	47,4	46,3	46,9	47,1	46,6
10	53,2	50,8	49,2	48,7	49,2	48,6
20	58,6	56,6	54,4	53,8	52,5	51,4
30	64,1	63	60,4	59,9	56,8	55,2
40	71	70,2	68,1	68,4	65,3	61,7
50	80,7	80	78,1	77,7	76,4	74,7
60	94,8	94,2	92,2	92,6	90,9	89,8
70	115,5	115,2	115,4	113,5	115,4	113,8
80	138,5	138,2	140,5	136,6	140,8	140,7
90	165,2	164,3	166,6	162,8	167,9	167,4
95	186,9	184,9	190,3	182	194,3	193,3
EP	204,1	203,7	207,7	204,6	206,4	204,8
Τελ. Όγκος	97,6	97,7	97,1	98,2	96,6	97

**Πίνακας 3.7. Αποτελέσματα Μετρήσεων**





**Διάγραμμα 3.7. Μεταβολή της Καμπύλης Απόσταξης Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

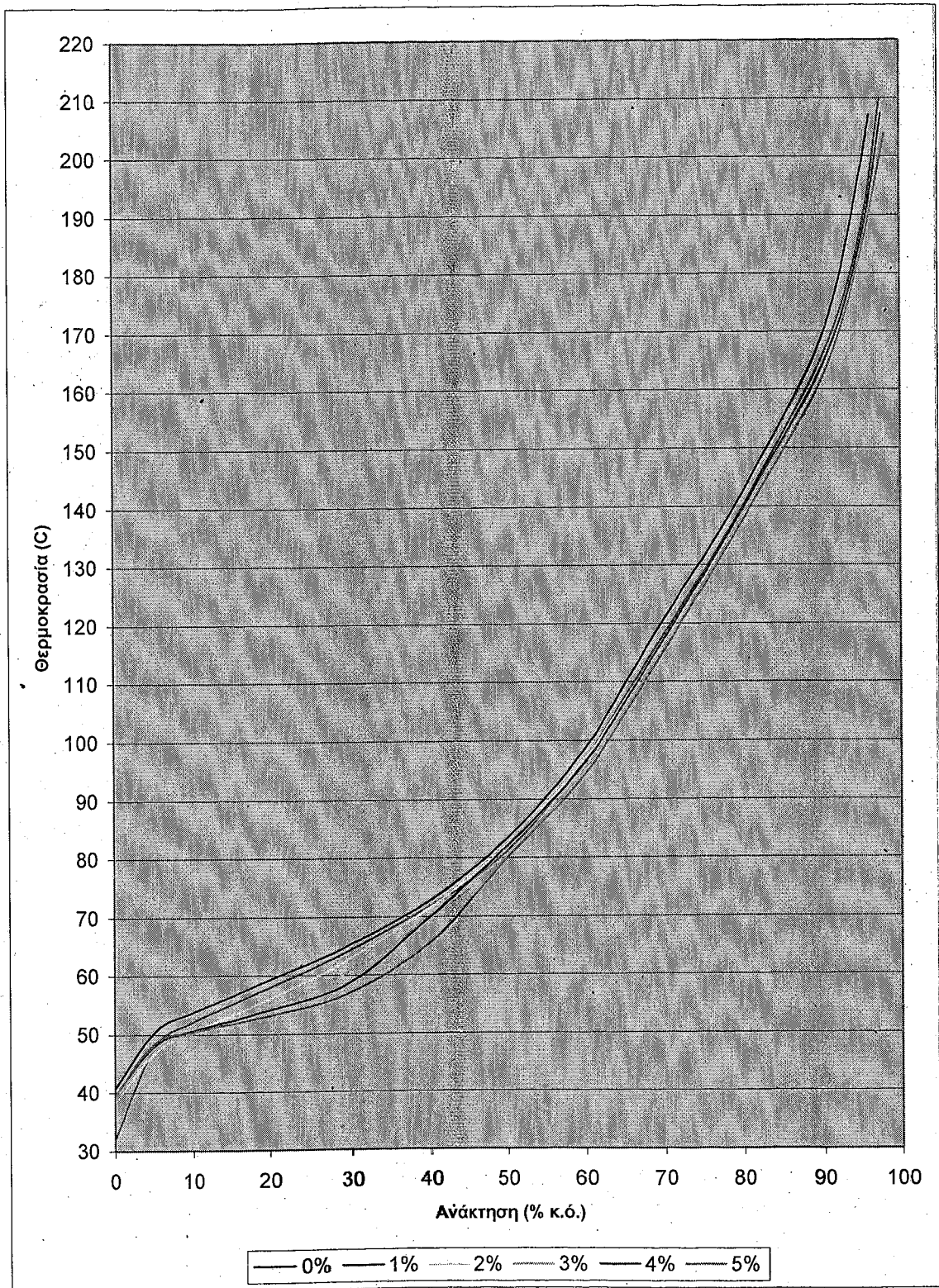
Όλα τα δείγματα ικανοποιούν τις προδιαγραφές.



ΔΕΙΓΜΑ 8

Ανάκτηση	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
IBP	40,7	32	38,4	38,8	39,6	39,5
5	50,4	47,8	46,9	47,6	48,1	48,5
10	53,8	52,1	50,4	50,2	50,6	50,4
20	59,3	58	56,1	54,5	54,1	53,1
30	65,4	64,4	63,1	60,9	58,9	57,2
40	72,8	71,9	71,6	69,8	70,1	65,6
50	83,3	81,1	82,2	80,2	82	79,9
60	98,6	96,9	97	95,3	96,2	94,2
70	120,7	118,1	117,1	115,5	117,3	115,3
80	142,2	139,8	138,9	138,5	139,3	137,4
90	169,2	165,7	163,2	163,7	164	161,9
95	197,9	187,2	185,8	185	185,6	183,5
EP	207,1	209,7	206,5	203,4	207,4	203,9
Τελ. Όγκος	96,2	97,5	97,8	97,9	97,7	98,1

**Πίνακας 3.8. Αποτελέσματα Μετρήσεων**



**Διάγραμμα 3.8. Μεταβολή της Καμπύλης Απόσταξης Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

Όλα τα δείγματα ικανοποιούν τις προδιαγραφές.



#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΡΟΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

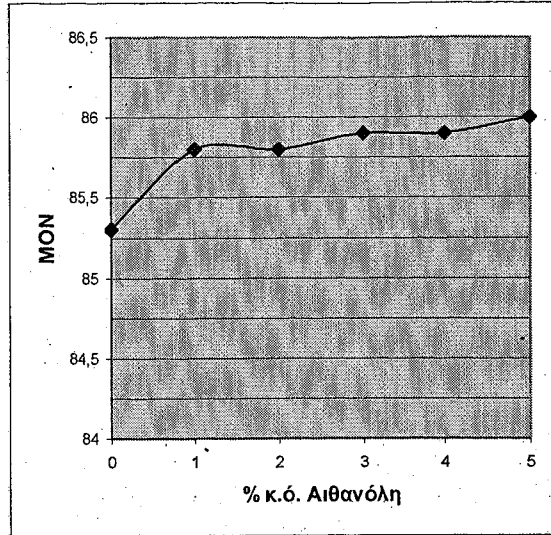
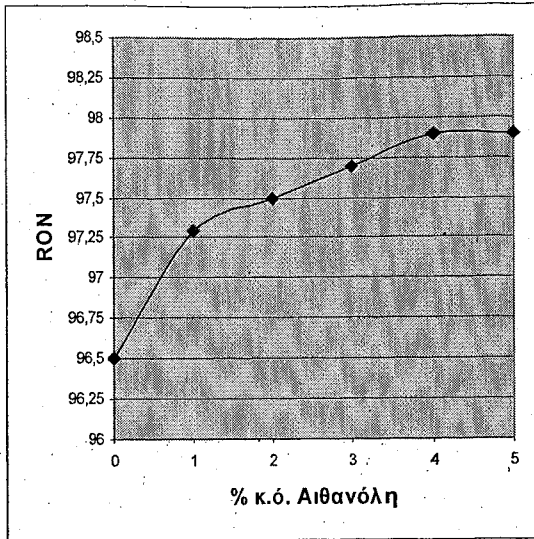
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της απόσταξης παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα. Με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα αποτελέσματα που είναι εκτός προδιαγραφών.

##### ΔΕΙΓΜΑ 1

	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
RON	96,5	97,3	97,5	97,7	97,9	97,9
MON	85,3	85,8	85,8	85,9	85,9	86
MTBE (% κ.ό.)	1,5	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4
ETBE (% κ.ό.)	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8
DIBE (% κ.ό.)	0	0	0	0	0	0
TAME (% κ.ό.)	0	0	0	0	0	0,2
Ολικό Οξυγόνο (% κ.β.)	0,38	0,71	0,96	1,34	1,69	1,97
Ευλόλιο (% κ.ό.)	7,6	7,2	7,3	7,1	7,1	7,1
Τολουόλιο (% κ.ό.)	7,5	7,5	7,5	7,4	7,4	7,4
Ολεφίνες (% κ.ό.)	15,3	14,9	14,8	14,3	14,3	14,2
Κορεσμένα (% κ.ό.)	46,6	46,1	45,6	45,4	44,7	44,3
Αρωματικά (% κ.ό.)	35,9	35,8	35,7	35,3	35,3	34,9
Βενζόλιο (% κ.ό.)	1,01	0,93	0,92	0,89	0,89	0,87

**Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα μετρήσεων**

Το μόνο πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι στο καθαρό δείγμα που έχουμε συγκέντρωση βενζόλιου μεγαλύτερη από 1% κ.ό.



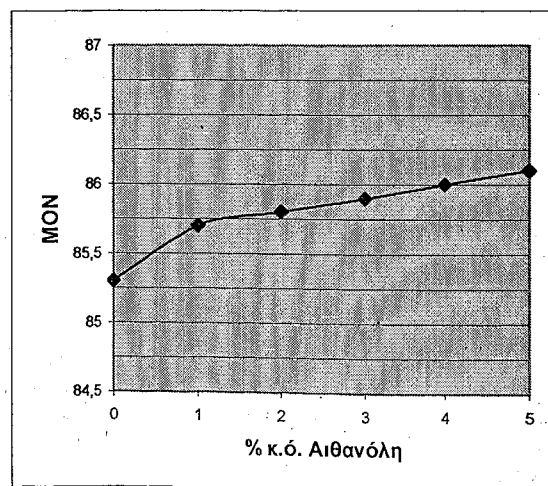
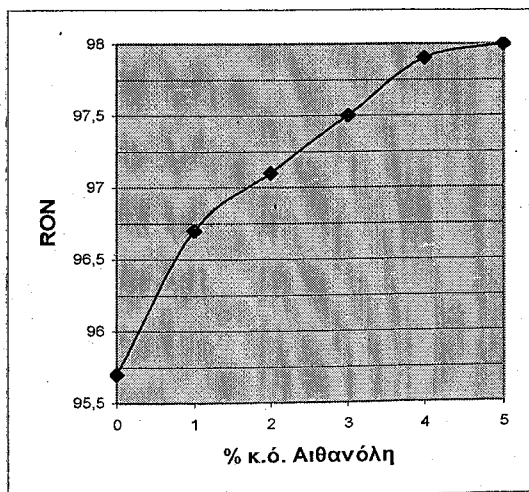
**Διάγραμμα 4.1. Μεταβολή του Αριθμού MON, RON Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

ΔΕΙΓΜΑ 2

	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
RON	95,7	96,7	97,1	97,5	97,9	98
MON	85,3	85,7	85,8	85,9	86	86,1
MTBE (% κ.ό.)	2,6	1,9	1,8	1,6	1,4	1,8
ETBE (% κ.ό.)	0,4	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7
DIPE (% κ.ό.)	0,2	0	0	0	0	0,2
TAME (% κ.ό.)	0	0	0	0	0	0,4
Ολικό Οξυγόνο (% κ.β.)	0,57	0,75	1,03	1,29	1,75	2,09
Ευλόλιο (% κ.ό.)	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	7
Τολουόλιο (% κ.ό.)	6,4	6,8	6,8	7	7,1	7,4
Ολεφίνες (% κ.ό.)	15,2	15,1	14,9	14,6	14,7	15,1
Κορεσμένα (% κ.ό.)	49,4	48	47,5	46,5	45,2	42,9
Αρωματικά (% κ.ό.)	32,2	33,5	33,5	34,2	34,2	34,6
Βενζόλιο (% κ.ό.)	0,9	0,88	0,87	0,87	0,86	0,87

**Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα μετρήσεων**

Όλα τα δείγματα πληρούν τις προδιαγραφές.



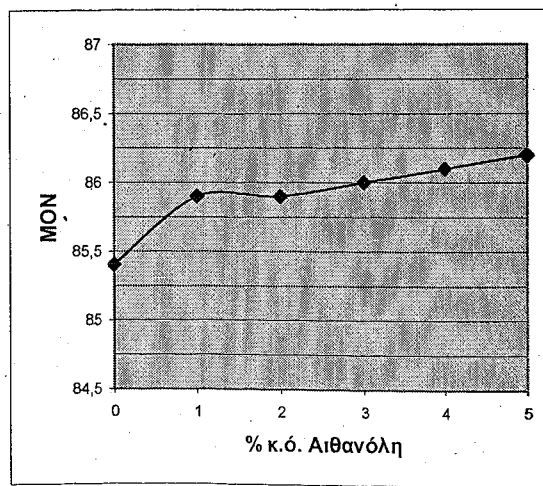
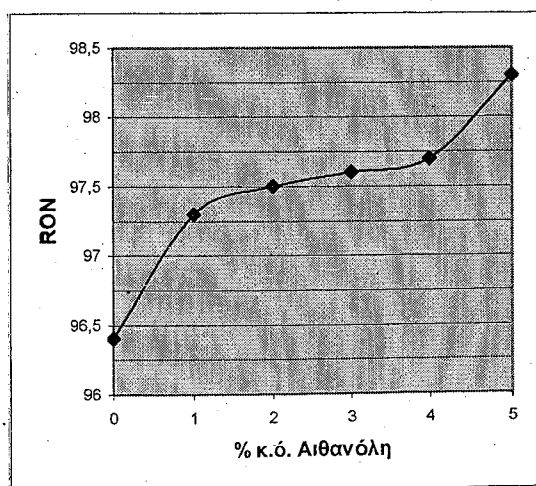
**Διάγραμμα 4.2. Μεταβολή του Αριθμού MON, RON Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

### ΔΕΙΓΜΑ 3

	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
RON	96,4	97,3	97,5	97,6	97,7	98,3
MON	85,4	85,9	85,9	86	86,1	86,2
MTBE (% κ.ό.)	2,4	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4
ETBE (% κ.ό.)	0,7	0,2	0,7	0,7	0,6	0,7
DIPE (% κ.ό.)	0,2	0	0	0,2	0,2	0
TAME (% κ.ό.)	0	0,2	0	0	0,2	0,3
Ολικό Οξυγόνο (% κ.β.)	0,58	0,93	1,12	1,49	1,93	2,3
Ξυλόλιο (% κ.ό.)	7,4	7,1	6,9	6,8	6,8	6,6
Τολουόλιο (% κ.ό.)	7,2	7,1	7,1	7	7	7
Ολεφίνες (% κ.ό.)	16	16	15,9	15,4	15,4	15,4
Κορεσμένα (% κ.ό.)	45,9	45,2	45,2	44,9	44	43,1
Αρωματικά (% κ.ό.)	34,8	34,6	34,3	34	33,6	33,5
Βενζόλιο (% κ.ό.)	0,97	0,9	0,88	0,87	0,84	0,83

**Πίνακας 4.3. Αποτελέσματα μετρήσεων**

Όλα τα δείγματα πληρούν τις προδιαγραφές.



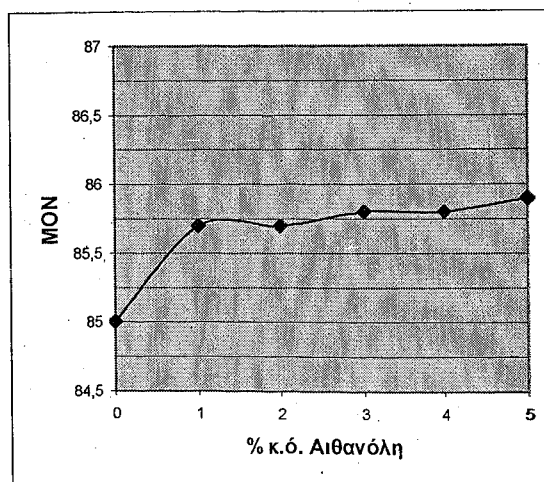
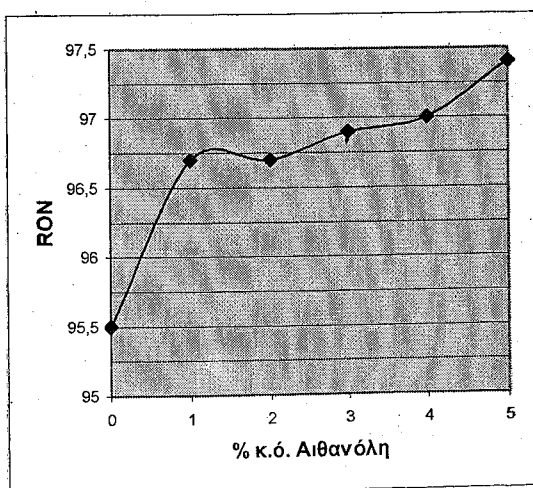
**Διάγραμμα 4.3. Μεταβολή του Αριθμού MON, RON Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

### ΔΕΙΓΜΑ 4

	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
RON	95,5	96,7	96,7	96,9	97	97,4
MON	85	85,7	85,7	85,8	85,8	85,9
MTBE (% κ.ό.)	0,8	1	0,9	0,9	0,8	0,9
ETBE (% κ.ό.)	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6
DIPE (% κ.ό.)	0,2	0	0,2	0	0	0,2
TAME (% κ.ό.)	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Ολικό Οξυγόνο (% κ.β.)	0,26	0,68	0,9	1,2	1,61	2
Ξυλόλιο (% κ.ό.)	7,3	6,8	6,8	6,7	6,8	6,7
Τολουόλιο (% κ.ό.)	7	6,8	6,7	6,7	6,7	6,7
Ολεφίνες (% κ.ό.)	16,4	16,2	16,1	16	15,6	15,5
Κορεσμένα (% κ.ό.)	47,9	47,1	46,9	46,6	46	44,8
Αρωματικά (% κ.ό.)	34,2	33,9	33,6	33,3	33,1	33,2
Βενζόλιο (% κ.ό.)	0,94	0,87	0,86	0,85	0,83	0,82

**Πίνακας 4.4. Αποτελέσματα μετρήσεων**

Όλα τα δείγματα πληρούν τις προδιαγραφές.



**Διάγραμμα 4.4. Μεταβολή του Αριθμού MON, RON Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

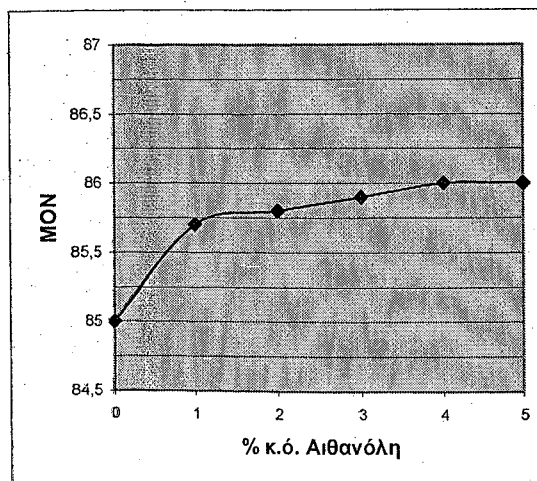
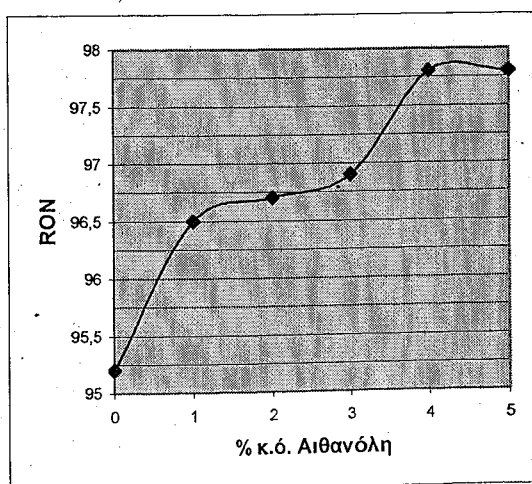


### ΔΕΙΓΜΑ 5

	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
RON	95,2	96,5	96,7	96,9	97,8	97,8
MON	85	85,7	85,8	85,9	86	86
MTBE (% κ.ό.)	4,4	4,5	4,6	4,5	4,4	4,4
ETBE (% κ.ό.)	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
DIPE (% κ.ό.)	0	0,2	0,2	0,3	0	0
TAME (% κ.ό.)	0	0,2	0,2	0,3	0,3	2,65
Ολικό Οξυγόνο (% κ.β.)	0,88	1,28	1,52	1,9	2,26	2,65
Ευλόλιο (% κ.ό.)	5,6	5,2	5,2	5	4,9	4,8
Τολουόλιο (% κ.ό.)	4,7	4,6	4,6	4,5	4,5	4,5
Ολεφίνες (% κ.ό.)	16,5	16,3	16,3	16	15,6	15,5
Κορεσμένα (% κ.ό.)	51,3	50	49,8	49,3	48,8	48,2
Αρωματικά (% κ.ό.)	27,3	27,5	27	26,7	26,9	26,4
Βενζόλιο (% κ.ό.)	0,75	0,69	0,67	0,65	0,62	0,61

**Πίνακας 4.5. Αποτελέσματα μετρήσεων**

Όλα τα δείγματα πληρούν τις προδιαγραφές.



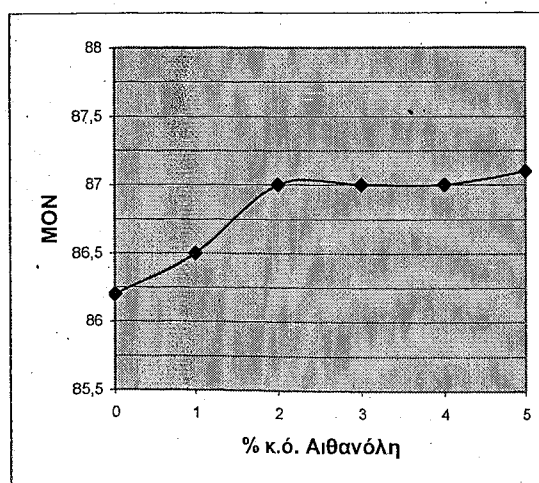
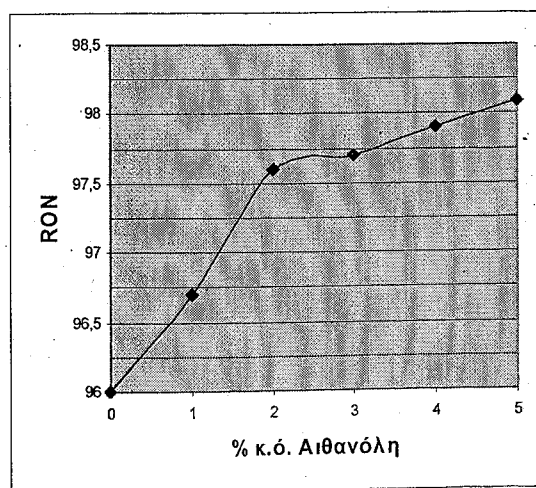
**Διάγραμμα 4.5. Μεταβολή του Αριθμού MON, RON Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

### ΔΕΙΓΜΑ 6

	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
RON	96	96,7	97,6	97,7	97,9	98,1
MON	86,2	86,5	87	87	87	87,1
MTBE (% κ.ό.)	4,6	4,4	4,5	4,4	4,3	4,4
ETBE (% κ.ό.)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3
DIBE (% κ.ό.)	0	0	0	0	0	0,2
TAME (% κ.ό.)	0	0,2	0,2	0,2	0	0,2
Ολικό Οξυγόνο (% κ.β.)	0,89	1,22	1,53	1,81	2,18	2,72
Ξυλόλιο (% κ.ό.)	5,4	5,1	4,8	4,9	4,8	4,7
Τολουόλιο (% κ.ό.)	4,9	4,8	4,8	4,7	4,8	4,8
Ολεφίνες (% κ.ό.)	17,6	17,4	17	17	16,6	16,5
Κορεσμένα (% κ.ό.)	52,1	51,5	51,1	50,7	50,3	49,2
Αρωματικά (% κ.ό.)	25,4	25,3	25,2	24,9	24,7	24,3
Βενζόλιο (% κ.ό.)	0,75	0,69	0,66	0,65	0,64	0,62

**Πίνακας 4.6. Αποτελέσματα μετρήσεων**

Το μείγμα 5% έχει ολικό οξυγόνο άνω του 2,7% κ.β.



**Διάγραμμα 4.6. Μεταβολή του Αριθμού MON, RON Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

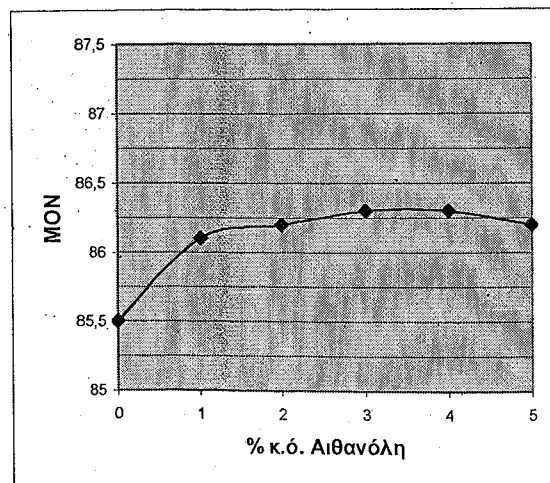
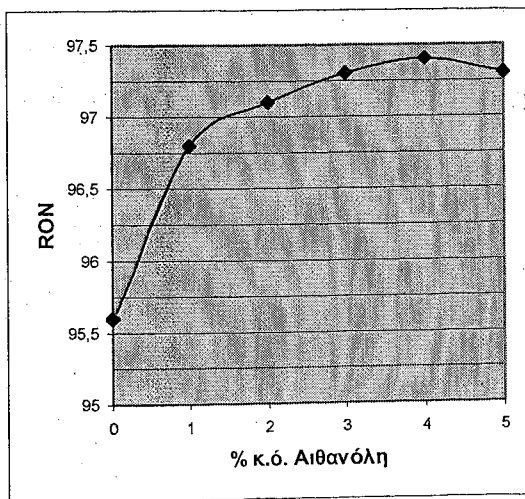


ΔΕΙΓΜΑ 7

	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
RON	95,6	96,8	97,1	97,3	97,4	97,3
MON	85,5	86,1	86,2	86,3	86,3	86,2
MTBE (% κ.ό.)	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,6
ETBE (% κ.ό.)	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4
DIPE (% κ.ό.)	0	0	0	0	0	0
TAME (% κ.ό.)	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2
Ολικό Οξυγόνο (% κ.β.)	0,76	1,14	1,46	1,79	2,11	2,6
Ξυλόλιο (% κ.ό.)	5,6	5,1	5	5	4,9	5
Τολουόλιο (% κ.ό.)	4,9	4,7	4,7	4,7	4,7	4,8
Ολεφίνες (% κ.ό.)	22,5	21,4	21,7	21,4	21,4	20,7
Κορεσμένα (% κ.ό.)	47,4	47,7	46,5	46,1	45,7	45,4
Αρωματικά (% κ.ό.)	25,9	25,7	25,6	25,4	25,1	24,7
Βενζόλιο (% κ.ό.)	0,75	0,68	0,66	0,66	0,65	0,65

**Πίνακας 4.7. Αποτελέσματα μετρήσεων**

Όλα τα δείγματα έχουν ολεφίνες άνω του 18% κ.ό.



**Διάγραμμα 4.7. Μεταβολή του Αριθμού MON, RON Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

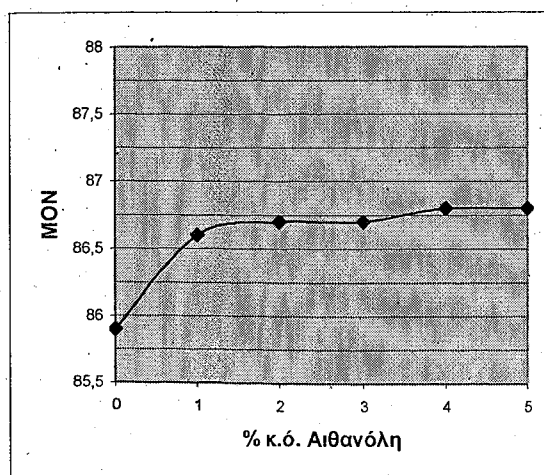
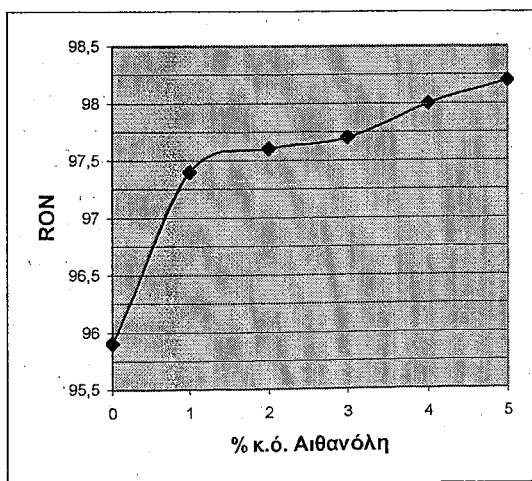


**ΔΕΙΓΜΑ 8**

	0% EtOH	1% EtOH	2% EtOH	3% EtOH	4% EtOH	5% EtOH
RON	95,9	97,4	97,6	97,7	98	98,2
MON	85,9	86,6	86,7	86,7	86,8	86,8
MTBE (% κ.ό.)	4,2	4,2	4,2	4,1	4,1	4,1
ETBE (% κ.ό.)	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4
DIPE (% κ.ό.)	0,2	0	0	0	0	0
TAME (% κ.ό.)	0	0	0	0	0,2	0,2
Ολικό Οξυγόνο (% κ.β.)	0,84	1,24	1,46	1,83	2,19	2,62
Ευλόλιο (% κ.ό.)	5,4	5,1	5,2	5	5	5
Τολουόλιο (% κ.ό.)	4,8	5	4,9	4,9	4,9	4,9
Ολεφίνες (% κ.ό.)	19,7	18,8	18,9	18,4	18,4	18,2
Κορεσμένα (% κ.ό.)	49,9	49,2	48,7	48,4	47,5	47
Αρωματικά (% κ.ό.)	25,7	26,3	26,1	25,9	25,7	25,3
Βενζόλιο (% κ.ό.)	0,76	0,7	0,67	0,67	0,65	0,64

**Πίνακας 4.8. Αποτελέσματα μετρήσεων**

Όλα τα δείγματα έχουν ολεφίνες άνω του 18% κ.ό.



**Διάγραμμα 4.8. Μεταβολή του Αριθμού MON, RON Λόγω Προσθήκης Αιθανόλης**

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΒΙΒΛΙΑ - ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

1. Στούρνας Σ., Λόης Ε., Ζαννίκος Φ. : «Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών», Εκδ. Ε.Μ.Π., Αθήνα 2002
2. Κολίσης Φ. Ν., Κέκος Δ., Μακρής Β.Ι. : «Εφαρμοσμένη Βιοτεχνολογία», Εκδ. Ε.Μ.Π., Αθήνα 2002
3. Zhaodong Nan, Zhi-Cheng Tan, Lixian Sun: «Investigation on Thermodynamic Properties of Ethanol + Gasoline Blended Fuel», Energy & Fuels 2004, Vol.18, 84-89
4. Filiz Karaosmanoglu, Asli Isigigur, H. Ayse Aksoy: «Effects of a New Blending Agent on Ethanol-Gasoline Fuels», Energy & Fuels 1996, Vol. 10, 816-820
5. Robert A. Harley, Shannon C. Coulter-Burke: «Relating Liquid Fuel and Headspace Vapor Composition for California Reformulated Gasoline Samples Containing Ethanol», Environmental Science & Technology 2000, Vol. 34, 4088-4094
6. Cory J. McDowell, Susan E. Powers: «Mechanisms Affecting the Infiltration and Distribution of Ethanol-Blended Gasoline in the Vadose Zone», Environmental Science & Technology 2003, Vol. 37, 1803-1810
7. Toshihiko Hiaki, Kenji Takahashi, Tomoya Tsuji, Masaru Hongo, Kazuo Kojima: «Vapor- Liquid Equilibria of Ethanol with 2,2,4-Trimethylpentane or Octane at 101.3 kPa», J. Chem. Eng. Data 1994, Vol. 39, 720-722
8. Monica B. Gramajo de Doz, Carlos M. Bonatti, Horacio N. Solimo: «Water Tolerance and Ethanol Concentration in Ethanol-Gasoline Fuels at Three Temperatures», Energy & Fuels 2004, Vol.18, 334-337
9. I. Schifter, M. Vera, L. Diaz, E. Guzman, F. Ramos, E. Lopez-Salinas: «Environmental Implications of Gasoline with Ethanol in the Metropolitan Area of Mexico City», Environmental Science & Technology 2001, Vol. 35, 1893-1901
10. Roger Magnusson, Calle Nilsson, Barbro Andersson: «Emissions of Aldehydes and Ketones from a Two-Stroke Engine Using Ethanol and Ethanol-Blended Gasoline as Fuel», Environmental Science & Technology 2002, Vol. 36, 1656-1664

11. Jeffrey S. Gaffney, Nancy A. Marley, Randal S. Martin, Roy W. Dixon, Luis G. Reyes, Carl J. Popp: «Potential Air Quality Effects of Using Ethanol-Gasoline Fuel Blends: A Field Study in Albuquerque, New Mexico», Environmental Science & Technology 1997, Vol. 31, 3053-3061

#### INTERNET SITES

1. [www.novem.nl/?menuId=10&documentId=26432](http://www.novem.nl/?menuId=10&documentId=26432)
2. [www.afdc.nrel.gov/pdfs/6968.pdf](http://www.afdc.nrel.gov/pdfs/6968.pdf)
3. [www.afdc.nrel.gov/pdfs/4645](http://www.afdc.nrel.gov/pdfs/4645)

